

Stadtklimaanalyse Graz und ihre Bedeutung für die Stadtplanung

Von Reinhold LAZAR, Graz

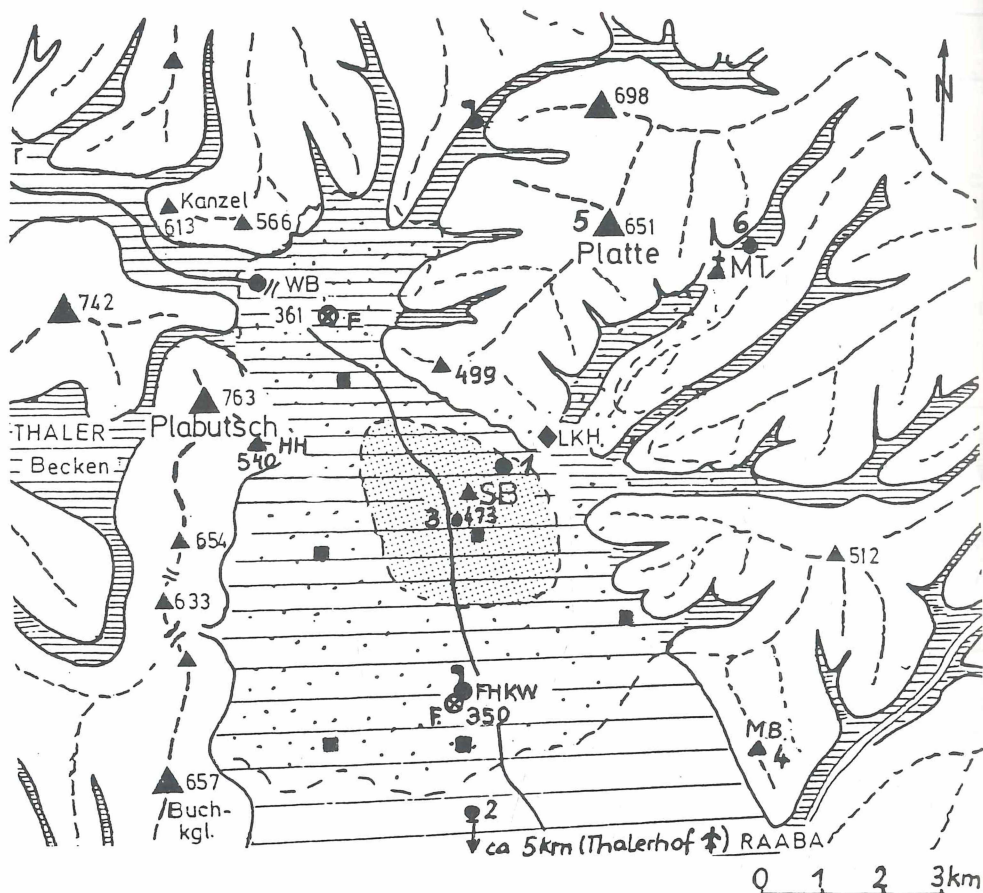
1. *Einleitung und Problemstellung*

Im vergangenen Jahrzehnt haben Stadtklimaanalysen und deren Ergebnisse in verstärktem Ausmaß Bedeutung für die Stadtplanung erlangt. Der entscheidende Anstoß dafür kam wohl aus lufthygienischer Sicht; entsprechende Grenzwertverordnungen für Luftschadstoffe, die letztlich auch die Grundlage für das Auslösen von Smogwarnstufen bildeten, führten zu einem Überdenken der Klimateignung von Industrie- und Gewerbestandorten, aber auch von Vorranggebieten für künftige Siedlungserweiterungen. Die Anforderungen an eine planungsorientierte Stadtklimaanalyse beruhen im wesentlichen auf möglichst detaillierten und flächendeckenden Kenntnissen hinsichtlich der Schadstoffausbreitung, wobei besonders die Frage der nächtlichen Lüfterneuerung eine wichtige Rolle spielt. Ferner soll eine derartige Studie Aussagen über die klimatische Ausgleichsfunktion von Grünflächen - etwa die Rolle der Parks und die Begrünung von Innenhöfen - und schließlich auch in einer eigenen Karte planerische Hinweise, etwa für die Bebauungsplanung, enthalten.

Für derartige Stadtklimaanalysen liegen nun bereits einige Beispiele vor, wobei kritisch anzumerken ist, daß die häufig auf Thermalscanneraufnahmen aufbauenden Studien die Nachvollziehbarkeit der planerischen Aussagen aus immissionsklimatologischer Sicht vermissen lassen.

Wegen der Komplexität der Schadstoffausbreitung, im speziellen aufgrund unterschiedlicher Lokalwinde und Inversionsstrukturen, erscheint aus methodischer Sicht nur eine Kombination der Ergebnisse von Sondermeßnetzen, Meßfahrten, Sondenaufstiegen und Thermalscannerbefliegungen für solche Untersuchungen sinnvoll. Die vorliegende Arbeit soll eine zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse von zehn Jahren stadtklimatischer Untersuchungen im Raum Graz geben, deren Höhepunkt 1986 Thermalscannerbefliegungen waren, die im Auftrag des Magistrates Graz in Zusammenarbeit mit der Stadtplanung erfolgten, wofür den zuständigen Herren an dieser Stelle aufrichtig gedankt sei.

Abb. 1: Geländedarstellung / Stationsnetz



Legende

>▲--- Bergrücken mit Höhenangaben in m



Seitentäler



Haupttalbereiche mit dem Grazer Feld



locker



dicht bebautes Gebiet

Lage der in Tab.1 verwendeten Stationen

1	Graz/Universität	369m	weitere wichtige Stationen	
2	Graz/Thalerhof	342m	SB - Schloßberg	473m
3	Joanneum	355m	HH - Hubertushöhe	540m
4	Messendorferberg	429m (MB)	- Plabutsch	760m
5	Platte	660m		
6	Mariatrost/Fölling	435m (MT)	WB - Weinzödlbrücke	361m
			FHKW - Fernheizkraftwerk	350m

⊙ F - Standorte der Fesselballonsondenaufstiege (Wasserwerk Nord und FHKW)

⊙ Windmeßstationen ■ Luftgütemeßstationen der Stmk. Landesregierung

2. Lage von Graz und großklimatische Voraussetzungen

Graz weist eine Talausgangslage am Fuß des Randgebirges zum südöstlichen Alpenvorland auf. Eine wichtige Rolle in Hinblick auf die Durchlüftung spielt die trichterförmige Erweiterung des Murdurchbruchtales in das Grazer Feld, das im Westen vom Plabutsch-Buchkogelzuges und im Osten - asymmetrisch mit einigen einmündenden Seitentälern - vom tertiären Riedelland flankiert wird (Abb. 1).

Aus der geschützten Lage südlich der Alpen resultiert im wesentlichen eine markante Abschwächung der Störungseinflüsse bei Strömungslagen aus dem Sektor W bis N, wodurch eine kontinentale Tönung des Klimas eintritt. Aus stadtklimatischer Sicht sind die ausgesprochene Windarmut im Winterhalbjahr und die erhöhte Bereitschaft zu Inversionslagen und Talnebeln hervorzuheben. Die häufige Abkopplung von Gradientwinden begünstigt ferner in hohem Ausmaß die Ausbildung von Lokalwinden. Der Anteil an Strahlungswetterlagen - windschwache, bewölkungsarme Wetterlagen - ist deshalb höher einzustufen als vergleichsweise im nördlichen Alpenvorland und erreicht im Herbst sein Maximum mit ca. 60-70 % aller Tage (Minimum im Frühjahr mit 40-50 %, im Sommer häufig gestörte Bedingungen durch Gewitter, im Winter durch lang anhaltende Hochnebelperioden).

3. Kurze Übersicht über die Ergebnisse der Klimastationen im Grazer Raum (Tab. 1)

Betrachtet man die Temperaturergebnisse (Tab. 1), so fallen die relativ großen Unterschiede vom Stadtkern mit der Wärmeinselstation Joanneum zum Umland (Basisstation Graz-Flughafen) bzw. zu den geländeklimatisch bedingt noch kälteren Steitentälern mit der Talbeckenstation Mariatrost/Fölling auf. Im Winter erkennt man die Gunststellung der Graz umgebenden Riedelrücken (wärmste Zone oft in ca. 600-700 m Seehöhe), die ein sehr ausgeglichenes Klima mit vergleichsweise geringen Tagesschwankungen aufweisen (6,2 ° gegenüber 11,9 ° in Mariatrost/Fölling). Entsprechend stark machen sich die Unterschiede auch bei den Frostdaten bemerkbar; im Mariatrost/Fölling wurde zw. 1982 und 1991 das Minimum von -30 ° dreimal unterschritten, wobei die Unterschiede in derartigen Nächten zur Basisstation Thalerhof 5-7 ° und zum Stadtkern etwa 10-13 ° erreichen.

Bei den Niederschlagsverhältnissen sind das Sommermaximum infolge Gewitterreichtums und der relativ schneearme Winter hervorzuheben; die Niederschlagszunahme beträgt etwa 30 mm je 100 Höhenmeter.

Tab. 1a: Temperaturverhältnisse

Monatsmittel der Temperatur in °C		Periode 1951-80												
Station	Seehöhe J	F	M	A	M	J	J	J	A	S	O	N	D	Mittel
Graz Univ.	369 m	-1,7	0,6	9,5	14,0	17,7	18,9	18,1	14,6	9,4	4,1	-0,3	9,1	
Thalerhof	342 m	-3,4	-0,8	8,8	13,6	17,2	18,5	17,6	14,0	8,5	3,2	-1,6	8,3	
Joanneum	355 m	-1,2	1,0	10,0	14,5	18,2	19,5	18,7	15,2	10,0	4,6	0,3	9,7	
Messendfbg	429 m	-1,5	0,6	9,5	14,0	17,3	18,7	18,2	15,0	9,8	4,3	0,0	9,2	
Platte	660 m	-1,0	0,9	9,0	13,3	16,5	18,0	17,8	15,2	10,0	4,5	0,6	9,1	
Mariatrost- Fölling	435 m	-4,9	-2,4	7,2	12,2	15,6	17,2	16,3	12,7	7,2	2,0	-2,8	6,9	

Mittlere tägliche Minima in °C		Periode: 1951-80												
Station	Seehöhe J	F	M	A	M	J	J	J	A	S	O	N	D	Mittel
Graz Univ.	369 m	-4,5	-2,7	0,5	4,8	9,1	12,7	14,0	13,6	10,4	5,6	1,4	-2,7	5,2
Thalerhof	342 m	-8,0	-5,3	-1,6	2,9	7,4	11,3	12,5	12,0	8,7	3,7	0,3	-5,0	3,2
Joanneum	355 m	-3,7	-2,0	1,2	5,4	9,7	13,3	14,6	14,2	11,0	6,2	2,0	-2,0	5,8
Messendfbg	429 m	-4,4	-2,4	0,5	4,7	9,2	12,5	14,1	14,0	11,0	6,5	2,1	-1,0	5,8
Platte	660 m	-3,3	-1,6	1,3	5,2	9,6	12,9	14,1	14,0	11,0	6,5	2,1	-1,9	5,8
Mariatrost - Fölling	435 m	-9,7	-6,8	-3,2	0,8	5,2	9,2	10,5	10,1	6,9	2,0	-1,4	-6,2	1,5

Mittlere tägliche Maxima in °C		Periode: 1951-80												
Station	Seehöhe J	F	M	A	M	J	J	J	A	S	O	N	D	Mittel
Graz Univ.	369 m	1,2	4,3	9,2	14,7	19,5	22,9	24,3	23,6	19,7	14,1	7,4	2,5	13,6
Thalerhof	342 m	0,9	4,3	9,6	15,0	19,6	23,0	24,5	23,8	20,4	14,9	7,8	2,2	13,8
Joanneum	355 m	1,7	5,0	10,3	15,3	20,1	23,5	24,9	24,2	20,5	15,0	8,0	3,0	14,2
Messendfbg	429 m	1,5	4,3	9,2	14,5	18,8	22,3	23,9	23,2	19,9	14,4	7,5	2,5	13,5
Platte	660 m	1,5	3,6	7,7	12,4	16,6	20,1	21,8	21,3	18,5	13,0	6,5	2,4	12,1
Mariatrost - Fölling	435 m	1,0	4,0	9,5	14,4	18,9	22,4	23,9	23,2	20,0	14,5	7,5	2,0	13,4

Periode: 1951-80

Aperiodische Tagesschwankung

Station	Seehöhe J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Mittel
Graz Univ.	369 m	5,7	7,0	8,7	9,9	10,4	10,2	10,3	9,3	8,5	6,0	5,2	8,4
Thalerhof	342 m	8,9	9,6	11,2	12,1	12,2	11,7	12,0	11,8	11,7	8,1	7,2	10,6
Joanneum	355 m	5,4	7,0	9,2	9,9	10,4	10,2	10,3	10,0	8,8	6,0	5,0	8,5
Messendfbg	429 m	5,9	6,7	8,6	9,8	9,6	9,8	10,2	9,7	8,6	6,1	5,4	8,4
Platte	660 m	4,8	5,2	6,4	7,2	7,0	7,2	7,7	7,3	6,5	4,4	4,3	6,2
Mariatrost - Fölling	435 m	10,7	10,8	12,7	13,6	13,7	13,2	13,4	13,1	12,5	8,9	9,2	11,9

Periode 1951-80

Absolute Extreme

Station	Minima	Maxima
Graz Univ	-23,7 ° (Febr. 1929)	37,1 ° (7. Juli 1950)
Thalerhof	-28,0 ° (1963, 1964)*	38,0 ° (7. Juli 1950)
Messendfbg	-19,0 ° (Jän. 1985)*	
Mariatrost - Fölling	-31,5 ° (1. Febr. 1987)**	

*) Beobachtung seit 1950
**) Beobachtung seit 1982

Periode 1951-80

Frostdaten

Station	letzter Frost	erster Frost	Zahl der Frosttage
Graz Univ.	15.4.	1.11.	100
Thalerhof	30.4.	10.10.	134
Joanneum	10.4.	4.11.	90
Messendfbg	15.4.	1.11.	100
Platte	11.4.	5.11.	85
Mariatrost - Fölling	15.5.	27.9.	157

Für die Stationen Joanneum, Platte, Mariatrost - Fölling wurden die Werte extrapoliert.

Tab. 1b: Niederschlagsverhältnisse

Durchschnittliche Niederschlagsmengen in mm														Periode 1951-80	
Station	Seehöhe	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Mittel	
Graz Univ.	369 m	27	33	48	56	93	130	129	119	77	62	59	39	872	
St. Radegund	720 m	30	31	57	65	112	149	137	127	87	78	77	45	1001	
Zahl der Tage mit Niederschlag (Graz Univ.) > 1 mm: 98,4															
Zahl der Tage mit Gewitter (Graz Univ.): 36															
Zahl der Tage mit Gewitter (Thalerhof): 39															
Schneeverhältnisse (nach H. Wakonigg, 1978)														Periode 1951-70	
Station	Seehöhe	Zahl der Tage mit Schneedecke			Zahl der Tage mit Schneefall			Tage mit Winterdecke							
Graz Univ.	369 m	44	44	28	28	30	29	29	36	36					
Thalerhof	342 m	42	42	30	30	36	36	36	36	36					

Bewölkung in Zehnteln (nach H. Wakonigg, 1978)

Station	Seehöhe	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Mittel
Graz Univ.	369 m	7,0	6,8	6,5	6,4	6,3	6,3	5,7	5,7	5,6	6,0	7,5	7,6	6,4

Relative Sonnenscheindauer in % (nach H. Wakonigg, 1978) **Periode 1951-70**

Station	Seehöhe	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Mittel
Graz Univ.	369 m	29	37	42	47	49	48	54	55	53	48	29	23	45
St. Radegund	720 m	40	39	45	47	52	48	54	53	51	48	35	30	46

Tab. 1e: Nebelverhältnisse

Zahl der Tage mit Nebel (nach H. Wakonigg, 1978)															Periode 1954-70											
Station	Seeshöhe	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Jahr												
Graz Univ.	369 m	11,6	6,1	2,7	1,1	0,5	0,3	0,1	0,6	1,2	5,1	8,9	12,8	50,5												
Thalerhof	342 m	18,5	13,3	9,9	5,0	4,9	5,3	6,2	10,4	16,0	18,9	13,7	20,6	142												
St. Radegund*	720 m	9	7	7	3	2	2	1	1	3	6	10	9	60												
Messendfbg	429 m	7,5	5,5	3,5	1,3	0,8	1,0	1,1	1,0	3,2	6,0	8,0	9,0	48,3												

*) reduziert aus kürzeren Perioden

Hinsichtlich der relativen Sonnenscheindauer ist anzumerken, daß das ausgeprägte Winterminimum im Jahresgang infolge Hochnebels mit zunehmender Seehöhe schwächer wird. Dabei befindet sich die Station St. Radegund (als Vergleichsstation in Tab. 1c angeführt) noch häufig innerhalb von Hochnebeldecken; die Kammlagen oberhalb von 900-1000 m Seehöhe liegen hingegen schon oft oberhalb davon.

Die Windverhältnisse in Graz lassen einen markanten N-S-Gegensatz erkennen. Während die Stationen im vom Murtalabwind beeinflussten und deshalb gut durchlüfteten NW eine Dominanz von Windrichtungen aus W bis N aufweisen (bei Jahresmitteln der Geschwindigkeit von 2-3 m/s), überwiegen im S von Graz mit der Basisstation Graz-Flughafen die südlichen Komponenten. Der Murtalabwind greift dort nicht mehr bis zur Tahlsohle durch (dafür große nächtliche Calmenbereitschaft bzw. sogar Flurwinde aus südlichen Richtungen). Die Jahresmittel der Geschwindigkeit überschreiten noch 1,0 m/s; im Westen von Graz und in den Seitentalbecken muß mit Jahresmitteln von 0,7-1,0 m/s gerechnet werden (Calmenhäufigkeit bei 50-60 %).

Vertikal nimmt die Windgeschwindigkeit im Einflußbereich der Murtalabwindströmung noch zu. Von ca. 600-800 m erfolgt keine nennenswerte Zunahme, erst ab 800 m Seehöhe erhöhen sich die Geschwindigkeiten, wobei nun allmählich das Maximum im Jahresgang in den Winter fällt (2,5-3 m/s in ca. 1000 m Seehöhe, ca. 5 m/s in 1500 m) und der Einfluß modifizierter Gradientwinde spürbar wird.

4. *Methodik*

Schon die ersten Ergebnisse eines Sondermeßnetzes (Windmeßstationen) in den Jahren 1970-1974 (MAHRINGER, W., 1974) lieferten Hinweise für die Existenz von wenigstens drei Lokalwindsystemen; die Frage der Temperaturschichtung blieb dabei noch völlig offen. Im Jahre 1981 wurde ein weiteres Sondermeßnetz mit vertikaler Anordnung bis zum Plabutsch (750 m) errichtet, dessen Ergebnisse erstmals das Ausmaß und die Häufigkeiten der Inversionen, sowie die Bedeutung der Seitentäler erkennen ließen (LAZAR, R., 1982). Zahlreiche Meßfahrten in heiteren Strahlungsnächten bildeten die Grundlage zur Wärmeinselstrukturanalyse. Im Jahre 1986 erfolgten Thermalscannerbefliegungen zu drei Terminen (2.10. 14-15 Uhr und 22-23 Uhr, bzw. 3.10 5-6 Uhr), die durch umfangreiche Meßfahrten (6 Meßteams gleichzeitig) ergänzt wurden, um ein möglichst flächenbedeckendes Bild vom bodennahen Temperatur- und Strömungsfeld zu erhalten. Gemeinsam mit zusätzlichen Radiosondenaufstiegen zu den Flugterminen wurde erst eine befriedigende Interpretation der vom Institut für Digitale Bildverarbeitung und Graphik (Forschungsgemeinschaft Joanneum Graz, BUCHROITHNER, M.F. und KAUFMANN, V., 1990) geometrisch entzerrten und radiometrisch korrigierten Thermalbilder ermöglicht.

Ab dem Winter 1988/89 wurden schließlich im verstärkten Ausmaß Fesselballonsondierungen (Standorte in Abb. 1) zur Erfassung des vertikalen Temperatur- und Strömungsfeldes als Grundlage für Schadstoffausbreitungsbedingungen durchgeführt. Ferner dienten die

Sondierungen auch zur Feststellung der Abweichungen zu einem Stationsprofil (bis auf den Schöckl), das von der Fachabteilung Ia der Steiermärkischen Landesregierung zur Unterstützung von Immissionsprognosen für die Smogwarnstufen aufgebaut wurde. Dieselbe Fachabteilung (Immissionsschutzreferat) verfügt ferner über ein in den Jahren 1989/90 stark verdichtetes Luftgütemeßnetz. Das umfangreiche Datenmaterial aus Sondermeßnetzen, Meßfahrten und Sondenaufstiegen wurde im Zusammenhang mit den Thermalscannerbefliegungen als einzige flächendeckende Methode zur Ausscheidung von Klimatopen in einer Stadtklimatopkarte verarbeitet.

5. *Stadtklimatische Besonderheiten*

5.1. *Die nächtlichen Lokalwindssysteme*

Für die Durchlüftung von Graz und im besonderen für die Abgasströme größerer Emittenten spielt der Murtalabwind die wichtigste Rolle. Immerhin gelangen im Murdurchbruch bei Raach etwa 3 bis 4 Mill. m³/s bei Geschwindigkeiten von 5-8 m/s und einer Mächtigkeit von 180-250 m nach Graz (im S nur noch 150-200 m). In Abb. 2 wurde versucht, sein Strömungsfeld aufgrund der Sondierungen bzw. der höher gelegenen Windmeßstationen darzustellen. Die Geschwindigkeiten nehmen, bedingt durch die rasche Öffnung des Murtales nach einem Abschnitt mit Düseneffekt deutlich nach S ab, wobei der Wind reibungsbedingt südlich der Linie Hauptbahnhof-Schloßberg-LKH nur noch selten bis zur Talsohle durchgreift. Nach E zu läßt sich sein Einfluß noch einige Kilometer auf den Riedelrücken nachweisen, während er im W parallel zu beiden Seiten des Plabutsch-Buchkogelzuges in einer Nord-Süd-Richtung streicht; das Thaler Becken mit Ausbildung eines seichten Kaltluftsees wird dabei überströmt.

Der Murtalabwind erfüllt als großräumiger Lokalwind eine Austauschfunktion zwischen der kälteren inneralpinen Mur-Mürz-Furche und dem warmen Vorland; ferner wird er auch von den bodennahen Verhältnissen beeinflusst (z.B. Unterdrückung bei antizyklonalen Strömungslagen aus Süd bis Ost). Diesen Abhängigkeiten entsprechend variieren auch Beginn und Ende dieser Strömungen, wobei generell eine Verschiebung um 2-3 Stunden nach Sonnenauf- bzw. nach Sonnenuntergang zu beobachten ist.

Im Gegensatz zum Murtalabwind hängen Geschwindigkeiten und Mächtigkeit der Seitentalabwinde im wesentlichen nur vom nächtlichen Bewölkungsgrad und der damit verbundenen Abkühlung der Seitentäler ab; die stärkste Ausbildung der Talabwinde in den Seitentälern im N und E von Graz (Geschwindigkeiten von 1-3 m/s) ist besonders in der ersten Nachthälfte gegeben, wenn die Temperaturunterschiede zwischen überwärmter Stadt und kalten Seitentalabschnitten am größten sind. Maximale Differenzen werden bei heiteren Strahlungsnächten mit Schneedecke ($T_{10} \text{ } ^\circ$ und mehr) beobachtet. Die Seitentalabwinde weisen eine Mächtigkeit von 50-100 m auf; im Stadtgebiet wird ihre Vertikalerstreckung durch den Murtalabwind eingeschränkt, was insbesondere für die zweite Nachthälfte gilt, da

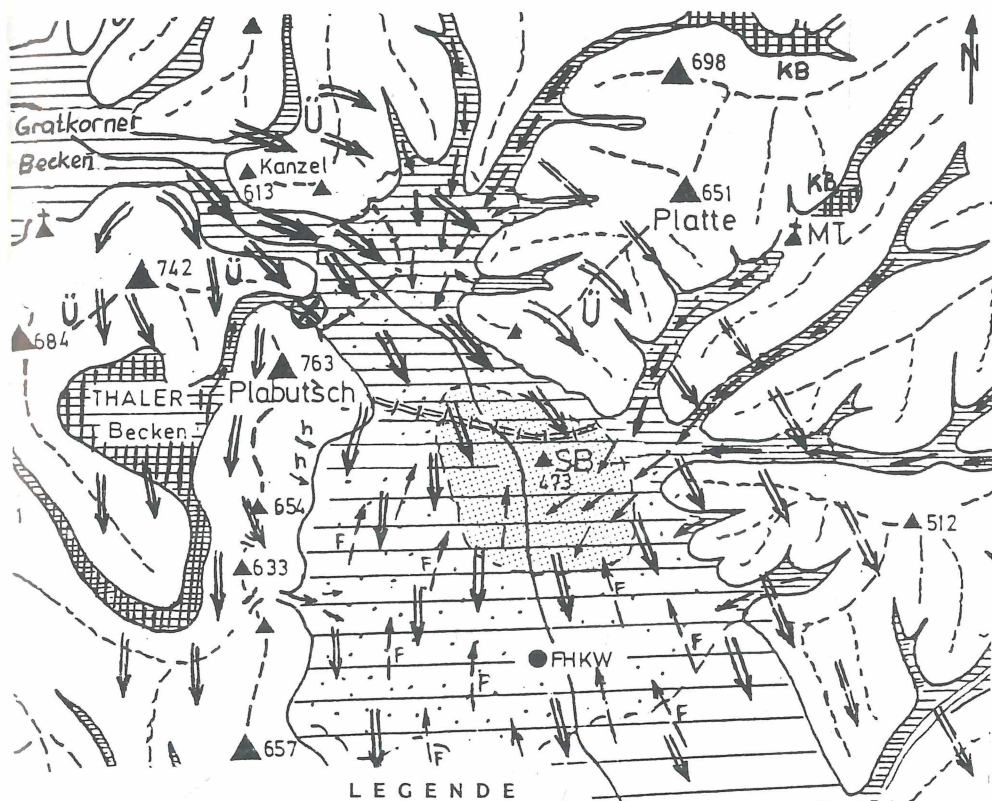
die Seitentalabwinde allmählich nachlassen. Im E von Graz kommt es durch die einströmende Kaltluft aus den Seitentälern zu ausgeprägten Windscherungen mit der darüberstreichenden wärmeren Luft des Murtalaufwindes. Die Bedeutung der Seitentalabwinde liegt vor allem in der Lufterneuerung in den östlichen Bezirken, während der W diesbezüglich wegen des Fehlens von Seitentalabwinden deutlich schlechter abschneidet, was auch gut in den Luftgütwerten zwischen den Stationen Graz-West und Graz-Ost zur Geltung kommt. Das einzige bedeutende Seitental, das Katzelbachtal aus dem Thaler Becken im NW, liefert nur selten Kaltluft, da der Talabwind durch den kräftigen Murtalabwind unterdrückt wird (vgl. auch Abb. 2).

Nur lokale lufthygienische Bedeutung haben die Hangabwinde, etwa an den Osthängen des Plabutsch-Buchkogelzuges. Diese nur wenige Meter mächtigen Kaltluftabflüsse mit Geschwindigkeiten zwischen 0,5 und 2 m/s spielen jedoch für die "Ernährung" der Seitentalabwinde eine wichtige Rolle. Sie setzen an den beschatteten Hängen oft noch vor Sonnenuntergang ein, werden jedoch im weiteren Verlauf zumeist von den Talabwinden, insbesondere vom Murtalabwind, unterdrückt.

Im S von Graz muß den Flurwinden, relativ gering mächtigen (30-70 m) und schwachen südliche Strömungen, besondere Beachtung geschenkt werden. Sie entstehen als Folge des beträchtlichen Temperaturgegensatzes zwischen der städtischen Wärmeinsel und der im Grazer Feld entstandenen seichten Kaltluftschicht. Da der Murtalabwind reibungsbedingt schon im Stadtgebiet eine "Abhebung" erfährt, können sich diese Flurwinde weit nach N (zumeist bis in den Bereich Hauptbahnhof-Schloßberg, seltener bis Gösting) durchsetzen. Die wichtige Rolle der Flurwinde besteht darin, daß Emissionen aus niedrigen Quellen (insbesondere Hausbrand), aber auch Talnebel, Richtung Stadtzentrum verfrachtet werden.

Die Flurwinde kommen ganzjährig vor, weisen aber ein deutliches Maximum im Winterhalbjahr und hier speziell in der zweiten Nachthälfte auf (dadurch besonders markante Windscherungen mit dem Murtalabwind).

Abb. 2: Nächtliche Lokalwindsysteme



LEGENDE

A) Murtalabwind (ca 150 - 250m mächtig)

Strömungsfeld in 50-100m :

$\Rightarrow$ stark ($>5\text{m/s}$) , $\Rightarrow$ mäßig ($3-5\text{m/s}$) , $\Rightarrow$ schwach ($<3\text{m/s}$)

$\nwarrow$ Bereich des Düseneffektes mit besonders hohen Geschwindigkeiten, gleichzeitig Nordgrenze der Flurwinde
 $\nwarrow$ vom Murtalabwind überströmte Rücken

B) Seitentalabwinde (40 - 100m mächtig, Frischluftzubringer)

$\rightarrow$ gut ($1-3\text{m/s}$) , $\rightarrow$ mäßig ($0.5 - 2\text{m/s}$) entwickelt

$\otimes$ Ausfließen der Kaltluft aus dem Katzeltal bei Götting durch den starken Murtalabwind oft unterbunden

C) Flurwinde (30-70m mächtig; oft von Calmen unterbrochen)

$\rightarrow$ F $0.5 - 1.5\text{m/s}$; $\nwarrow$ häufigste Flurwindgrenze

D) Hangabwinde (oft nur wenige Meter mächtig)

$\rightarrow$ h Hangabwinde im Bereich des Plabutsch ($1-2\text{m/s}$)

KB - Kaltluftbecken mit häufig stagnierender Kaltluft

0 1 2 3km

5.2. *Die lokalen Hang- und Talaufwindssysteme am Tag*

Dank der stärkeren Sonneneinstrahlung, aber auch der entsprechenden Druck- und Temperaturgegensätze, ist im Sommerhalbjahr der Murtalaufwind wesentlich stärker entwickelt als im Winter und erreicht sein Geschwindigkeitsmaximum am Nachmittag mit 3-5 m/s (im Winter nur 0,5-2 m/s). Bisherige Windstationsauswertungen haben ferner gezeigt, daß wenigstens teilweise eine Überlagerung des Murtalabwindes durch ein Antirandgebirgswindsystem gegeben ist (LAZAR, R., 1984), wodurch nicht selten am Nachmittag eine Drehung der Strömungsrichtung vom Sektor S bis SE auf SE bis E eintritt. An solchen Tagen werden im übrigen auch die Seitentalaufwinde unterdrückt, die üblicherweise parallel zum Talverlauf Komponenten von SW bis W aufweisen. Insgesamt dominieren demnach in den Seitentälern die talabwärts gerichteten Strömungen.

Im Gegensatz zum Sommer wird die Vertikalerstreckung der Talaufwinde im Winter durch abgehobene Inversionen stark eingeengt. Die Mischungsschicht mit schwachem Talaufwind schwankt dabei zwischen 200 und 400 m, wobei geringere Mächtigkeiten bei Schneedecke zu erwarten sind. Durchziehende Wolkenfelder bei Strömungslagen aus W bis N lassen die Strömung oft "einschlafen" (hohe Calmenbereitschaft im gesamten Stadtgebiet mit sehr ungünstigen Ausbreitungsbedingungen).

Vergleichsweise geringe Bedeutung haben gegenüber den nächtlichen Hangabwinden die Hangaufwinde, die sehr rasch von den Talaufwinden unterdrückt werden.

Tagsüber herrschen im Gegensatz zu Stadtklimaanalysen in Deutschland (STOCK, P., 1985) keine Flurwinde im Sinne eines zum Stadtzentrum gerichteten Windsystems vor, was wohl auf die dominante Talaufwindströmung zurückzuführen ist.

5.3. *Wärmeinselstrukturen*

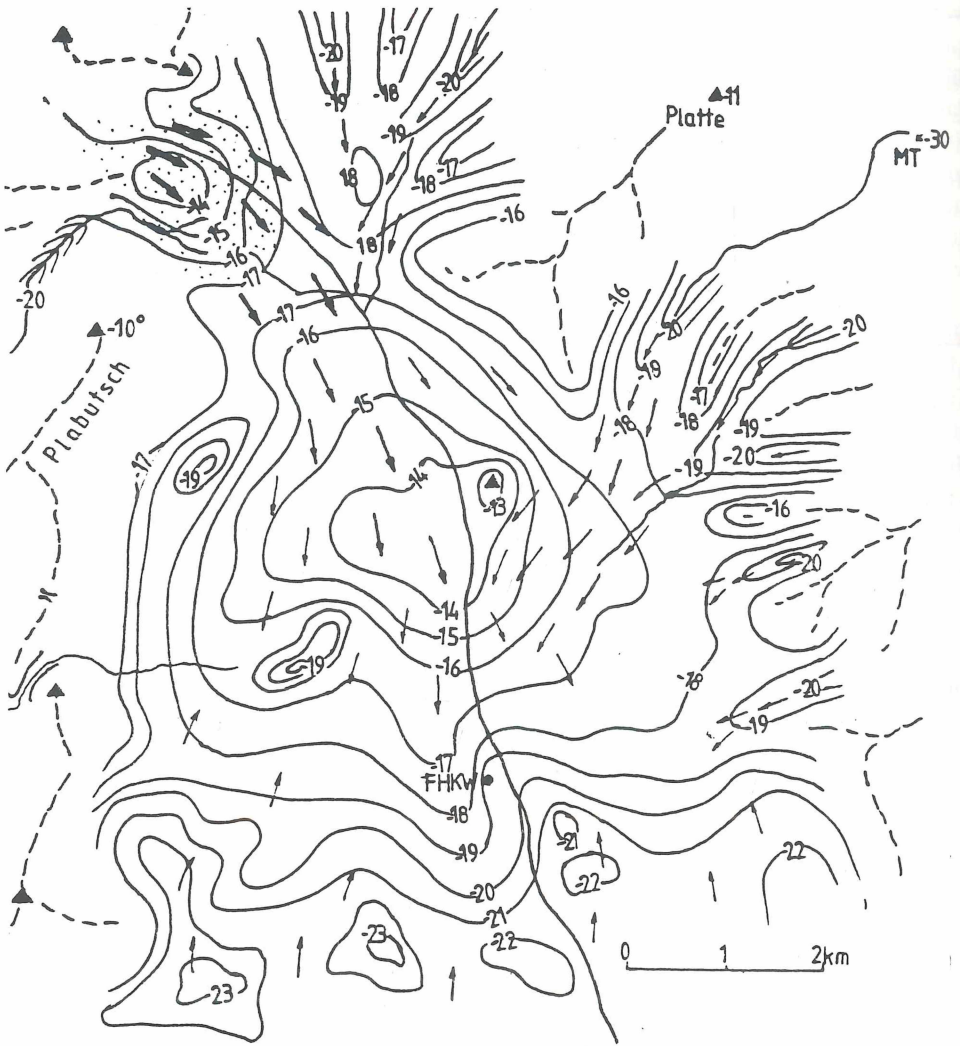
Aus den zahlreichen Meßfahrten konnten bezüglich der Wärmeinselausprägung in Graz sowohl tages- als auch jahreszeitliche Temperaturverteilungsmuster ausgeschieden werden. So verschiebt sich häufig der Wärmeinselschwerpunkt in der zweiten Nachthälfte vom südlichen Bereich des Gründerzeitviertels (Bezirke Gries und Jakomini) in den nördlichen bzw. in den Raum Hauptbahnhof/Gösting - als Folge der von S eindringenden kälteren Flurwinde. Mit Ausnahme des Frühjahres und des Frühsommers tritt in den Nächten mit ausgeprägtem Murtalabwind eine sekundäre Wärmeinsel auf (Abb. 3), die jedoch nicht baukörperstrukturbedingt, sondern auf den thermischen Effekt durch die Strömungsverstärkung des Murtalabwindes mit Einbindung wärmerer Luft von oben zurückzuführen ist (Erhöhung der Turbulenz im Bereich des Murdurchbruches bei Raach). Diese "Düsen-effektwärmeinsel" kommt auch in den Nachtthermalaufnahmen vom 2. bzw. 3.10.1986 gut zum Ausdruck (Abb. 10, im Anhang). Bei schwach entwickeltem Murtalabwind - etwa in bewölkten Nächten - fehlt dieses Phänomen, ferner auch im Frühjahr, was durch die

bisherigen Untersuchungen noch nicht eindeutig geklärt werden konnte.

Die städtische Wärmeinsel von Graz zeichnet sich ferner durch eine W-E-Asymmetrie aus, wobei die um $1-2^{\circ}$ tieferen Temperaturen trotz gleicher Baukörperstruktur durch die einströmende Kaltluft aus den Seitentälern verursacht werden. Das Ausmaß der Wärmeinsel läßt sich für heitere Strahlungsnächte mit etwa $5-6^{\circ}$ (bei antizyklonalen SW-Lagen auch darüber) angeben. Die Temperaturdifferenzen erhöhen sich im Winter bei Schneedecken in Einzelfällen bis auf ca. 10° , zu den noch kälteren Seitentalbecken auf ca. 15° . Die Abb. zeigt eine derartige Wärmeinselstruktur bei Strahlungswetterlagen mit Schneedecke und gut entwickeltem Murtalabwind, wodurch in Gösting die sekundäre Wärmeinsel gut zur Geltung kommt. Analoges gilt für die Abb. 4, in der eine typische Wärmestruktur dokumentiert wurde.

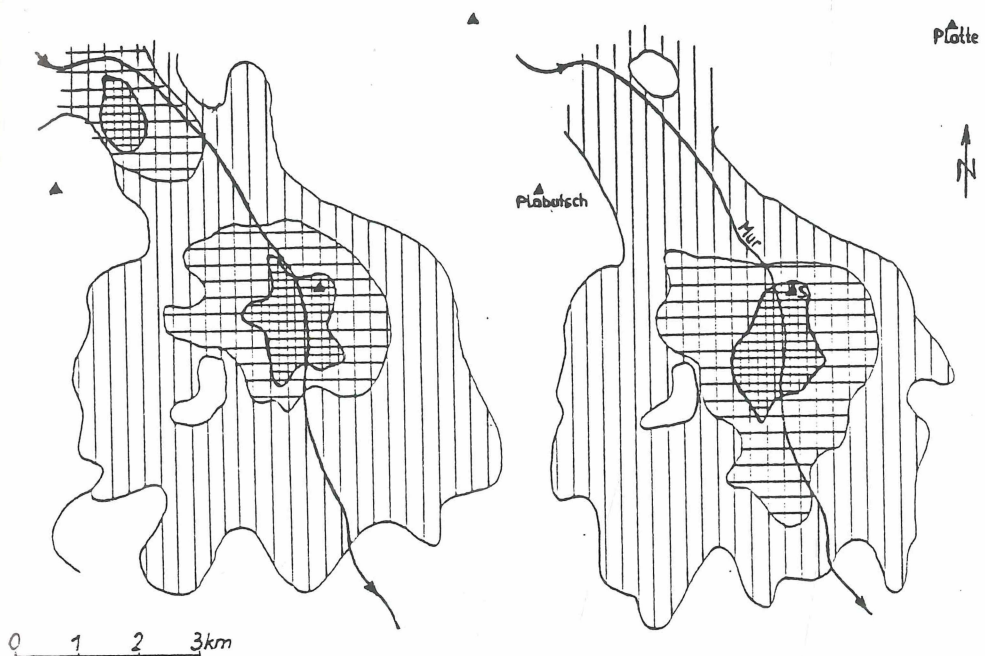
Die in Abb. 10 gewählte Generalisierung (80 m x 80 m je Pixel) hat gegenüber der im Maßstab 1 : 25.000 gehaltenen Originalkarte (5 m x 5 m je Pixel) den Vorteil, daß Temperaturverteilungsmuster leichter erkennbar werden und die Abweichungen zu den parallel erfaßten Lufttemperaturverhältnissen auffallend klein blieben. Die Oberflächenstrahlungstemperaturen liegen dabei um $1-2^{\circ}$ unter jenen der in ca. 1,5 m Höhe ermittelten Lufttemperaturen. Die Originalkarten leisten allerdings bei Klärung von Detailfragen wichtige Dienste.

Abb. 3: Beispiel einer typischen Temperaturverteilung am Morgen (6-7 h) im Hochwinter bei Schneedecke (1.2.1987). Grundlage: Meßfahrtergebnisse



Anmerkungen: Zu beachten sind Ausbildung der sekundären "Düseneffektwärmeinsel" (punktiert) im NW und die extrem tiefen Temperaturen in den Seitentälern.

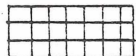
Abb. 4: Strukturen der städtischen Wärmeinsel in Graz



L e g e n d e



Bereiche mit geringer Überwärmung
(ΔT zum Umland/Station Graz/Thalerhof (0.5-2.0°))



Bereiche mit starker Überwärmung
(ΔT zum Umland 2-4°)



Bereiche des Wärmeinselskerns (ΔT zum Umland über 4° in heiteren Strahlungs Nächten)

Anmerkung:

Der Typ B kommt wesentlich seltener vor; weitere Erläuterungen im Text

6. *Inversionsverhältnisse*

Eine wesentliche Grundlage zur Charakterisierung der Inversionsverhältnisse bilden die Analysen der Radiosondenaufstiege (leider nur vom 6 h-Termin) von der Basisstation Graz/Thalerhof aus den Jahren 1981/82 und 1987-91. Die Häufigkeit von Inversionen im Winterhalbjahr (Oktober bis März) liegt entsprechend der windgeschützten und abgeschirmten Lage des Grazer Feldes mit 75-90 % relativ hoch, wobei der Anteil der freien Inversionen in den untersuchten Jahren zwischen 10 und 15 % schwankte. Da es sich um insgesamt hochnebelarme Winterhalbjahre handelte, dürfte der durchschnittliche Anteil bei ca. 20-25 % zu veranschlagen sein. Im Sommerhalbjahr kommen von wenigen Ausnahmen abgesehen nur Bodeninversionen vor, die in der Verteilung der Inversionsobergrenzen (Abb. 5a) ein deutliches Maximum bei ca. 550-700 m (entsprechend einer Mächtigkeit von etwa 300 m) aufweisen.

Im Winterhalbjahr streuen die Inversionsmächtigkeiten erwartungsgemäß durch die Zunahme mächtiger Bodeninversionen stärker. Bei der Auswertung der freien Inversionen wurde der Schwerpunkt auf die möglichst genaue Bestimmung der Untergrenze gelegt, wobei Untergrenzen über 1400 m - entsprechend einer ca. 1000 m mächtigen Grundsicht - nicht mehr berücksichtigt wurden. Hochnebellagen mit freien Inversionen gehören zum typischen Erscheinungsbild während des Winterhalbjahres im südöstlichen Alpenvorland. Sie beruhen auf teils advektiver Genese bei antizyklonalen Strömungslagen aus dem Sektor S bis E, teils als Folge immer mächtiger werdender Talnebel (Alterung der eingeflossenen Luftmassen) bei Hochdrucklagen über Mitteleuropa. Ihre Dauer kann bis zu 3 Wochen betragen (November 1978) und lufthygienische Bedeutung erlangen, wie speziell bei niedrigliegenden Obergrenzen (Mischungsschichthöhen von 300-400 m - wie etwa im Jänner 1982).

Tagsüber zeigten die Fesselballonsondierungen in den Wintern 1989/90 - 1990/91, daß die nächtlich gebildeten Bodeninversionen vor allem von unten her abgebaut und in "abgehobene" Inversionen umstrukturiert werden. Ausnahmen bestehen nur im Hochwinter mit Schneedecke (ganztäglich mit Ausnahme des Stadtkerns inverse Schichtung). Die Mischungsschicht nimmt mit ca. 100 m am Vormittag auf 200-400 m am Nachmittag zu, wobei die ungünstigen geringeren Schichtmächtigkeiten (ca. 200-300 m) häufig dann beobachtet wurden, wenn durchziehende Wolkenfelder (meist bei Strömungslagen aus W bis N mit Warmluftadvektion) die Einstrahlung behinderten.

In Abb. 5 wurde versucht, für das Winterhalbjahr typische Inversionsstrukturen mit zugehörigem Windfeld im autochthonen Tagesgang darzustellen. Die Situation am Morgen (6 h) mit Bodeninversion und Murtalabwind (an der Basis Flurwinde) unterscheidet sich sehr deutlich von der abgehobenen Inversion zu Mittag, wobei häufig noch Windscherung zwischen noch anhaltendem Murtalabwind bzw. auflebendem Talaufwind auftritt. Am Abend kommt es ferner zu Überlagerungen der sich entwickelnden Bodeninversion mit einer freien Inversion.

7. *Tagesgang der autochthonen Schadstoffausbreitungsbedingungen (zu Abb. 6)*

In einem Tages- und Jahreszeitem Schema sind die einzelnen Lokalwindssysteme mit ihrer zugehörigen Temperaturschichtung (als Grundlage für die Schadstoffausbreitungsbedingungen bei Strahlungswetterlagen) enthalten, das basierend auf den im Winterhalbjahr umfangreichen Fesselballonsondierungen nun kurz erläutert werden soll.

Am Abend (Phase 1 in Abb. 6) reichen die Kaltluftabflüsse von den Hängen für das Einsetzen der Talabwinde in den Seitentälern aus, deren Kaltluft sich noch oft unter die wärmere des Murtalaufwindes in Graz schiebt. Dieser Zeitbereich mit dem Aufbau der Bodeninversion muß im Winterhalbjahr hinsichtlich der Schadstoffausbreitung als besonders ungünstig angesehen werden, da die Calmenhäufigkeit in dieser Phase besonders hoch ist. Gleichzeitig deckt sich diese Phase mit dem Hauptmaximum der Verkehrsemissionen (Emissionskataster Graz, 1991), was häufig zu einem beträchtlichen Anstieg der NO_x -Konzentrationen führt.

In der ersten Nachthälfte (Phasen 2 und 3) erreichen die Seitentalabwinde mit 2-3 m/s und einer Mächtigkeit von 50-80 m ihre stärkste Ausprägung. Der Murtalabwind setzt nun ein und verzeichnet relativ bald Geschwindigkeiten von 3-6 m/s in 80 bis 150 m über Grund. Diese Phasen sind durch ein deutliches Absinken der Immissionskonzentrationen gekennzeichnet, wobei nur der W wegen der fehlenden Seitentalabwinde benachteiligt bleibt (erst in der zweiten Nachthälfte Verringerung der Schadstoffbelastung).

In der zweiten Nachthälfte, insbesondere gegen die Morgenstunden, lassen die Seitentalabwinde an Intensität nach, wobei gleichzeitig der Murtalabwind sein Maximum erreicht, der Aufbau der Bodeninversionen abgeschlossen ist und von S her Flurwinde in das Stadtgebiet eindringen. Die Flurwinde üben eine wichtige Funktion bezüglich des Schadstofftransportes in den untersten 10er Metern aus, da die gesamten Emissionen aus dem Hausbrand, Verkehr und sonstigen niedrigen Quellen, aber auch Talnebel aus dem Grazer Feld in Richtung Stadtzentrum geführt werden. Die dabei entstehende markante Windscherung mit den darüberströmenden Murtalabwind ist auch in Abb. 5b gut erkennbar.

Abb. 5a: Häufigkeitsverteilungen der Bodeninversion am Thalerhof (Grundlage Radiosondenaufstiege zum 6 h-Termin) nach Obergrenze (a) und Stärke (b) für das Winterhalbjahr 1988/89 (Okt. - März)

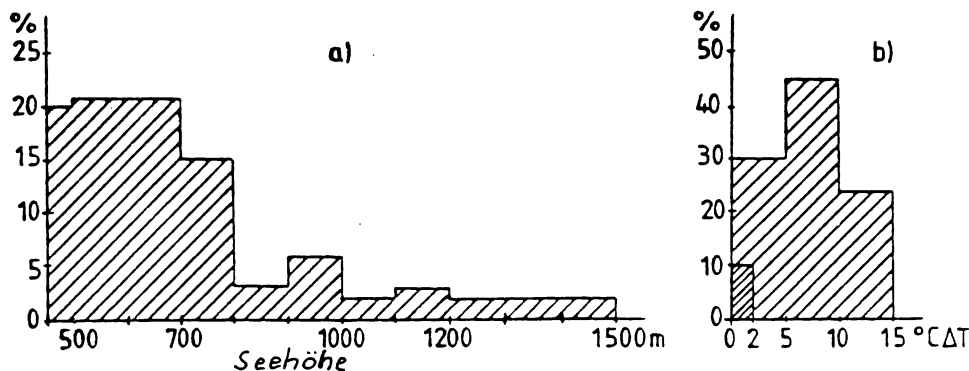
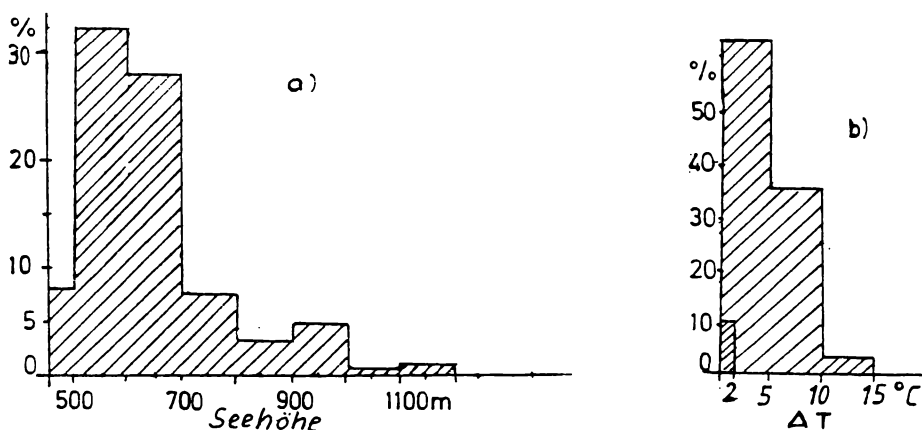


Abb. 5b: Häufigkeitsverteilungen der Bodeninversion am Thalerhof (Grundlage Radiosondenaufstiege zum 6 h-Termin) nach Obergrenze (a) und Stärke (b) für typische Sommerverhältnisse (März - Juni 1982)



Anmerkungen: Zu beachten ist die Verschiebung der Obergrenzen im Sommerhalbjahr in den Höhenbereichen zwischen 500 und 700 m Seehöhe. Die gewählten Zeiträume und ihre Verteilungen sind als typisch anzusehen.

Abb. 5c: Häufigkeitsverteilung der freien Inversionen am Thalerhof (6 h) nach Untergrenze (analog zu 5a mit Höhenbegrenzung 1500 m Sh) und Stärke für das Winterhalbjahr 1988/89.

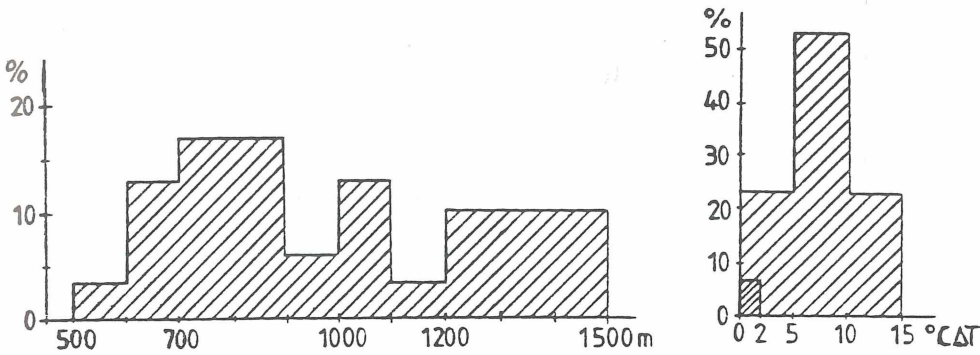


Abb. 5d: Bodeninversionsstrukturen und zugehöriger Murtalabwind (MAW) bei Strahlungswetterlagen im Winter 1989/90. Grundlage: Fesselballonsondenaufsteige im N von Graz (6-9 h) RGW - Randgebirgswind (W-N), MGW - modif. Gradientwind

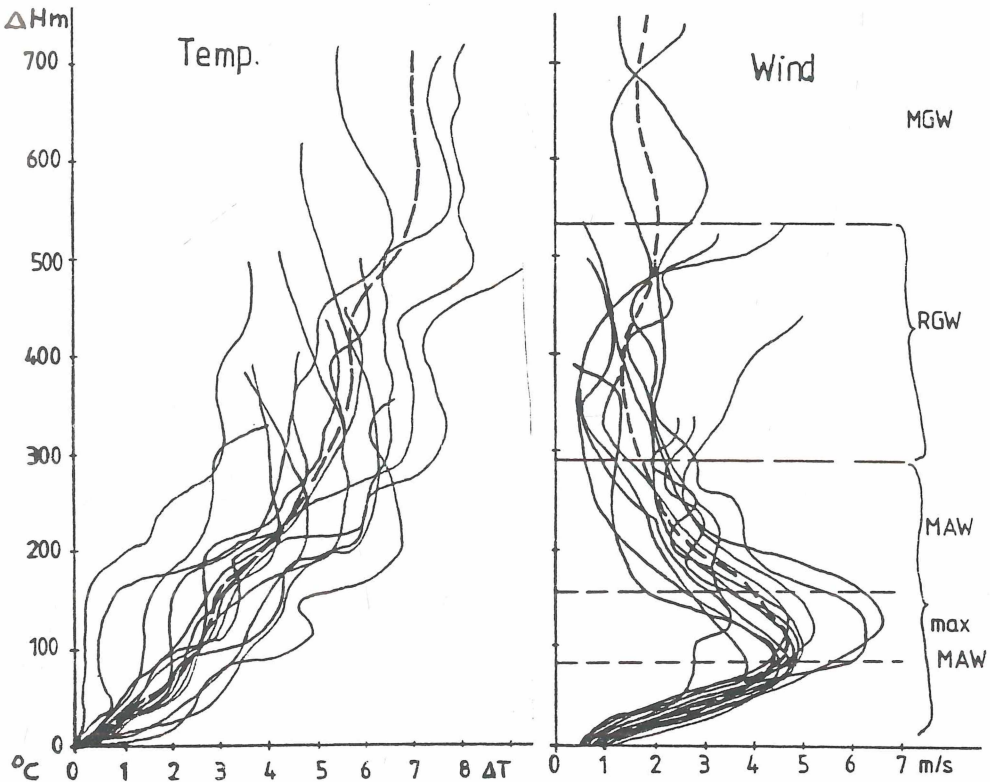
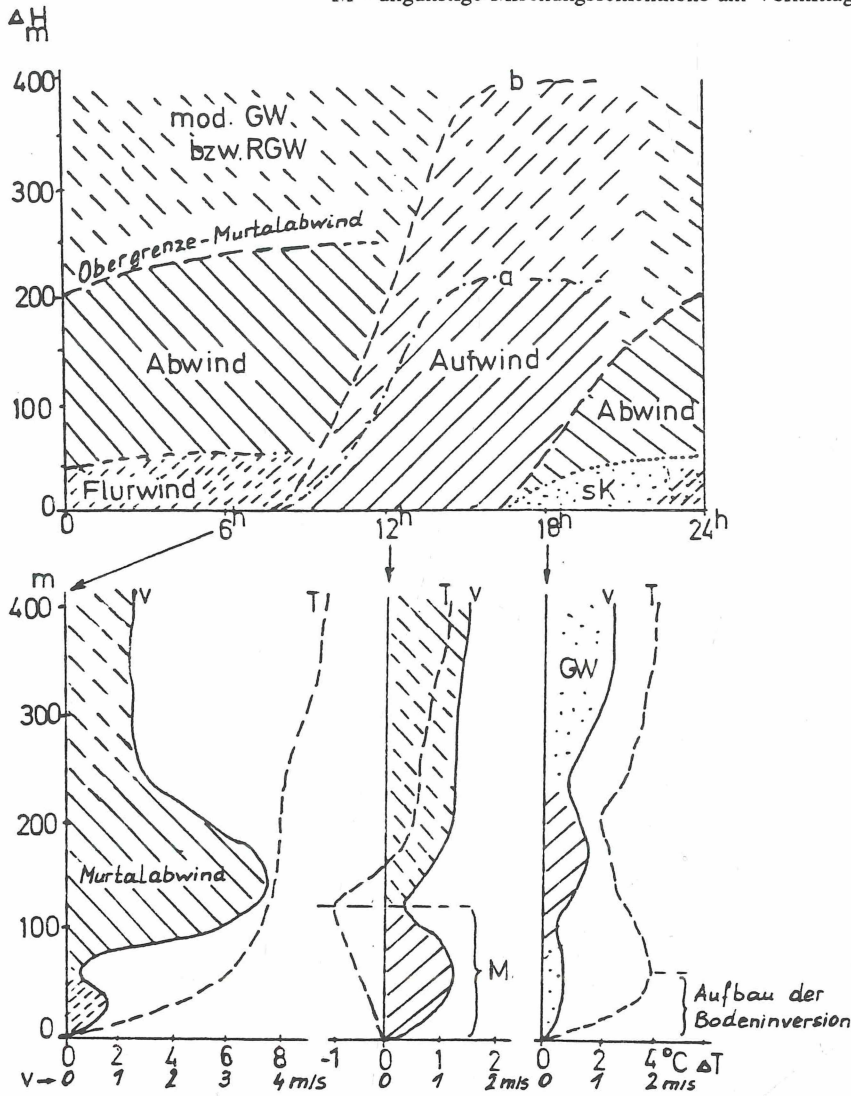


Abb. 5e: Schematische Darstellung des autochthonen Ablaufes der Strömungsbedingungen mit zugehörigen Windgeschwindigkeits- und Temperaturprofilen (strichliert) zu ausgewählten Zeitpunkten; Grundlage: Auswertung der Fesselballonsondenaufstiege aus den Wintern 1989/90 und 1990/91.

Abkürzungen: RGW - Randgebirgswind
mod. GW - modifizierter Gradientwind
sK - stagnierende, seichte Kaltluft
a, b - unterschiedliche Mächtigkeiten des Talafuwindes
M - ungünstige Mischungsschichthöhe am Vormittag



In den frühen Vormittagsstunden beginnt der Abbau der Bodeninversion. Bei nur wenig nachlassenden Murtalabwind verstärken sich die Flurwinde und entwickeln sich allmählich (im Sommerhalbjahr relativ rasch) zum Talaufwind, der Götting zumeist noch nicht erfaßt. Im weiteren Verlauf am Vormittag erfolgt eine Umstrukturierung der Bodeninversion in eine "abgehobene" Inversion, wobei die Mischungsschicht mit Winden aus S bis SE bis Mittag auf ca. 100 m anwächst. Der darüberwehende Murtalabwind erlischt, wobei oberhalb der Mischungsschicht dann meist modifizierte Gradientwinde das Geschehen beherrschen. Wegen dieser uneinheitlichen Windrichtungsverhältnisse, vor allem jedoch wegen der geringen Mischungsschicht, steigt die Immissionsbelastung stark an und verzeichnet ihr erstes Maximum um die Mittagsstunden. Erst am Nachmittag schwächt sich die Immissionsbelastung durch die Zunahme der Mischungsschichthöhe und die etwas bessere Ventilation (0,5 - 2,0 m/s) ab.

Im Sommerhalbjahr unterscheiden sich die Ausbreitungsbedingungen im wesentlichen durch den deutlich stärker entwickelten Murtalabwind und die günstigeren Schichtungsbedingungen, wobei die Auflösung der Bodeninversion zumeist schon am frühen Vormittag abgeschlossen ist.

Abschließend sei bemerkt, daß aufgrund der bisherigen Analysen aus den erfaßten Wintern 1989/90 und 1990/91 nicht die ungestörten Strahlungswetterlagen, sondern solche mit übergreifenden Wolkenfeldern lufthygienische Probleme bereiten. Dies ist vor allem auf den wegen der behinderten Sonneneinstrahlung nahezu völlig fehlenden Talaufwind, aber auch auf die geringeren Mischungsschichthöhen zurückzuführen. Halten derartige Strömungslagen mit Warmluftadvektion einige Tage an, wird ein Aufschaukelungsprozeß der Immissionsbelastung erkennbar, der letztlich eine Überschreitung von Smoggrenzwerten nicht ausschließen läßt. Der Anstieg der Konzentrationen ist vordergründig als Folge des zu geringen Horizontalaustausches (Lokalwindssysteme durch die Bewölkung stark eingeschränkt) anzusehen.

8. *Erläuterungen zur Stadtklimatopkarte (Abb. 8)*

Die wesentlichen Grundlagen für die Stadtklimatopkarte bilden die Baukörperstrukturen und der daraus resultierende Wärmeineffekt bzw. die Durchlüftung und die damit zusammenhängende Nebelgefährdung. Die Durchlüftung wurde in der Karte mit Pfeilen dargestellt. Entsprechend der Häufigkeit von Flurwinden wurde zusätzlich zwischen einer südlichen (Auftreten in fast jeder Strahlungsnacht) und einer nördlichen Verbreitungsgrenze (überwiegend nur im Winterhalbjahr) unterschieden. In Abhängigkeit dazu nimmt die Nebelhäufigkeit von S nach N stark ab (eigene Zusatzkarte), wobei in der Stadtklimatopkarte nur die jeweils am häufigsten zu beobachtenden Nebelgrenzen eingetragen sind, die wichtigste ist zweifellos jene vom Hauptbahnhof über den Schloßberg nach E (Ruckerlberg).

Hinsichtlich der Farbdarstellung wurde eine Kombination der Baukörperstruktur (von weiß bis rot) mit der nächtlichen Überwärmung (gelb bis rot) gewählt; die Seitentäler hingegen

sind in Blautönen ausgewiesen. Die in der Legende angeführten Temperaturdifferenzen zur Basisstation Graz/Thalerhof - repräsentativ für das "Umland" - beziehen sich auf heitere Strahlungsnächte. Die Horizontalschraffur bedeutet, daß es sich um Tallagen handelt, während die thermisch und bezüglich der Durchlüftung begünstigten Riedelrücken mit einer Senkrechtschraffur gekennzeichnet wurden. Bei den dazwischen verbleibenden Hanglagen - mit vollen Farben - erschien eine Trennung zwischen den kälteren in den Seitentälern (dunkelgrün) und wärmeren im Haupttal (hellgrün) sinnvoll. Die Hanglagen oberhalb der Einflußbereiche des Murtalabwindes (rot) ab ca. 550 m Seehöhe zeichnen sich durch besondere Gunst im Winter aus (schon häufig oberhalb der kritischen Mischungsschichthöhen, deutliche Abnahme der Inversionsgefährdung), außerdem befinden sich diese Hanglagen schon oberhalb des Einflußbereiches des Murtalabwindes. Im Bezug auf die Immissionsgefährdung schneidet die sogenannte Gipfelzone (Klimatop Nr. 33) am besten ab, die die Kammlagen ab ca. 600 m repräsentieren. Die Differenzierung der Hanglagen hinsichtlich der Besonnungsverhältnisse erfolgte in drei Stufen, wobei die günstigen Südhänge um ca. 0,5-1,5 °C höhere Maxima aufweisen als die neutralen und gut ventilierten Riedelrücken. Weitere Kennzeichen der Südhänge bestehen in einer deutlich verkürzten Schneedeckendauer (ca. 30 d gegenüber 60 d auf ebenen Flächen) und in vor allem am Vormittag ausgeprägten Hangaufwinden. Ausgesprochen ungünstige Standorte stellen nordexponierte Hangfußlagen dar (speziell infolge zusätzlicher Beschattung durch Wald Schneedeckendauer bis 90 d/Jahr).

Die Hangbereiche in den Seitentälern werden wesentlich von den zugehörigen Windsystemen beeinflusst und müssen deshalb gesondert von den Hanglagen im Haupttal betrachtet werden. Der wesentliche Unterschied besteht in der geringeren Durchlüftung der Seitentelhänge, die für die Kaltluftproduktion wichtig sind. Eine Zersiedelung bedeutet geschwächte Hangabwinde und somit auch eine Abschwächung der Seitentalwinde.

Die Seitentäler selbst wurden nach ihrer Kaltluft- und Inversionsgefährdung in 4 Stufen gegliedert, wobei die ermittelten Temperaturdifferenzen von der Seitentaleinmündung bis zu den extremen Talbeckensohlen (Fölling bzw. Niederschöckl) 4-5 ° betragen. Gleichzeitig nimmt innerhalb der einzelnen Seitentäler die Bebauungsdichte bis auf wenige Ausnahmen talaufwärts ab (Katzelbachtal, Berliner Ring). Der Berliner Ring stellt von der Baukörperstruktur eine Besonderheit dar: Als Typ einer Blockbebauung behindert er die Durchlüftung und schränkt damit die Wirksamkeit des lufthygienisch wichtigen Seitentalabwindes aus dem Kroisbachtal ein. Auch im Peterstal wurde ein 3-geschossiger Siedlungskomplex errichtet, der praktisch das gesamte Seitental abriegelt. Temperaturmeßfahrten zeigten, daß oberhalb dieser Siedlung - also im Staubereich der abfließenden Kaltluft - um 1-3 ° tiefere Temperaturen verzeichnet wurden als in den Jahren vor dem Bau. Derartige bauliche Hindernisse in Seitentälern wurden eigens in der Karte gekennzeichnet. Einige Seitentäler münden mit einer Talenge in das Murtal, sodaß die Bezeichnung "Seitentalkessel" gerechtfertigt scheint. Diese abgeschnürten Seitentalbereiche weisen die ungünstigsten Ausbreitungsbedingungen - hohe Inversionsbereitschaft bei schlechter Durchlüftung - auf; die Gefahr einer gegenseitigen Belästigung durch die Abgasfahnen besonders in bebauten Hanglagen ist relativ hoch. Konfliktfälle sind insbesondere aus dem Talkessel "Waltendorf"

bekannt geworden. Der Übergang zu den wiederum relativ günstigen Riedelrücken (Nr. 28) erfolgt sehr rasch, weshalb die Begrenzungsrichtlinien nicht als scharfe Grenzen aufgefaßt werden sollten.

An den Seitentalmündungen (Nr. 20, 21) nehmen die Mächtigkeiten der Seitentalabwinde rasch ab; der Einfluß dieser Strömungen reicht jedoch noch weiter in Richtung Stadtzentrum. Neben den relativ günstigen nächtlichen Durchlüftungsbedingungen zeichnen sich die beiden Typen 20 und 21 noch durch Nebelarmut aus bzw. unterscheiden sich hauptsächlich durch Abweichungen in den Hauptwindrichtungen.

Nähert man sich von S kommend dem Stadtzentrum, verläßt man zunächst den Stadtrandgürtel (Nr. 16-18), dessen klimatische Eigenschaften sich nur wenig von jenen im Grazer Feld abheben (sehr hohe Nebel- und Inversionsbereitschaft, häufige Flurwinde, schwacher Wärmeinseleffekt). Zu den ungünstigsten Abschnitten innerhalb dieser vorwiegend durch Einzelbebauung und einige Betriebe charakterisierten Zone zählen die Muraue und ein Streifen entlang des Buchkogels (stagnierende Kaltluft, Calmenanteil über 60 %).

Nach N schließt dann der Gartenstadtgürtel (Nr. 12-15) mit etwas dichter Einzelbebauung und vereinzelten Genossenschaftswohnkomplexen an. Im Nahbereich der Mur erfolgt der Übergang rascher: Hier erstreckt sich der Blockgürtel Süd (Klimatop 10 und 11), der sich heterogen aus dichter Wohnbebauung und mehreren Industrie- und Gewerbebetrieben zusammensetzt und deshalb auch in der Wärmeinselstruktur deutlicher hervortritt. Bemerkenswert ist, daß ein derartiger Baukörperstrukturtyp im E völlig fehlt. Eine Stadtentwicklung über den Gründerzeitgürtel hinaus war dort wegen des Erreichens des Talrandes nicht möglich. In den Blockgürteltypen 9-15 bleibt der nächtliche Flurwindeinfluß weitgehend erhalten, jedoch verringert sich die Nebelhäufigkeit auf 60-70 Tage/Jahr.

Schließlich gelangt man in den Gründerzeitgürtel (Nr. 3-5), der im W eine heterogene Struktur aufweist und im Gegensatz zum E von einigen Betrieben durchsetzt ist. Als stadtklimatisch ungünstig muß ferner der hohe Versiegelungsgrad angesehen werden, begrünte Innenhöfe wie im E (Nr. 5) fehlen fast völlig. Wesentliches Merkmal dieses Gründerzeitgürtels und vor allem der Altstadt ist die starke Ausprägung der Wärmeinsel, die in ihrem Kernbereich asymmetrisch durch die Mur aufgesplittert wird; im westlichen Teil mißt man in Strahlungsnächten noch um 0,5 bis 1 ° höhere Temperaturen. Die Verhältnisse tagsüber werden durch die relativ starke Aufheizung der Ziegeldachlandschaft geprägt, wogegen die eher kleinen Innenhöfe und schmalen Gassen der Altstadt kühler sind als das Umland. Thermisch ausgleichend wirkt der Stadtpark, während die Wiesen bzw. landwirtschaftlich genutzten Flächen klimaökologisch weniger bedeutend sind. Die Flurwindhäufigkeit nimmt nördlich der Linie Schloßberg - Hauptbahnhof stark ab; dafür wird der Murtalabwind auch in Bodennähe maßgebend für die Schadstoffausbreitung.

Wegen der besonders markanten Aufheizung tagsüber, aber auch wegen der relativ hohen nächtlichen Temperaturen wurden die Industrie- und Bahnanlagen im Hauptbahnhofsbereich

als eigener Typ ausgegliedert; während in dieser Zone (Nr. 6a) schon der Sektor NW-N als Hauptwindrichtung aufscheint, ist im S (Nr. 6b, Puchwerke) auf die häufige Windscherung mit den Flurwinden zu achten.

Weiter nach N erreicht man den Blockgürtel Nord (Nr. 8) mit bereits relativ günstigen klimatischen Eigenschaften, liegt er doch im direkten Einflußbereich des Murtalabwindes mit guter Durchlüftung; reibungsbedingt greift der Murtalabwind aber nur sehr abgeschwächt bis zum Boden durch. In der Düseneffektzone (Nr. 19) selbst werden in Bodennähe noch Geschwindigkeiten bis zu 6 m/s bei Murtalabwind gemessen und das Jahresmittel der Windgeschwindigkeiten erreicht Werte von 2,5-3 m/s. Damit wird diese Zone zur am stärksten ventilierten und nebelärmsten im Stadtgebiet mit der Besonderheit einer sekundären Wärmeinsel infolge Durchmischung mit wärmerer Luft von oben.

9. *Bedeutung der Ergebnisse für die Stadtplanung* (Erläuterungen zur Karte der planerischen Hinweise Abb. 9)

In Anlehnung an Beispiele aus Deutschland wurde versucht, basierend auf der Differenzierung der Stadtklimatope in einer Karte der planerischen Hinweise Vorschläge zur Bebauungsplanung und zur lufthygienischen Sanierung (Brennstoffbestimmungen für den Hausbrand) darzulegen, aber auch Vorranggebiete für Wohnen bzw. Industrie und Gewerbe auszugliedern. Wegen der Dominanz der nördlichen Windrichtungen und eines Schadstofftransportes mit intensiver Schichtung beim Murtalabwind erweisen sich die Standorte für Industrie und Gewerbe im N als völlig ungeeignet. Hingegen spricht viel für ein Wohnvorranggebiet, da zur guten Durchlüftung die geringe Nebelhäufigkeit kommt. Es handelt sich dabei im wesentlichen um weite Bereiche des Bezirkes Andritz (Zone 4). Für Gewerbe- und Industrieansiedlungen kommt der S (Zone 25, 26) in Frage, sofern bei der Kaminhöhenbestimmung die Flurwinde beachtet werden. So wird beispielsweise am Standort eines Autoherstellernetriebes die Abluft aus der Lackiererei derart über einen 40-50 m hohen Kamin geführt werden, daß eine Verfrachtung mit Flurwinden stadteinwärts nicht mehr erfolgt, sondern die Abluft, vom Murtalabwind erfaßt, mit verbesserten Verdünnungsbedingungen in das südliche Grazer Feld gelangt. Dies macht eine Quellhöhe von 70-80 m erforderlich, was mit einer entsprechenden Ausblasgeschwindigkeit durchaus zu erzielen ist. Ferner gilt, daß seitens der Emissionen von Betrieben der Stand der Technik auszuschöpfen ist. Umstellungen von Öl auf Gas brachten schon markante Verbesserungen; geplant ist u.a. auch die Umstellung des Fernheizkraftwerkes in der Puchstraße von Kohle auf Gas. Dessen Abgasfahne aus einem 70 m hohen Kamin gelangen wegen der großen thermischen Überhöhung immer in den Bereich des Murtalabwindes. Einen nennenswerten Immissionsbeitrag für Graz liefert das Werk nur bei Mischungsschichthöhen von 200-300 m (Reflexion der Abgasfahne an der Inversionsuntergrenze) und schwachem Talaufwind. Bei für Graz kritischen Mischungsschichthöhen von 100-150 m (generell am Nachmittag) kann die Abgasfahne noch die Inversionsuntergrenze durchdringen.

Ein besonderes Anliegen dieser Stadtklimaanalyse besteht darin, daß die Seitentäler im E in der Funktion als Frischluftzubringer erhalten bleiben. Hierzu bedarf es einer restriktiven Baulandvergabe (bzw. -widmung) bis hin zum Bauverbot in den Seitentalbecken bzw. obersten Abschnitten der Täler. Um aufzuzeigen, daß dabei eine überörtliche Raumplanung unter Einbeziehung der Nachbargemeinden im E erforderlich ist, wurden diese sensiblen Talbereiche (Zone Nr. 19) über die Stadtgrenze hinaus gezeichnet. Für die noch verbleibenden Talabschnitte (Zonen 9 und 10) erscheint eine Gebäudeausrichtung (Firstlinie parallel zur Hauptwindrichtungssachse) notwendig, wobei die Bebauungsdichte einen Wert von 0,3 nicht überschreiten sollte und nur 2-3 Geschosse zulässig sein dürfen. Wegen ihrer lufthygienischen Bedeutung ist eine Reduktion der Emmissionen aus dem Hausbrand anzustreben (Ausbau von Fernwärme und Ferngas). Das Hauptaugenmerk liegt dabei auf dem Ersatz der Festbrennstoffkessel, da diese bei den Emissionen (Staub, CO, CnHm, bei Kohle auch SO₂) mit Abstand am schlechtesten abschneiden (SPITZER, J., 1989). Hier würde eine Umstellung auf Heizöl extraleicht (0,1 % S-Gehalt) schon deutliche Verbesserungen bringen. Die in der Legende vorgenommene Differenzierung der Brennstoffwahl betrifft vornehmlich die Neuanlagen; im Zuge des weiteren Fernwärme- und Ferngasausbaues müssen jedoch auch Kessel aus bestehenden Wohnanlagen innerhalb bestimmter Fristen (laut Landesgesetzverordnung) substituiert werden. Die im STEK GRAZ 1990 vorgenommene Gliederung des Stadtgebietes in drei Brennstoffbeschränkungszonen wird derzeit überarbeitet, wobei eine Karte mit Emissionsgrenzwerten für diese drei Zonen vorgesehen ist, da mit technischen Verbesserungen (etwa Rauchgasrückführung) bei gleichem Brennstoff unterschiedliche Emissionen möglich sind.

Eine weitere Bebauung der Seitentäler wie in den letzten Jahren hätte zweifellos auch eine Steigerung des Berufverkehrs zur Folge. Die derzeitigen Emissionen zu den Verkehrsspitzen mit Staus am Morgen und Abend - jeweils hinsichtlich der Ausbreitungsbedingungen sehr ungünstige Zeitbereiche - sollten durch ein verbessertes Angebot beim öffentlichen Verkehr reduziert werden.

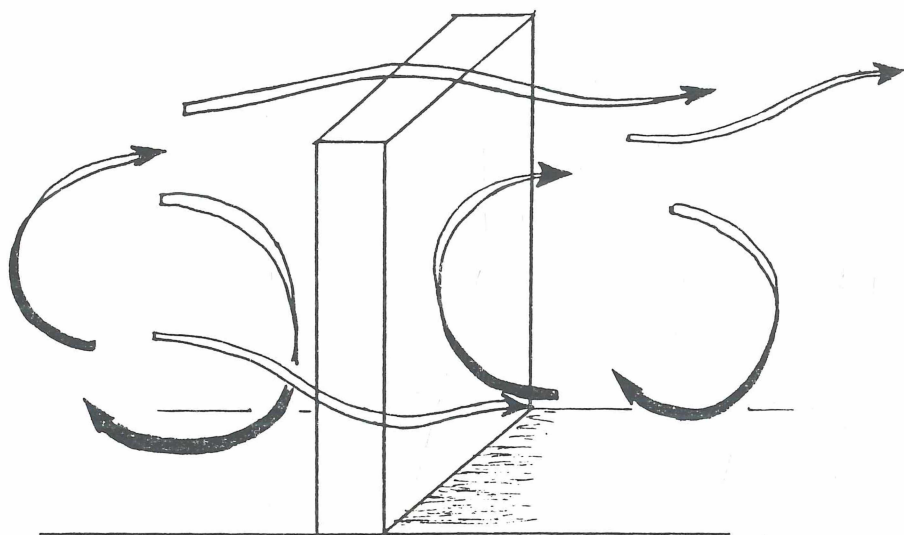
Eine Besonderheit im E von Graz stellen die schon beschriebenen "Seitentalkessel" (Zone 16) dar, wo im Zuge einer lufthygienischen Sanierung durch Information der Anrainer eine Substitution der Festbrennstoffkessel vorgenommen werden sollte; auch der Einsatz von Kachelöfen bzw. von "offenen Kaminen" ist in diesen Gebieten aus Gründen eventueller Nachbarschaftsbelästigungen (direkte Anwehung infolge Hangauf- bzw. Hangabwinden) problematisch.

Ungünstige Ausbreitungsbedingungen und das Fehlen von Seitentälern zur nächtlichen Lufterneuerung erzwingen im W und SW (Zone 12 und 13, insbesondere jedoch 17) Maßnahmen zur Emissionsreduktion, vor allem durch verstärkten Ausbau von Fernwärme. Hinsichtlich der Bebauung ist auch eine Blockbebauung (bis 5 Geschosse) durchaus denkbar, wobei eine N-S-Orientierung im Sinne der Hauptwindrichtungssachse empfehlenswert ist.

Bebauungsbeschränkungen sind hingegen im NW (Gösting, Düseneffektgürtel, Zone 11) erforderlich, um nicht den Murtalabwind noch früher zu einer "abgehobenen" Strömung

infolge Reibungswirkung werden zu lassen. Bisher errichtete Hochhauskomplexe in Götting (z.B. "Bischöfliche Siedlung") üben bereits einen stark bremsenden bzw. kanalisierenden Effekt auf den Murtalabwind aus. In diesem Zusammenhang muß auch das quer zur Hauptwindrichtung stehende Posthochhaus (Griesplatz) als Negativbeispiel erwähnt werden; unerwünschte Rezirkulationen sind die Folge (Abb. 7).

Abb. 7: Rezirkulation am Posthochhaus bei nächtlichem Murtalabwind (Ausbildung eines Wirbels auf der Luvseite nach unten gerichtet, auf der Leeseite nach oben gerichtet; ferner ist die seitliche Umströmung des Gebäudes zu beachten)



Im Stadtzentrum selbst - Wärmeinselpereich mit Altstadt und Gründerzeitgürtel (Zonen 1 und 2) - ist eine Durchgrünung nach Maßgabe der städtebaulichen Möglichkeiten anzustreben. Dies betrifft insbesondere die relativ stark bebauten Innenhöfe im westlichen Teil, während die begrünten Innenhöfe des Gründerzeitviertels im E als positives Beispiel (ausgeglichenes Klima mit ausreichender Durchlüftung wegen der generell großen Blockabstände) hervorgehoben werden. Alleyn, wie sie in letzter Zeit in größerem Umfang gepflanzt werden, sind zu begrüßen, da sie einen wichtigen Beitrag zur Staubreduktion leisten und, wenn auch nur in geringem Maße, klimaausgleichend wirken.

Schließlich muß noch die Frage des sogenannten "Grüngürtels" erörtert werden, dessen Grenzziehung sich nicht immer mit jener aus dem Flächenwidmungsplan 1982 deckt. In der vorliegenden Karte erfolgte die Abgrenzung nach klimaökologischen Gesichtspunkten, wobei im wesentlichen die Funktion der Hangbereiche für Kaltluftproduktion und die schon bestehende Siedlungsstruktur berücksichtigt wurden. So scheinen beispielsweise Hanglagen mit zu stark fortgeschrittener Besiedelung (meist verdichteter Flachbau) und somit stark verminderter Bedeutung für die Kaltluftproduktion nicht im Grüngürtel auf. Auf den gut durchlüfteten und auch inversionsmäßig begünstigten Riedelrücken könnte hingegen eine lockere Bebauung bis 0,3 toleriert werden. Wegen der Rolle der Seitentäler mit ihren zugehörigen Hanglagen für die Lufterneuerung einerseits bzw. für die Naherholung andererseits wurde für die Bereiche innerhalb des Grüngürtels mit Ausnahme der Riedelrücken ein Bauverbot vorgeschlagen.

10. Zusammenfassung und Ausblick

Die Ergebnisse der stadtklimatischen Untersuchungen mit dem Schwerpunkt einer Thermalscannerbefliegung zeigten den komplexen Aufbau des Stadtklimas von Graz. In einer Klimatopkarte wurde versucht, die dominante Baukörperstruktur mit den wichtigsten klimatischen Eigenschaften - Hauptwindrichtungen und Durchlüftung, thermische Bedingungen (Wärmeinseleffekt) und Nebelverhältnisse - in einer Synthese zu kombinieren. Aus den so definierten 33 Stadtklimatopen verblieben nach einer Generalisierung für eine Karte der planerischen Hinweise noch 26 unterschiedliche Zonen, für die jeweils unter Berücksichtigung der Schadstoffausbreitungsbedingungen Vorschläge zur Bebauungsplanung und zum Ausschluß von bestimmten Brennstoffen für die Raumheizung ausgewiesen wurden. Letzterer Aspekt war ein Schwerpunkt der Stadtklimaanalyse im Hinblick auf eine Verbesserung der Luftgüte in Graz. In diesem Zusammenhang wurden ferner Vorranggebiete für Industrie und Gewerbe im S von Graz (unter Beachtung der Flurwinde) bzw. klimatisch bevorzugte Wohngebiete im N ausgeschieden. Wegen der Bedeutung der Seitentäler als Frischluftzubringer und der Funktion des "Grüngürtels" im W wurden für diese sensiblen Bereiche eine restriktive Baulandvergabe bzw. ein Bauverbot vorgeschlagen. Die Ergebnisse der Karte der planerischen Hinweise werden beim Stadtentwicklungskonzept bzw. bei der Überarbeitung des Flächenwidmungsplanes entsprechend berücksichtigt, wobei zu hoffen ist, daß insbesondere bei der Frage der Seitentäler im Sinne einer überörtlichen Raumplanung mit den Nachbargemeinden die notwendigen Entscheidungen zur Erhaltung als Frischluftzubringer getroffen werden.

Verzeichnis der Abbildungen

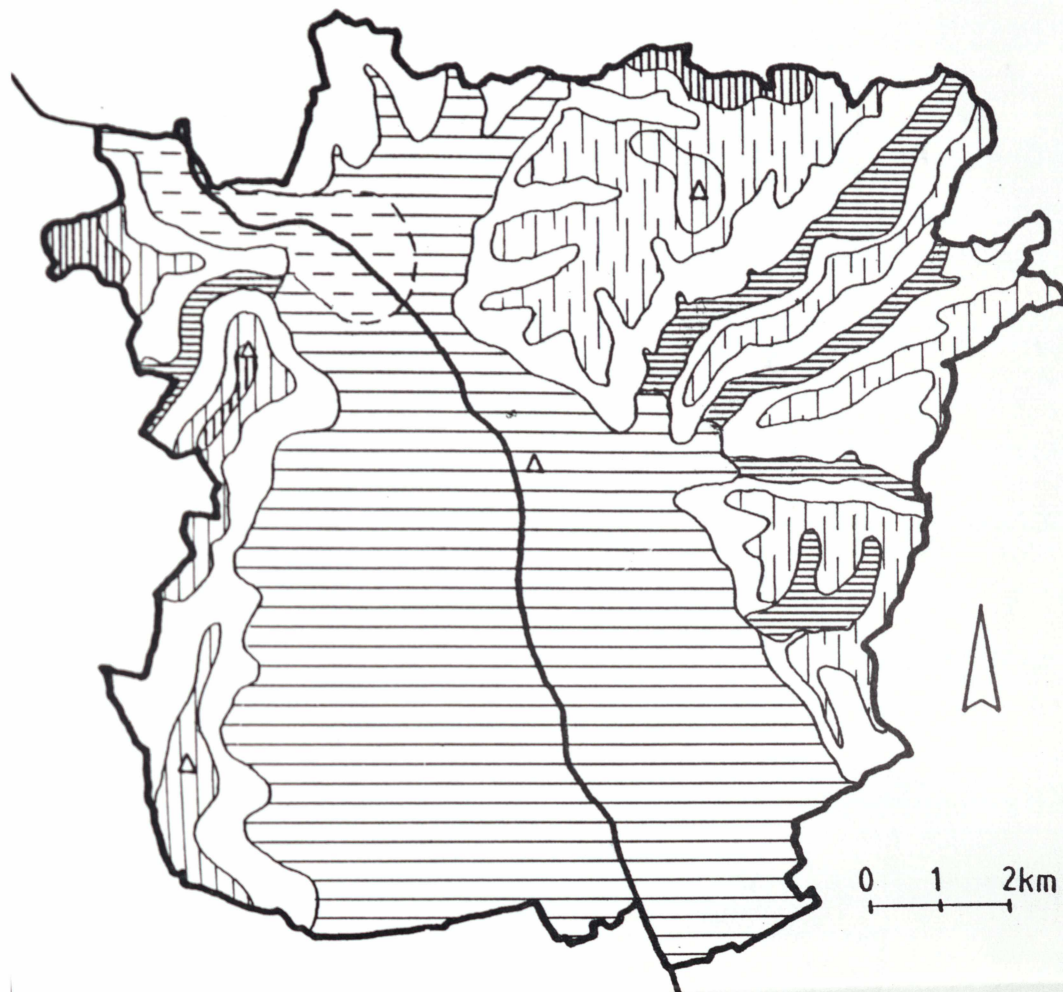
- Abb. 1: Geländedarstellung/Stationsnetz
- Abb. 2: Nächtliche Lokalwindssysteme
- Abb. 3: Nächtliche Temperatursituation
- Abb. 4: Wärmeinselstrukturtypen
- Abb. 5: Inversionsverhältnisse
- Abb. 6: Tagesgang der Schadstoffausbreitung
- Abb. 7: Rezirkulation am Beispiel des Posthochhauses beim Griesplatz
- Abb. 8: Stadtklimatopkarte
- Abb. 9: Karte der planerischen Hinweise
- Abb. 10: Thermalscanneraufnahme 3.10.1986 (5-6 h)

Literatur

- BUCHROITHNER, M.F., KAUFMANN, V., 1990: City Planing by Means of Thermal Infrared Mapping / Urban climate analysis of the city of Graz. In: Earth Observation quarterly. No 31, 1990.
- LAZAR, R., 1982: Stadtklimatische Besonderheiten von Graz. Tagungsband "10 Jahre Grazer Luft beobachtet". Magistrat Graz, 35 Seiten.
- LAZAR, R., 1984: Autochthone Windsysteme im südöstlichen Alpenvorland. Int. Franz Sauberer Gedächtnissymposion in Wien. Beitrag im Tagungsband Wien 1984 (Univ. für Bodenkultur). 157-161.
- MAHRINGER, W., 1974: Meteorologische Aspekte zum Ausbau des Bundesstraßennetzes im Raum Graz; Teil eines Gutachtens am Hygiene-Institut Graz von J.W. Frenzel (Schadstoffimmissionen des motorisierten Verkehrs im Raum Graz). 13 Seiten.
- SPITZER, J., 1989: Emmissionsbezogene Bewertung von Energieplanungsmaßnahmen. Projektbericht der Forschungsgesellschaft Joanneum, Graz. 152 Seiten.
- STADTENTWICKLUNGSKONZEPT GRAZ 1991: STEK (Stadtentwicklungskonzept) 1990. Magistrat Graz, 43 Seiten.
- STOCK, P., 1985: Stadtklimaanalyse Dortmund.
- WAKONIGG, H., 1978: Witterung und Klima in der Steiermark. 473 Seiten.

BEILAGE ZUR STADTKLIMATOPKARTE

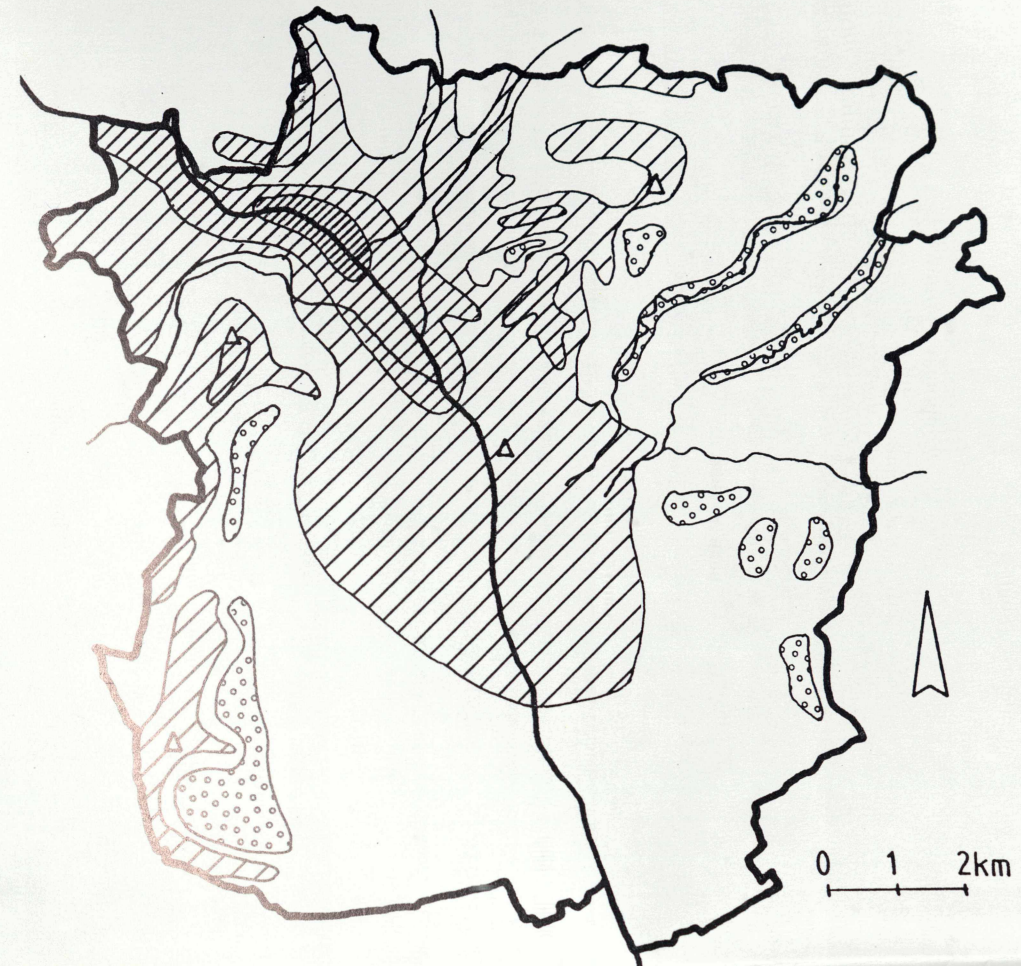
INVERSIONSGEFAHRDUNG



Inversionsgefährdung (IG)

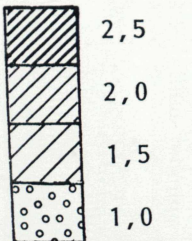
- Kammlagen ab 650m Sh mit **geringer** IG
- Oberhanglagen zwischen 550 und 650m, **mäßige** IG
- begünstigte** Riedelrücken im **Osten** von Graz
- Unterhangbereiche mit nach **unten** zunehmender IG
- starke** IG im Grazer Feld, nur im NW geringer (**strichlierte** Bereiche)
- sehr starke** IG in den Seitentälern (in 80-90% aller Nächte Inversion)

DURCHLÜFTUNG

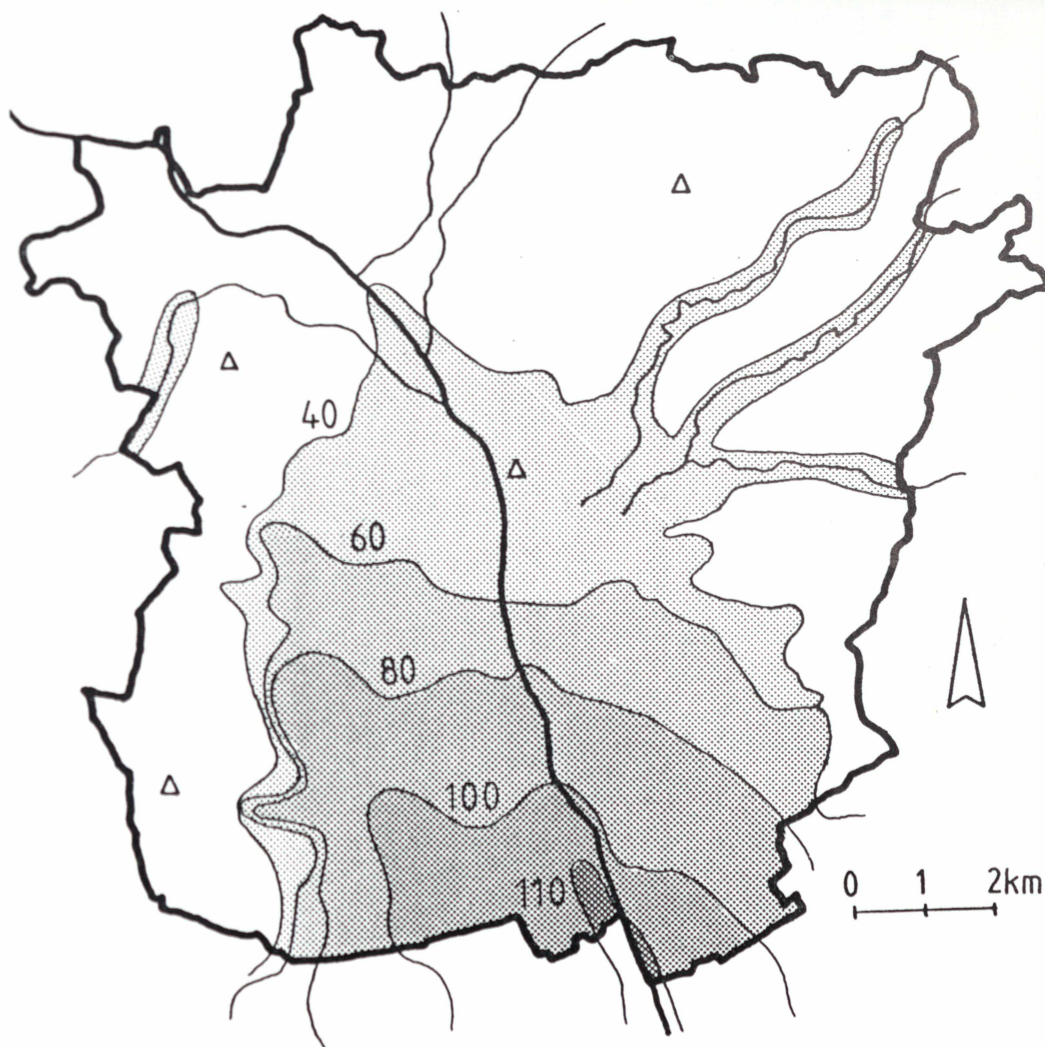


Jahresmittel der Windgeschwindigkeit

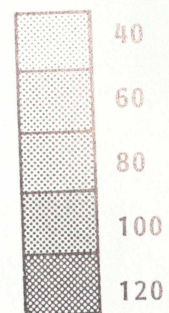
m/s



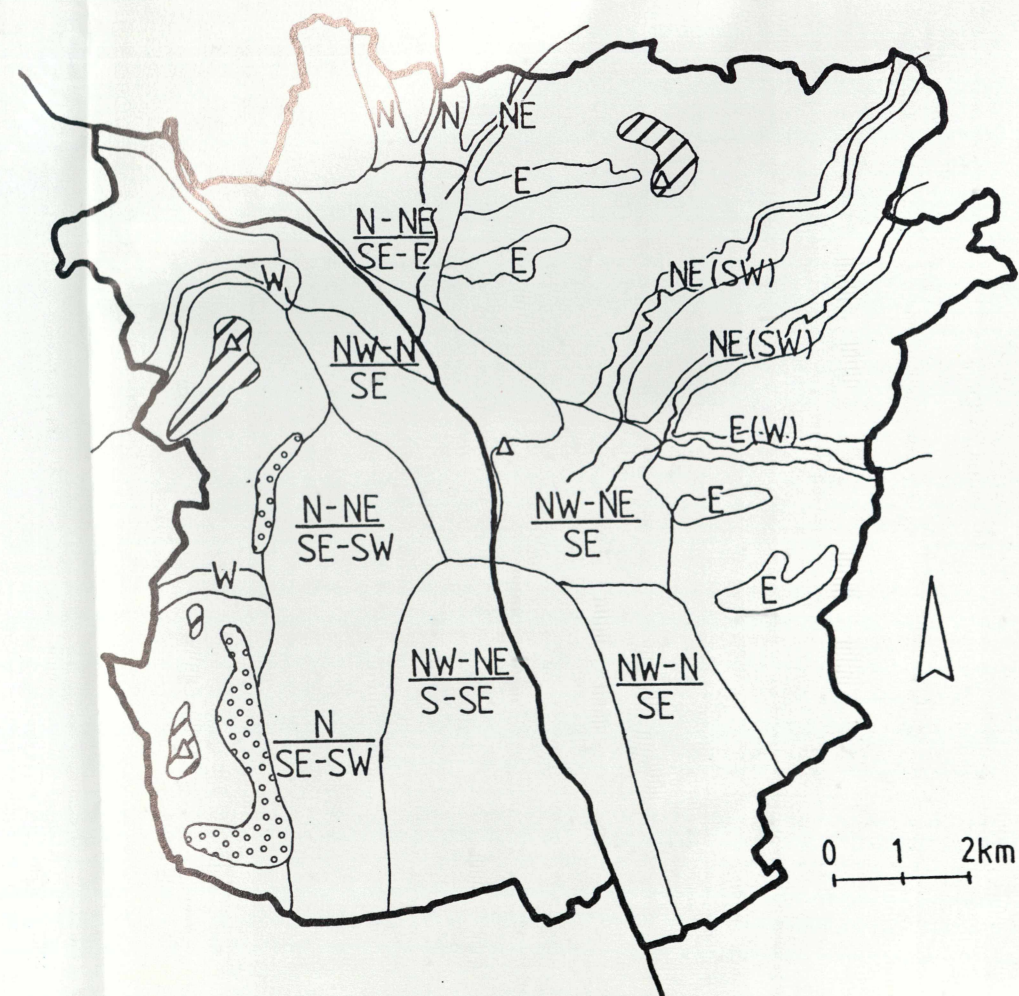
NEBELVERHÄLTNISSE



Anzahl der Tage mit Nebel/Jahr



WINDRICHTUNGSVERHÄLTNISSE



Hauptwindrichtungen

- N Hauptrichtung / Nacht
- S Hauptrichtung / Tag

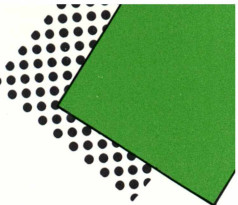
N* Hauptrichtung insgesamt

in Seitentälern :

- W Hauptrichtung / Nacht
- (E) Hauptrichtung / Tag

Kammlagen, tagsüber gut ventiliert

Abschnitte mit großer Calmenhäufigkeit



PLANUNGSHINWEISE AUS KLIMATOLOGISCHER SICHT

EIGNUNG KLIMATISCHE BESONDERHEITEN PLANERISCHE EMPFEHLUNGEN

DICHTE WOHNBEBAUUNG

- | | | | |
|---|--|--|---|
| 1 | | Wärmeinsel, nachts Murtalabwind | Straßen- und Höfe begrünen, Parks als Auflockerung; 4-5 Gesch., Baulückenauffüllung, keine festen Brennstoffe |
| 2 | | Wärmeinsel, nachts Kaltluftabfluß aus den Seitentälern | wie oben, jedoch Gebäudeausrichtung gem. nächtlicher Strömungsrichtung |

WOHNEN - VORRANGGEBIETE

- | | | | |
|---|--|---|--|
| 3 | | Gute Durchlüftung, Murtalabwind dominant | Blockbebauung, keine festen Brennstoffe, Gebäudeausrichtung |
| 4 | | Nachts Kaltluftabfluß aus den Seitentälern | Bebauung 4-5 geschossig, keine festen Brennstoffe, Gebäudeausrichtung beachten |
| 5 | | Riedelrücken, thermisch begünstigt, wenig Inversionsgefährdung, gut durchlüftet | Lockere Bauweise bei Berücksichtigung der Topographie, BD max. 0,6 |
| 6 | | Hanglagen im Osten, Funktion als Kaltluftproduzenten | Lockere Bauweise, keine festen Brennstoffe, BD max. 0,6 |
| 7 | | Durchlüftung relativ gering, nach Süden zunehmende Nebelhäufigkeit | Bebauung max. 3-geschossig, keine festen Brennstoffe |
| 8 | | Mäßige Durchlüftung, Murtalabwind einfluß dominant | Blockbebauung 4-5 geschossig, keine festen Brennstoffe |

WOHNEN MIT EINSCHRÄNKUNGEN

- | | | | |
|----|--|--|---|
| 9 | | Einmündungsbereich der Seitentäler, kühl, nachts Kaltluftabfluß | Bebauung 2-3 geschossig Gebäudeausrichtung, keine festen Brennstoffe, BD max. 0,6 |
| 10 | | Seitentälbereich, kalt, nachts Kaltluftabfluß | nur Restparzellen bebauen, max. 2 Gesch., Gebäudeausrichtung, BD max. 0,6, keine Festbrennstoffe |
| 11 | | Sehr gut durchlüfteter Abschnitt, Murtalabwind dominant | Bebauung 2-3 geschossig, Gebäudeausrichtung, keine festen Brennstoffe |
| 12 | | Geringe Durchlüftung, nach Süden zunehmende Nebelhäufigkeit | Blockbebauung 4-5 geschossig, Vorrang FW gegenüber Gas, keine festen Brennstoffe |
| 13 | | Geringe Durchlüftung, Zunahme der Inversionsstärke, starke Nebelhäufigkeit | Bebauung 2-3 geschossig, nur Restparzellen auffüllen, Vorrang FW gegenüber Gas, keine festen Brennstoffe, BD max. 0,6 |
| 14 | | Hanglagen in östlichen Seitentälern, Funktion als Kaltluftproduzent | Lockere Bauweise, Gebäudeausrichtung, keine festen Brennstoffe, BD max. 0,3 |
| 15 | | Hanglagen entlang des Plabutsch, schlechte Durchlüftung, Frischluftproduzent für Hangfußzone | Lockere Bauweise, nur Restparzellen auffüllen, keine festen Brennstoffe, BD max. 0,3 |
| 16 | | Talbeckenlage, geringe Durchlüftung bei hoher Inversionsbereitschaft | Lufthygienisch sanieren, nur FW oder E-Hzg. zulässig, Restparzellen auffüllen, BD max. 0,3 |
| 17 | | Geringe Durchlüftung, starke Nebelhäufigkeit | Bebauung 2-3 gesch. Vorrang FW gegenüber Gas u. Öl, BD max. 0,6 |
| 18 | | Stagnierende Kaltluft in Seitentälern | Lufthygienisch sanieren, nur Restparzellen auffüllen, keine festen Brennstoffe, BD max. 0,3 |

GRÜNGÜRTEL, ERHOLUNG

- | | | | |
|----|--|--|---------------------------------------|
| 19 | | Seitentälbereiche, sehr kalt, Kaltluftproduktion | von Bauweise freihalten |
| 20 | | Hanglage im Grüngürtel, Kaltluftproduktion | von Bauweise freihalten |
| 21 | | Berggrücken über 550 m, meist über erster Inversionsschicht, Erholungsfunktion im Winter | von Bauweise freihalten |
| 22 | | Talbeckenlagen im Grüngürtel, wenig durchlüftet, hohe Inversionsbereitschaft | keine weitere Bauweise |
| 23 | | Riedelrücken im Grüngürtel, gut durchlüftet, gute Eignung für Naherholung | Lockere Bauweise möglich, BD max. 0,3 |

INDUSTRIE

- | | | | |
|----|--|--|--|
| 24 | | Bestand; starke Aufheizung am Tag, Emissionen | Begrünung von Parkplätzen, Anschluß an FW oder FG |
| 25 | | Mäßige Durchlüftung, starke Nebelhäufigkeit, Flurwinde von Süden | Bei Industrieansiedlung auf Kaminhöhe achten, Anschluß an FW oder FG |
| 26 | | Relativ schwache Durchlüftung, starke Nebelhäufigkeit, Flurwinde von Süden | Emissionsarme Betriebe, Anschluß an FW oder FG, auch Wohnbebauung mit 2-3 Gesch. möglich, keine festen Brennstoffe, BD 0,6 |

Abb.6: TAGESGANG DER AUTOCHTHONEN AUSBREITUNGSBEDINGUNGEN

Lokalwindsysteme und ihre zugehörige Temperaturschichtung
bei Strahlungswetterlagen im Grazer Raum

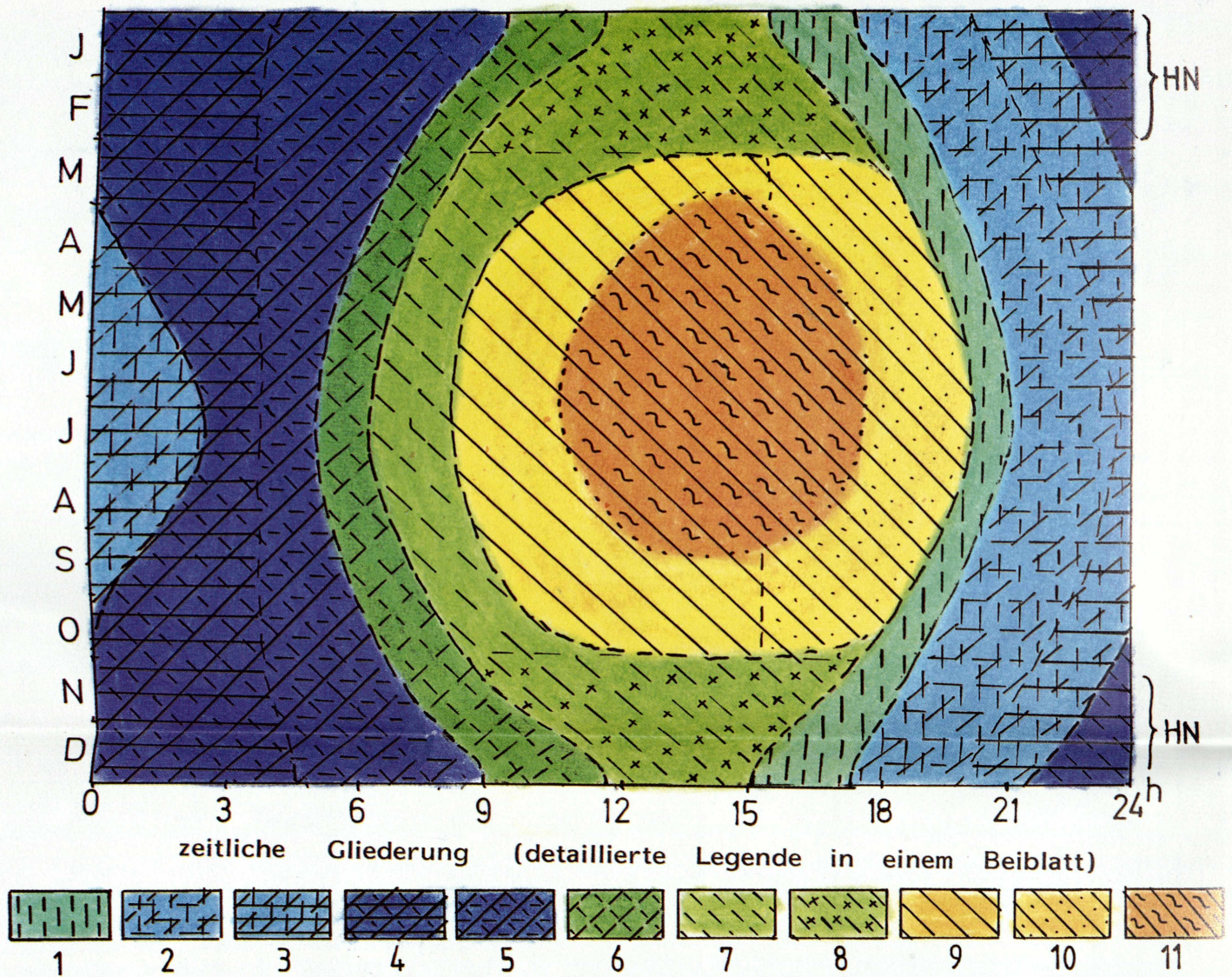
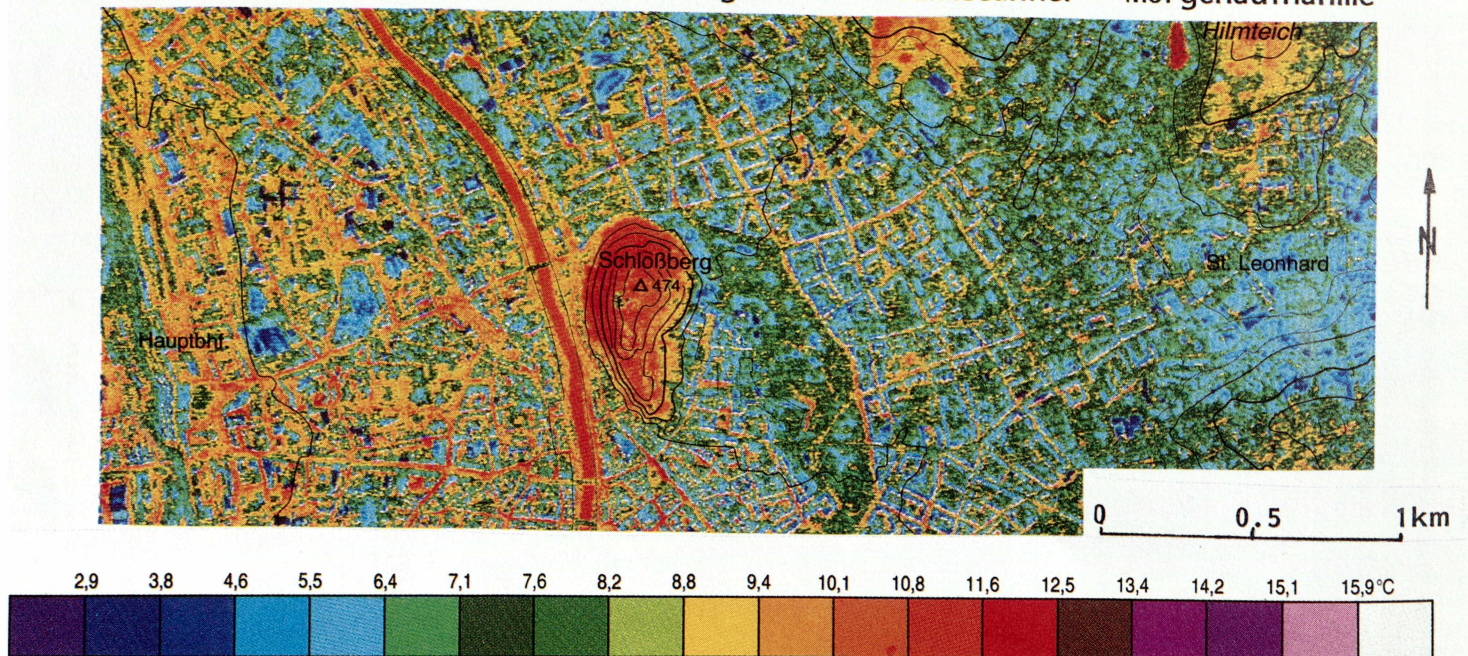


Abb.10c: Ausschnitt aus der Original - Thermalscanner - Morgenaufnahme



Phase	Nr.	
	1	Zeitbereich am späten Nachmittag und Abend mit aufledenden Hangabwinden (Kaltluftabfluß von den beschatteten Hängen) ; ansonsten noch Talaufwinde; im Winterhalbjahr Aufbau der nächtlichen Bodeninversion.
	2	Zeitbereich in der ersten Nachthälfte mit Einsetzen der Seitentalabwinde, dabei noch Windscherung mit noch anhaltendem Murtalaufwind möglich Schichtung generell bereits invers
	3	analog wie 2, jedoch mit nachlassenden Hangabwinden und stark entwickelten Seitentalabwinden; Aufleben des Murtalabwindes
	4	Zeitabschnitt mit gut ausgeprägtem Murtalabwind, aufkommenden Flurwinden im Süden von Graz; im Winterhalbjahr erhöhte Nebelbereitschaft im S
	5	Zeitbereich mit nachlassenden Seitentalabwinden, ferner Flurwinden im Süden und unvermindertem Murtalabwind; Bodeninversion am mächtigsten und häufig auch am stärksten ausgebildet.
	6	Phase am Morgen mit, nachlassendem Murtalabwind und Ausweitung der Flur - winde bis in den Raum Gösting (im Winterhalbjahr später kaum eine Unterscheidung zum Talaufwind möglich) ; ausgeprägte Windscherungen mit dem Murtalabwind;
	7	Abschnitt am frühen Vormittag mit dem Ende des Murtalabwindes , zögerndem Einsetzen der Talaufwinde, vor allem in den Seitentälern; Inversionsauflösung; analog zu 7, jedoch mit abgehobener Inversion (Mischungsschicht bis zum
	8	Nachmittag auf 200-400m ansteigend) , bei Schneedecke auch ganztägig Bodeninversion möglich ; Talaufwind nur schwach entwickelt (0.5-2.0m/s), bei Durchzug von Wolkenfeldern erhöhte Calmenbereitschaft und sehr un- günstige Ausbreitungsbedingungen
	9	Zeitbereiche am Vormittag mit Talaufwind aus S bis SE und neutral bis labiler Schichtung
	10	analog zu 9 , jedoch mit häufiger Drehung der Windrichtung auf SE bis E (übergeordnetes Windsystem, Antirandgebirgswind)
	11	Zeitbereich mit der stärksten Ausprägung der Talaufwinde(3-5m/s); jedoch am Nachmittag analog zu 8 und 9 mitunter durch Schauer und Gewitter unterbunden.
HN		Zeitbereich im Winterhalbjahr mit oft lang anhaltenden Hochnebelperioden und Unterdrückung der Lokalwindssysteme; autochthone Ausbreitungsbedingungen daher viel weniger repräsentiert als in den anderen Jahreszeiten.



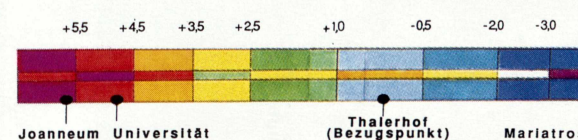
KLIMATOPKARTE

KLIMATOP	BEZEICHNUNG IM TEXT
	Wärmeinseln 1
	Mischzone 2
	Gründerzeitgürtel Süd 3, Nord 4
	Gründerzeitgürtel Ost 5
	Industriezone Nord-West 6
	Blockgürtel West 7, Nord 8, Ost 9, Süd 10 (nördlicher Teil), Süd 11 (südlicher Teil)
	Gartenstadtgürtel West 12 (nördlicher Teil), West 13 (südlicher Teil) Nord-West 14, Ost 15
	Stadtrandgürtel Süd-Ost 16, Süd-Mitte 17, Süd-West 18
	Düseneffektgürtel 19
	Seitentaleinmündungsbereich Nord 20, Ost 21
	1. Seitentalabschnitt 22
	2. Seitentalabschnitt 23
	3. Seitentalabschnitt 24
	Seitentalebene 25
	Talkessel 26
	Hangzone in Seitentälern 27
	Riedelrücken 28
	Hangmulden 29
	Untere Hangzone im Osten 30, im Westen 31
	Obere Hangzone 32
	Gipfelzone 33

SONDERKLIMATOPE OHNE NUMERIERUNG:

- Isolierte Grünflächen mit "in situ" gebildeter, seichter Kaltluft (Abstufung hell-mittel-dunkelblau bedeutet: kühl-kalt-sehr kalt)
- Parkflächen mit Ausgleichsfunktion im Sommer
- Friedhöfe: Temperaturverhalten ähnlich jenem isolierter Grünflächen
- Industrie- und Gewerbeflächen: infolge hoher Versiegelung starke Aufheizung der Oberflächen; ansonsten klimatische Bedingungen analog zu den jeweilig benachbarten Klimatypen
- Betriebe mit bedeutenden Emissionen: zugehörige Hauptwindrichtungen für Tag (hohle Pfeile) und Nacht (volle Pfeile)
- Deponiebereich Köglerweg: tagsüber höhere Temperaturen als bei sonstigen Grünflächen
- Schloßberg: inmitten der Wärmeinsel gelegen, gewöhnlich wärmer als diese und besser durchlüftet (Murtalabwind); tagsüber im Sommerhalbjahr Ausgleichsfunktion

NÄCHTLICHE TEMPERATURDIFFERENZEN: ΔT °C



STRAHLUNG/BESONNUNG

- Überschuß - Südhänge mit Überwärmung
- Defizit - vorwiegend Nordhänge

NÄCHTLICHE WINDSYSTEME IN GRAZ

MURTALABWIND besitzt große Bedeutung als Frischluft-zubringer für das gesamte Stadtgebiet

- Düseneffektbereich mit sehr hoher Windgeschwindigkeit; in 10 m Höhe über Grund 3-6 m/s, in 50-150 m Höhe 5-10 m/s
- Bereiche mit dominantem Murtalabwind; in 50-200 m Höhe 3-6 m/s
- Randbereiche mit geringer Geschwindigkeit; weniger als 3 m/s

SEITENTALWIND besitzen große Bedeutung für die Lüfterneuerung in den östlichen Bereichen bis in die innere Stadt, wirksam 20-50 m über Grund

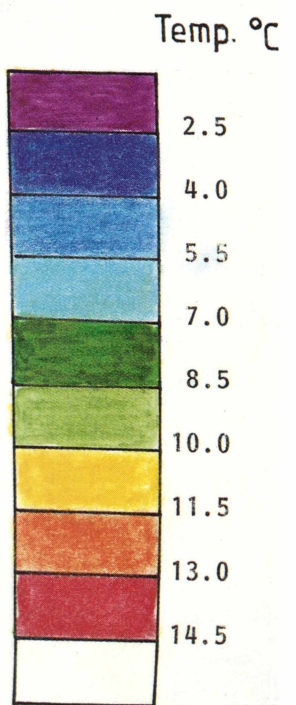
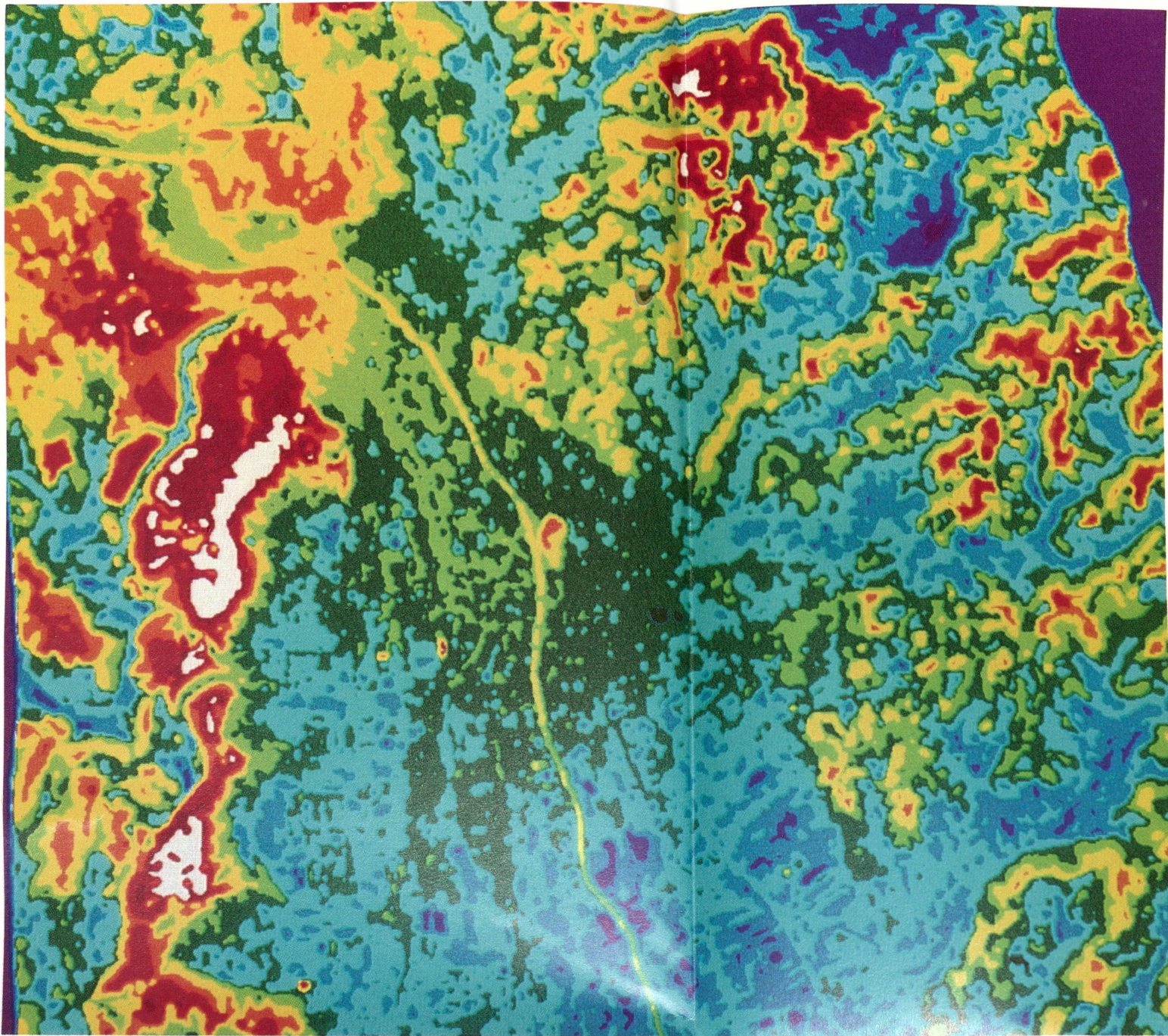
- stark ausgeprägter Abwind in Düseneffektabschnitten, 2-3 m/s
- schwach bis mäßig entwickelter Talabwind, 0,5-2 m/s
- bauliches Strömungshindernis

HANGABWINDE besitzen nur lokale Bedeutung für die Hangfußbereiche, generell nur wenige Meter mächtige Strömungen mit 0,5-2 m/s

FLURWINDE bedeutend für die südlichen und westlichen Bereiche, häufig Windscherung mit dem darüberströmenden Murtalabwind, Nebelverfrachtung vom Grazer Feld in das Stadtgebiet, Mächtigkeit 30-70 m, Windgeschwindigkeit 0,5-1,5 m/s, häufig auch Kälmen

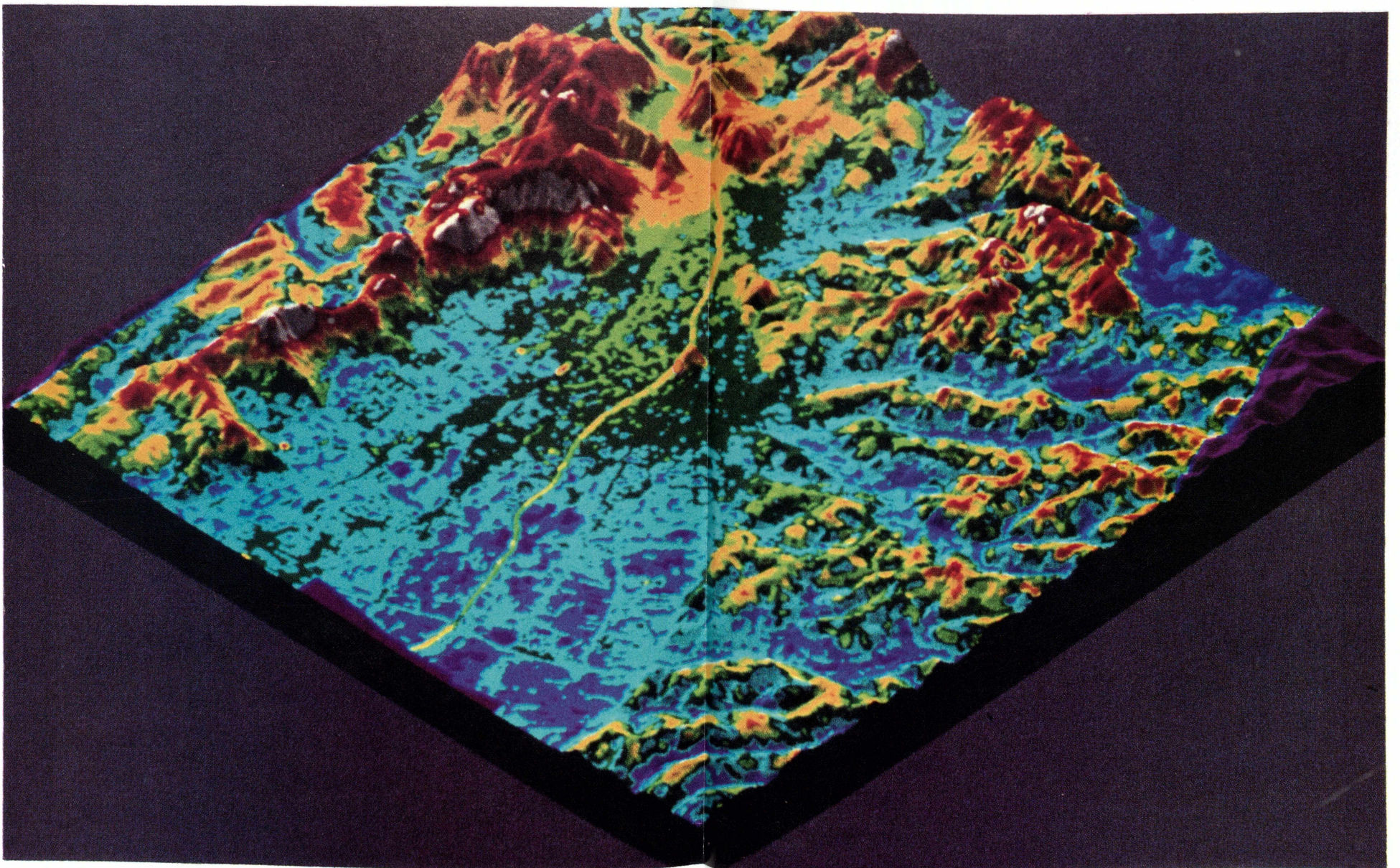
- nN
mN
sN
nördliche mittlere Nebelgrenze südliche
- nF
sF
nördliche südliche Flurwindgrenze
- S
stagnierende Kaltluft
- I
Plabutschunnelentlüftung

Abb.10a: GENERALISIERTE STRAHLUNGSTEMPERATURKARTE DES MORGENFLUGES (3.10. 1986, 5 - 6^h)
(Bildausschnitt für Abb. 10c im Maßstab 1: 25 000 umrandet)



Anmerkungen: Die Abb. 10a,b,c sind am Institut für digitale Bildverarbeitung (DIBAG Graz, M.F. Buchroithner und V. Kaufmann) erarbeitet worden. Zu beachten sind die gut ausgeprägte Düseneffekt - wärmeinsel im NW, die asymmetrische städtische Wärmeinsel und die extrem kalten Seitentäler bzw. die überaus warmen Hänge des Plabutsch - Buchkogelzuges.

Abb.10b: DREIDIMENSIONALE ANSICHT DER MORGENAUFNAHME AUS SE



ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Arbeiten aus dem Institut für Geographie der Karl-Franzens-Universität Graz](#)

Jahr/Year: 1991

Band/Volume: [30_1991](#)

Autor(en)/Author(s): Lazar Reinhold

Artikel/Article: [Stadtklimaanalyse Graz und ihre Bedeutung für die Stadtplanung 141-171](#)