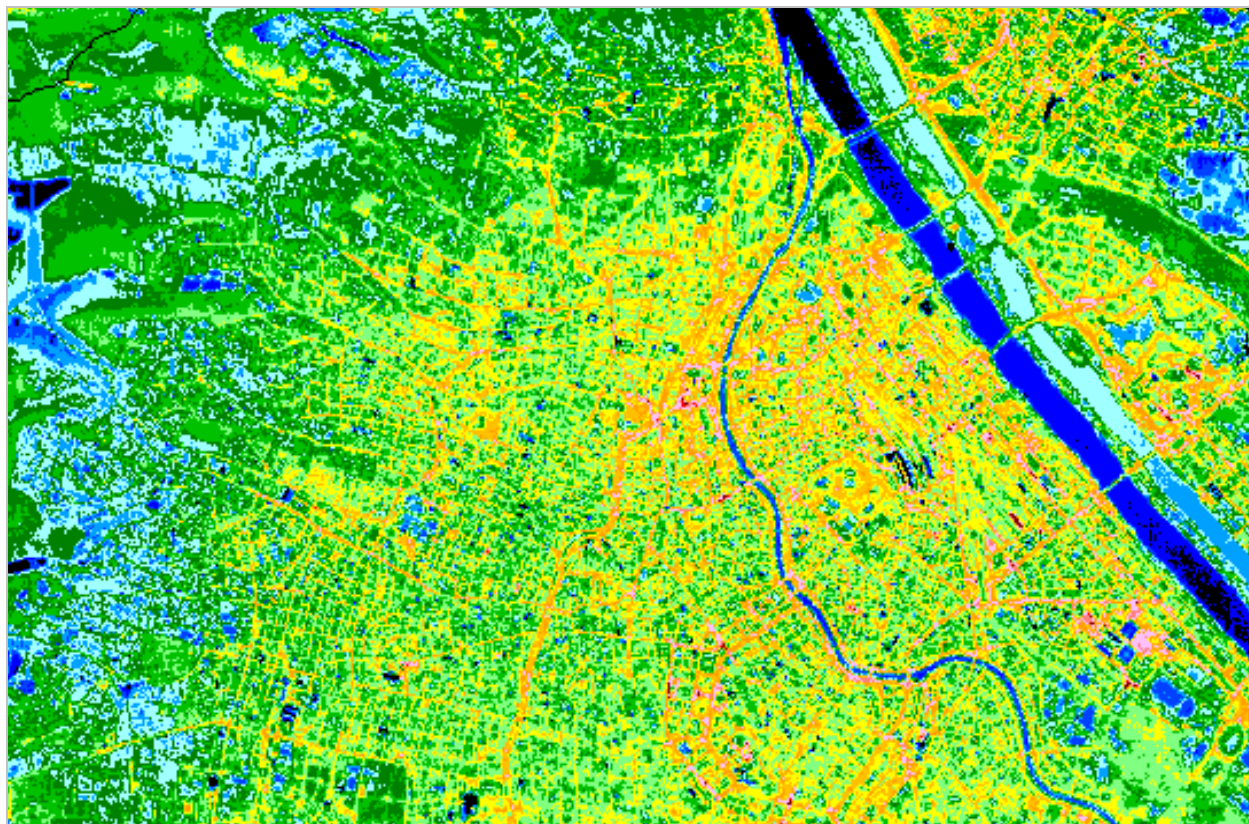


Stadtklimauntersuchung Wien



Thermalbefliegung 16.08.2001 (Morgenaufnahme)



SPACETEC
Steinicke & Streifeneder
Umweltuntersuchungen GbR

Eisenbahnstraße 43
D - 79098 Freiburg
Tel +49-761-202 1646
Fax +49-761-202 1671
www.klima-luft.de

Stadtklimauntersuchung Wien

Auftraggeber Magistrat der Stadt Wien
MA 22 Umweltschutz
A – 1082 Wien
Ebendorferstraße 4

Bearbeitung Dipl.-Geogr. Ulrike Schwab
Dipl.-Phys. Wolfgang Steinicke

Dezember 2003

Inhalt

Inhaltsverzeichnis
Verzeichnis der Tabellen
Verzeichnis der Abbildungen

1	Einleitung	1
2	Datengrundlagen und Methodik	2
3	Klimatische und lufthygienische Einordnung	4
4	Thermalscannerbefliegung	11
4.1	Darstellung und Interpretation der Thermaldaten	12
4.2	Thermische Eigenschaften der wichtigsten Landnutzungen.....	14
5	Bodenmessprogramm	16
5.1	Lufttemperatur und Luftfeuchte	16
5.2	Windgeschwindigkeit und –richtung.....	19
6	Klimafunktionskarte	21
6.1	Klimatope	21
6.2	Belüftungsfunktionen	26
7	Bewertungskarte Klima/Luft	29
7.1	Freiflächen	29
7.2	Siedlungsflächen.....	30
7.3	Vorbelastungen und Konflikte	32
7.4	Luftaustausch und sonstige klimarelevante Flächen	32
7.5	Nachrichtliche Informationen	33
8	Nutzung der Ergebnisse für die Stadtplanung	34
9	Zusammenfassung	38
10	Glossar	39
11	Literatur	42

Thermalkarte Abend, 1 : 100.000

Thermalkarte Morgen, 1 : 100.000

Klassifizierte Thermalkarte, 1 : 100.000

Legende zur Klimafunktionskarte

Legende zur Bewertungskarte Klima/Luft

Daten auf CD-Rom (ArcView)

Verzeichnis der Tabellen

Tab. 1:	Untersuchungsschritte, Datengrundlagen und Ergebnisse	3
Tab. 2:	Datengrundlagen	3
Tab. 3:	Statistische Parameter bioklimatisch relevanter Größen im Vergleich	6
Tab. 4:	Mittlere Monatssummen des Niederschlages für Wien-Hohe Warte, Freiburg und Dresden	8
Tab. 5:	Angaben zu den Thermalscanneraufnahmen für die Stadt Wien	12
Tab. 6:	Planungsempfehlungen und Erhaltungs- bzw. Entwicklungsziele für die auf der Bewertungskarte dargestellten Kategorien	35
Tab. 7:	Maßnahmen für die Handlungsfelder Emission/Immission und Vegetation	37

Verzeichnis der Abbildungen

Abb.1:	Langjährige Werte der Lufttemperatur 1951 – 1980	4
Abb. 2:	Mittleres Tagesmaximum der Lufttemperatur 1951 – 1980	5
Abb. 3:	Mittleres Tagesminimum der Lufttemperatur 1951 – 1980	5
Abb. 4:	Mittlere stündliche Differenzen der Lufttemperatur zwischen der Station Wien-Schottenstift und der Station Wien-Mariabrunn	7
Abb. 5:	Mittlere Monatssummen des Niederschlages 1951 – 1980	8
Abb. 6:	Relative Häufigkeit der Windrichtungen, Wien-Hohe Warte (1951 – 1980)	9
Abb. 7:	Relative Häufigkeit der Windrichtungen, Wien-Hadersdorf (1962 – 1978)	9
Abb. 8:	Anteil der Emittentengruppen an verschiedenen Schadstoffemissionen	10
Abb. 9:	Datenaufnahme mit dem Thermal-IR Scanner	11
Abb. 10:	Verlauf der Lufttemperaturen an allen Messpunkten während des Bodenmessprogramms am 15./16.08.2001	17
Abb. 11:	Tagesgang der Lufttemperatur an den Messpunkten 3 und 8 während des meteorologischen Bodenmessprogramms am 15./16.08.2001	18

Abb. 12: Verlauf der Rel. Luftfeuchte an allen Messpunkten während des Bodenmessprogramms am 15./16.08.2001	19
Abb. 13: Relative Häufigkeit der Windrichtungen im Sommer und zu verschiedenen Tageszeiten an der Station Wien-Hadersdorf (1962 – 1978).....	20
Abb. 14: Bewertungsmatrix für die Freiflächen	30
Abb. 15: Bewertungsmatrix für die Siedlungsflächen.....	32

1 Einleitung

Der vorliegende Bericht dokumentiert den Abschluß der Stadtklimauntersuchung Wien. Die Untersuchung umfaßt die Darstellung und Bewertung der klimatischen und lufthygienischen Ist-Situation auf der Grundlage umfangreicher meteorologischer und lufthygienischer Datenreihen sowie einer Thermalscannerbefliegung, die am 15./16.08.2001 über dem Gebiet der Stadt Wien durchgeführt wurde.

Wichtigste Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung sind die Klimafunktionskarte, die eine flächen-deckende, detaillierte Darstellung der thermischen und dynamischen Verhältnisse des klimatischen Ist-Zustandes zeigt, sowie die Bewertungskarte Klima/Luft, die bestehende Belastungen verdeutlicht und eine qualitativ abgesicherte Beurteilung von Planungsvorhaben ermöglicht. Darüber hinaus wurden alle Informationen für das **Geographische Informationssystem** (= GIS) **ArcView** aufbereitet und zusammengefasst, so dass ein Benutzer in der Lage ist, die verschiedenen klimatischen und lufthygienischen Aspekte in unterschiedlichen Maßstäben zu visualisieren und mit anderen Datenebenen zu überlagern.

Unter **Stadtklima** versteht man ganz allgemein das „durch die Wechselwirkung mit der Bebauung und deren Auswirkungen (einschließlich Abwärme und Emission von luftverunreinigenden Stoffen) modifizierte Klima“ (WMO, 1981). Das bekannteste stadtklimatologische Phänomen ist die Ausbildung einer **städtischen Wärmeinsel**. So können die Temperaturen innerhalb der Bebauung um bis zu 10 K höher sein als im Umland. In extremer Ausbildung tritt diese Situation in windschwachen sommerlichen Strahlungsnächten und nach vorangegangenen strahlungsreichen Tagen auf. Die Ursache hierfür liegt vor allem in der weitreichenden Veränderung des Wärmehaushaltes gegenüber dem Freiland: Wärmespeicherung durch die städtische Bebauung, herabgesetzte Verdunstung durch die fehlende Vegetation sowie verringerte langwellige Ausstrahlung aufgrund der Luftverunreinigungen in der Stadtatmosphäre. Im Winter kommen Gebäudeheizungen als zusätzliche Wärme- und Schadstoffquellen hinzu.

Das zweite wesentliche Merkmal des Stadtklimas ist die starke **Veränderung der Windverhältnisse** gegenüber dem Umland. Die erhöhte Rauigkeit der städtischen Bebauung bewirkt im Mittel eine Verringerung der Windgeschwindigkeiten, was gleichzeitig den Luftaustausch und den Abtransport von Schadstoffen verschlechtert. In der Nähe von hohen Gebäuden kann es hingegen zu einer Zunahme der Windgeschwindigkeitsspitzen, also einer Erhöhung der Böigkeit, kommen.

Darüber hinaus ist die **Veränderung der lufthygienischen Situation** von großer Bedeutung. So treten innerhalb von Stadtgebieten üblicherweise höhere Emissionen auf als im Umland. Während früher vor allem Hausbrand und Gewerbe dafür verantwortlich waren, ist in den vergangenen Jahren

der Kfz-Verkehr zum Hauptverursacher geworden. In Verbindung mit dem reduzierten Luftaustausch kommt es zu einer Erhöhung der Schadstoffkonzentrationen im Stadtgebiet.

Wie sich das typische Stadtklima entwickelt, hängt zum einen von den natürlichen Gegebenheiten eines Raumes (geographische Lage, Geländebeziehungen, Regionalklima) und zum anderen von den vom Menschen geschaffenen Verhältnissen (Art und Umfang der verschiedenen Nutzungen) ab.

2 Datengrundlagen und Methodik

Die Stadt- und Landschaftsplanung erfordert zunehmend die Einbeziehung klimatischer und lufthygienischer Belange, z.B. bei der Fortschreibung des Flächenwidmungsplanes oder der Durchführung kommunaler Umweltverträglichkeitsprüfungen. Voraussetzung für die Integration von Klima und Lufthygiene in die Stadtentwicklung sind *flächenbezogene, planungsrelevante Grundlagendaten*. So liegen meteorologische Größen zwar häufig als kontinuierliche Datenreihen vor, lassen sich aber nicht flächendeckend erfassen. Erst die Kombination mit hochauflösenden, flächendeckenden Daten, wie sie die Thermalscannerbefliegung liefert, ermöglicht Aussagen in hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung, die sich zusätzlich sehr anschaulich darstellen lassen.

In Tabelle 1 sind die einzelnen Untersuchungsschritte, die verwendeten Daten und die daraus resultierenden Ergebnisse der vorliegenden Stadtklimauntersuchung zusammengefaßt. Tabelle 2 liefert eine Auflistung der von unserem Büro erhobenen bzw. vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Daten. Sämtliche Ergebnisse wurden zur weiteren Bearbeitung und Verwendung in ein mit dem Auftraggeber abgestimmtes Geographisches Informationssystem (ArcView) eingebunden.

Mit dem 1989 erschienenen Beitrag „Klima von Wien – Eine anwendungsorientierte Klimatographie“ (I. Auer, R. Böhm und H. Mohnl) liegt für Wien umfangreiches Datenmaterial vor, das unter stadtklimatologischen Aspekten ausgewertet und einbezogen wurde. Soweit sinnvoll wurden die vorliegenden Ergebnisse in Form von anschaulichen Grafiken aufbereitet und in das GIS eingebunden.

Für die lufthygienischen Verhältnisse in Wien kann ebenfalls auf umfangreiches Datenmaterial zurückgegriffen werden. So ist seit 1984 die Umweltschutzabteilung der Stadt Wien (Magistratsabteilung 22) für die Konzeption des Wiener Luftgütemessnetzes, die Wartung der Messstellen sowie die Kontrolle, Archivierung und Verwaltung der gewonnenen Daten zuständig. Dabei werden insgesamt 18 stationäre Messstellen betrieben, für Messkampagnen steht zusätzlich ein Messbus zur Verfügung. Die Messergebnisse werden laufend veröffentlicht, seit 2001 wird spätestens 6 Monate nach Jahresende ein Jahresbericht herausgegeben.

Tab. 1: Untersuchungsschritte, Datengrundlagen und Ergebnisse

Projektstufe	Daten und Methoden (siehe Tab.2)	Ergebnisse
Darstellung des klimatischen Ist-Zustands	Thermalscannerdaten Meteorologische Messdaten Regionalklimadaten Landschaftsspezifische Daten	Klimafunktionskarte
Bewertung des klimatischen und lufthygienischen Ist-Zustands	Klimafunktionskarte Emissions- und Immissionsdaten	Bewertungskarte Klima/Luft Potentielle Konfliktbereiche Qualitative Aussagen zur Schadstoffbelastung
Darstellung und Bewertung der klimatischen und lufthygienischen Planungsfolgen	Klimafunktionskarte Bewertungskarte Klima/Luft	Planungskarten Qualitative Aussagen zur klimatischen und lufthygienischen Belastung
Planungshinweise	Interpretation der Ergebnisse	Gutachten Präsentation
Weitere projektbegleitende fachliche Beratung	Grundlage: Gutachten, Karten	Gutachterliche Stellungnahme zu aktuellen Planungsfragen

Tab. 2: Datengrundlagen

<ul style="list-style-type: none"> ▪ Thermalscanneraufnahmen vom 15./16.08.2001 (Abend- und Morgensituation) ▪ Bodennessprogramm zur Erfassung von Temperatur, Luftfeuchte und Wind am 15./16.08.2001 ▪ Langjährige meteorologische Meßreihen stationärer Klimamessstationen (Klima von Wien, 1989) ▪ Monatsmittelwerte ausgewählter Luftmessstellen der Stadt Wien 1988 – 2002 ▪ Verkehrskennzahlen und Schadstoff-Emissionsdaten für das Luftmessnetz (Rosinak & Partner, Mai 2000) ▪ Wiener Luftgütebericht 1987 – 1998 ▪ Vorhandene Gutachten und Untersuchungen ▪ Realnutzungskartierung (Dezember 2000) ▪ Topographische Karte 1: 50.000 ▪ Planungsdaten, Flächenwidmungsplan

3 Klimatische und lufthygienische Einordnung

Unter **Klima** wird entsprechend einer Definition der World Meteorological Organisation (WMO) die für einen Ort oder einen größeren Raum typische Zusammenfassung der erdnahen und die Erdoberfläche beeinflussenden atmosphärischen Zustände und Witterungsvorgänge während eines längeren Zeitraumes in charakteristischer Verteilung der häufigsten, mittleren und extremen Werte verstanden.

Dabei wird das Klima von zahlreichen Faktoren beeinflusst, insbesondere von der geographischen Breite, der Meeresnähe oder -ferne, der Höhe des Gebietes über NN, der Landnutzung und dem Geländere relief. Wien liegt, wie Mitteleuropa insgesamt, in der gemäßigten Klimazone mit Niederschlägen zu allen Jahreszeiten. Der Witterungsablauf wird überwiegend von Tiefdruckgebieten mit eingelagerten Zwischenhochs bestimmt, so dass sich das Wetter meist veränderlich gestaltet und längere Hochdruckperioden mit beständigem Wetter eher selten sind. Im Folgenden werden einige wichtige meteorologische Parameter dargestellt, wobei es innerhalb des Stadtgebiets zu erheblichen Abweichungen kommen kann.

Abbildung 1 zeigt den mittleren Verlauf der Lufttemperatur an der zentral gelegenen Station Schottenstift (176 m ü.NN), der am Stadtrand liegenden Station Hohe Warte (202 m ü.NN) sowie der bereits im Wienerwald gelegenen Station Mariabrunn (226 m ü.NN). Bereits hier läßt sich eine Temperaturerhöhung der Stadt (Schottenstift) gegenüber ihrer Umgebung ablesen, die im Mittel bei 1,6°C liegt. Betrachtet man anstelle der mittleren Lufttemperatur das mittlere Tagesmaximum bzw. Tagesminimum an den 3 Stationen (Abbildungen 2 und 3) so zeigt sich deutlich der oben beschriebene Wärmeinsel-effekt der Stadt gegenüber ihrer Umgebung: während sich die mittleren Tagesmaxima der 3 Stationen kaum unterscheiden, zeigen sich bei den nächtlichen Minimaltemperaturen deutliche Unterschiede, die im Mittel bereits bei 2,9°C liegen.

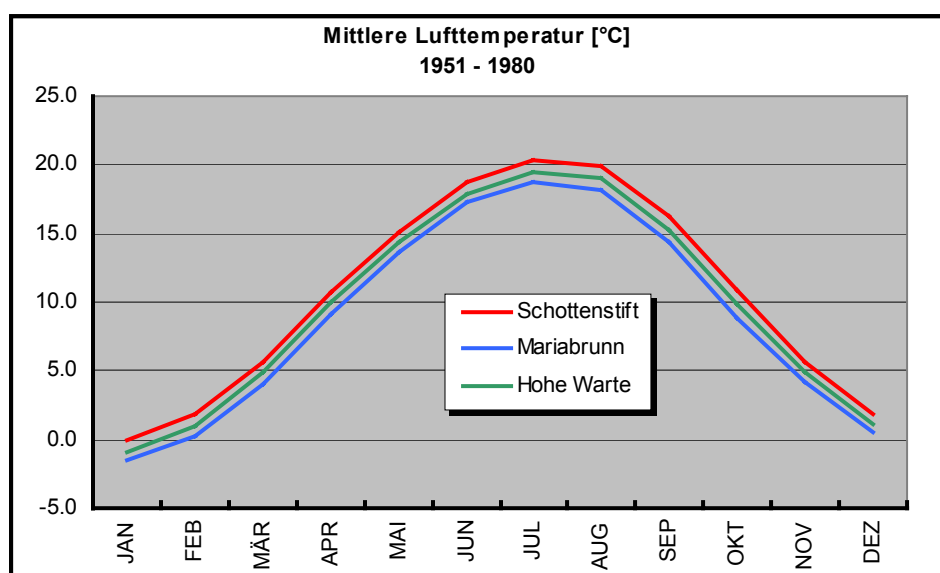


Abb. 1 Langjährige Werte der Lufttemperatur (Monatsmittel) 1951 - 1980

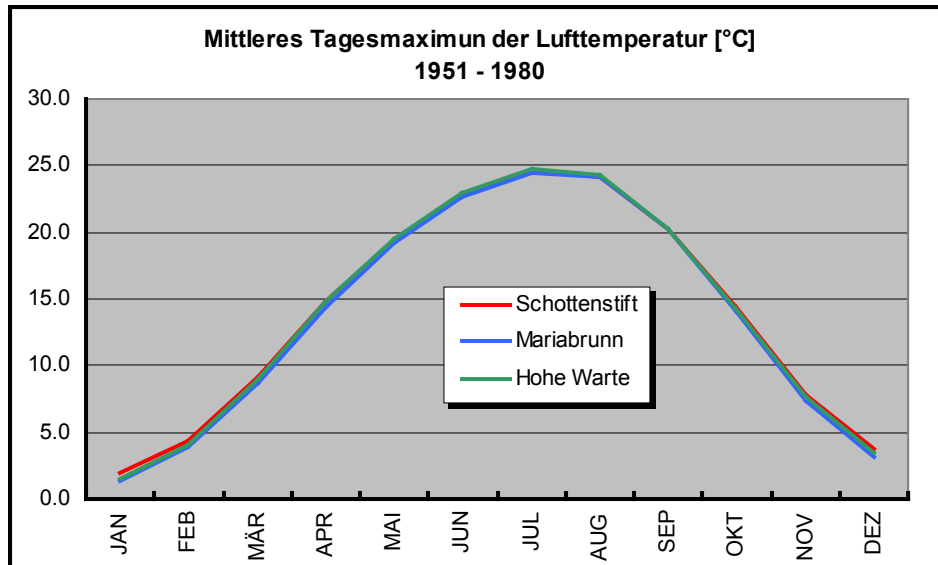


Abb. 2: Mittleres Tagesmaximum der Lufttemperatur 1951 - 1980

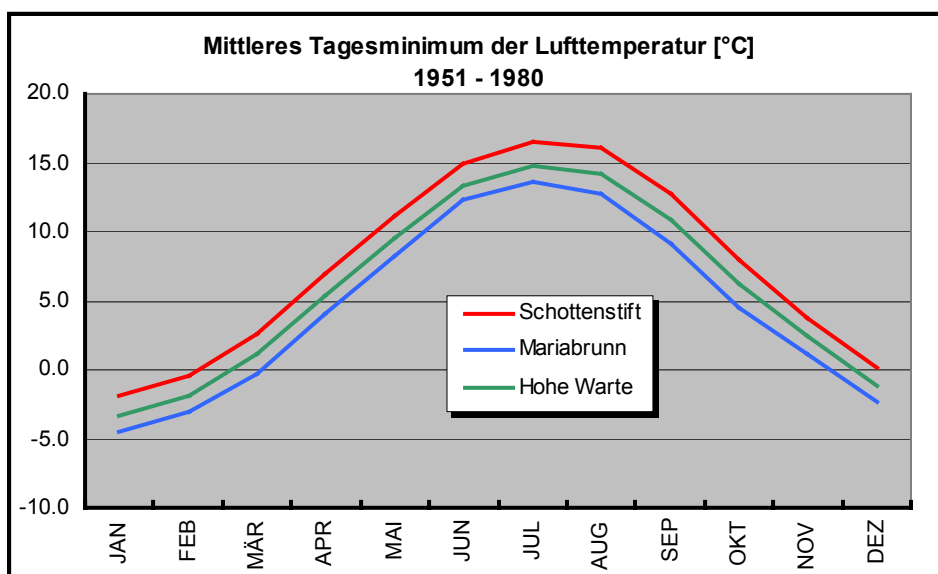


Abb. 3: Mittleres Tagesminimum der Lufttemperatur 1951 - 1980

In Tabelle 3 sind für die Stationen Schottenstift, Rathauspark, Hohe Warte und Mariabrunn einige Kenngrößen dargestellt, die ebenfalls die unterschiedlichen Temperaturverhältnisse innerhalb des Stadtgebietes von Wien wiedergeben. Auch hier zeigen sich die Unterschiede sehr deutlich an den Tagen mit niedrigen Temperaturen (Eis- und Frosttage), während sich die Tage mit hohen Temperaturen (Sommertage und Heiße Tage) kaum unterscheiden. Interessant ist die Klimawirksamkeit des unmittelbar im Stadtzentrum und in nur 500 m Entfernung zur Station Schottenstift liegenden, 4 ha großen Rathausparks, der bereits ähnliche Temperaturverhältnisse aufweist wie die am locker bebauten Stadtrand gelegene Station Hohe Warte. Zum Vergleich sind die Kenngrößen von zwei deutschen

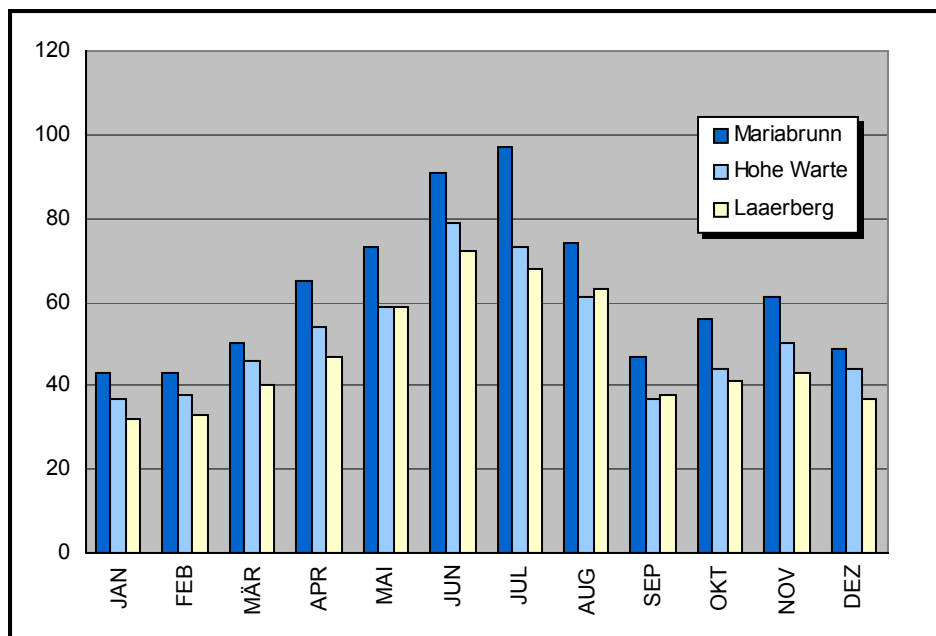


Abb. 5: Mittlere Monatssummen des Niederschlages 1951 - 1980

Tab. 4: Mittlere Monatssummen des Niederschlages für Wien-Hohe Warte (1951 –1980), Freiburg (1971 – 2000) und Dresden (1961 – 1990)

	Jan.	Feb.	Mär	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
Wien Hohe Warte	37	38	46	54	59	79	73	61	37	44	50	40	622
Freiburg	53	54	58	74	103	109	99	84	76	75	71	74	930
Dresden	45	39	42	53	63	75	69	76	51	46	51	58	668

Hinsichtlich der **Windrichtungsverteilung** ist ganz allgemein ein Vorherrschen von Winden aus westlichen bis nordwestlichen Richtungen mit einem sekundären Maximum aus südöstlichen Richtungen zu erkennen, wobei die Hauptwindrichtungen durch orographische Effekte mehr oder weniger stark modifiziert werden können. Die Hauptwindrichtungen sind einem merkbaren Jahrgang unterworfen: im Herbst und Winter ist der Anteil der Winde aus südöstlicher Richtung wesentlich größer als im Frühjahr bzw. Sommer und umgekehrt dominieren im Frühling und Sommer Winde aus westlichen Richtungen stärker als im übrigen Jahr. Winde aus nördlicher Richtung kommen im Frühling am häufigsten vor. Betrachtet man zusätzlich die **Windgeschwindigkeit**, so zeigt sich, dass die häufigsten Windrichtungen auch die im Mittel höchsten Geschwindigkeiten besitzen. So sind Winde aus west- bis nordwestlichen Richtungen im Durchschnitt etwa 30 % stärker als diejenigen aus südöstlichen Richtungen. Insgesamt machen sich auch hinsichtlich der Windgeschwindigkeit örtliche Unterschiede stark bemerkbar. Besonders niedrige Windgeschwindigkeiten treten daher in den Tälern des Wienerwaldes

auf, die höchsten Windgeschwindigkeiten besitzen Kuppenlagen. Andererseits wirkt die Oberfläche des dicht bebauten Stadtzentrums stärker bremsend auf die Windgeschwindigkeit als die freie Umgebung der Stadt.

In den beiden folgenden Abbildungen sind die Windrichtungsverteilungen an den Stationen Hohe Warte und Hadersdorf beispielhaft dargestellt.

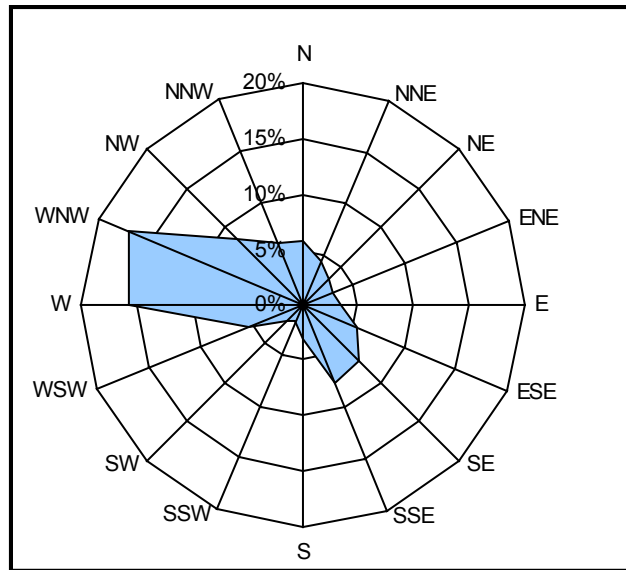


Abb. 6: Relative Häufigkeit der Windrichtungen, Wien-Hohe Warte (1951 - 1980)
Anteil der Calmen 1,7 %

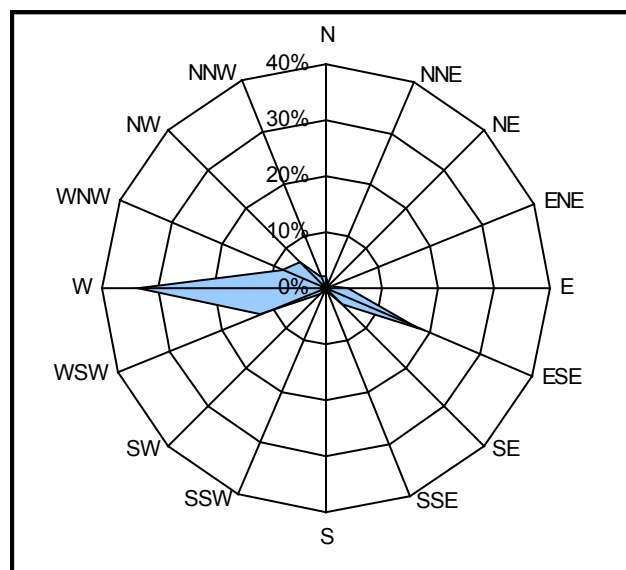


Abb. 7: Relative Häufigkeit der Windrichtungen, Wien-Hadersdorf (1962 - 1978)
Anteil der Calmen 3,1 %

Zur **lufthygienischen Situation** sollen kurz die wichtigsten Ergebnisse aus den verfügbaren Daten des Wiener Luftgütemessnetzes, wie sie der Wiener Luftgütebericht (1998) enthält, genannt werden.

Für die klassischen Luftschadstoffe Kohlenmonoxid, Schwefeldioxid und die Stickoxide konnte in den Jahren 1987 bis 1998 ein Rückgang sowohl der mittleren als auch der Spitzenbelastungen festgestellt werden. Bei den mittleren Ozon- und Staubkonzentrationen dagegen kam es weiterhin zur Überschreitung von Immissionsschutz-Grenzwerten. Dabei zeigen alle Luftschadstoffe eine markante Abhängigkeit von der Jahreszeit, wobei die Belastungsschwerpunkte für die klassischen Luftschadstoffe im Winterhalbjahr liegen, die höchsten Ozonbelastungen dagegen während sommerlicher Hochdruckwetterlagen gemessen werden. Abbildung 8 zeigt den Anteil der wichtigsten Emittentengruppen (Wärme-kraftwerke, Industrie, Verkehr und Kleinverbraucher) an den Emissionen von SO₂, NO_x, CO und Staub. Für den Sekundärschadstoff Ozon ist vor allem die Bildung der Vorläufersubstanzen, wie sie insbesondere die Stickoxide und flüchtige organische Verbindungen darstellen, von Bedeutung. Dabei wird deutlich, dass der Verkehr mit einem Anteil von 66 % (in den Sommermonaten liegt der Anteil bei 75 %) an der Bildung von Stickoxiden eine wesentliche Rolle spielt. Der Einführung von Emissionsgrenzwerten für PKW und vermehrtem Einsatz von Katalysatoren steht dabei ein enormer Anstieg des Verkehrsaufkommens gegenüber: so hat sich zwischen 1970 und 1991 der Kfz-Bestand in Österreich verdoppelt, von 1985 bis 1996 stieg die Anzahl der gefahrenen Personen um 43 % und die der gefahrenen Tonnenkilometer um 83 % an.

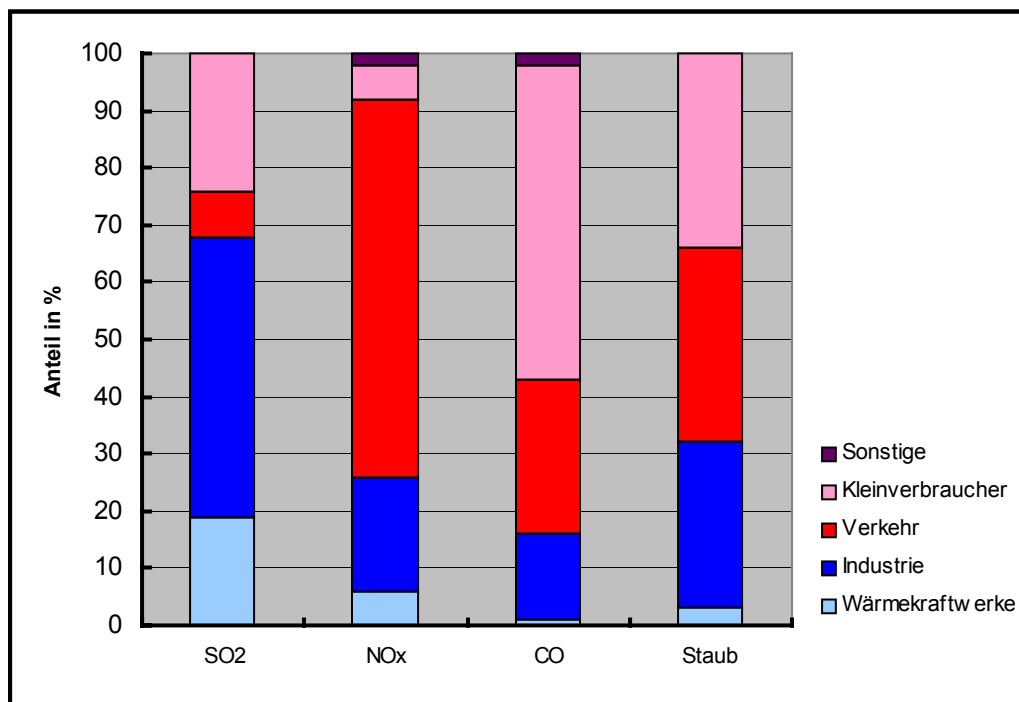


Abb. 8: Anteil der Emittentengruppen an verschiedenen Schadstoffemissionen (Wiener Luftgütebericht 1987 – 1998)

4 Thermalscannerbefliegung

Während einer hochsommerlichen Strahlungswetterlage wurden am 15./16.08.2001 zwei Thermal-scannerbefliegungen über dem Gebiet der Stadt Wien durchgeführt. Der erste Flug fand kurz nach Sonnenuntergang, der zweite Flug kurz vor Sonnenaufgang statt, um so das nächtliche Abkühlungsverhalten der Erdoberfläche zu erfassen. Aufnahmegerät war ein flugzeuggestützter Scanner vom Typ Daedalus AADS 1250, der die von der Erdoberfläche ausgehende langwellige Wärmestrahlung im thermischen Infrarot (Wellenlängenbereich 8 - 14 μm) aufzeichnet (Abbildung 8). Ein Thermalscanner nimmt die emittierte Strahlung der Geländeobjekte bildpunktweise in quer zur Flugrichtung verlaufenden Streifen (Scanstreifen) auf. Grundelement des Abtastsystems ist ein um 45° geneigter, rotierender Spiegel, mit dem das Gelände zeilenweise abgetastet wird, während sich das den Scanner tragende Flugzeug in Flugrichtung fortbewegt. Die von der Erdoberfläche ausgehende Strahlung wird dabei über ein optisches System, das die Strahlung in einzelne Wellenlängenbereiche zerlegt, auf Detektoren geleitet, die die Intensität der Strahlung messen. Typische Plattformen für Scannersysteme sind sowohl Flugzeuge als auch Satelliten. Die Angaben zu den zwei Messflügen sind in Tabelle 5 zusammengestellt.

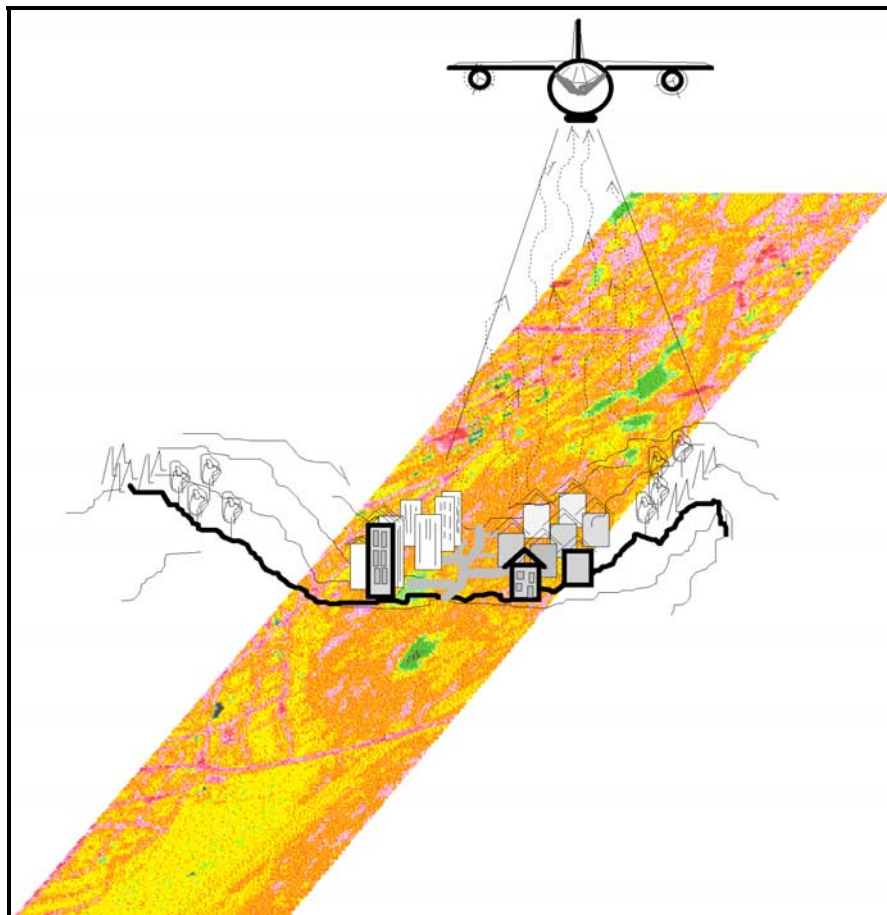


Abb. 9: Datenaufnahme mit dem Thermal-IR Scanner

Tab. 5: Angaben zu den Thermalscanneraufnahmen für die Stadt Wien

Aufnahmezeitraum	15.08.2001, 20:15 – 22:00 Uhr MESZ 16.08.2001, 3:30 – 5:00 Uhr MESZ
Gebietsgröße	ca. 25 km x 30 km
Flughöhe ü.G.	ca. 4000 m
Anzahl Flugstreifen	5
Geometrische Auflösung ¹⁾	ca. 10 m

4.1 Darstellung und Interpretation der Thermaldaten

Die Oberflächentemperaturdaten wurden geometrisch entzerrt und in Form zweier Bildverbände dargestellt (**Thermalkarte Abend**, **Thermalkarte Morgen**). Sie zeigen flächendeckend die Temperaturen (= Oberflächenstrahlungstemperatur) der Landschaftsoberfläche. Die Temperaturskalen von Abend- und Morgenflug sind einheitlich, damit ein direkter Vergleich anhand der gewählten Farbkodierung möglich ist. Dabei erscheint die Morgensituation aufgrund der nächtlichen Ausstrahlung - mit Ausnahme einzelner Wasserflächen - allgemein kühler als die Abendsituation.

In einer windschwachen Strahlungswetterlage zeigen Oberflächen während der nächtlichen Abkühlungsperiode ein charakteristisches nahezu lineares Abkühlungsverhalten. Sind T1 und T2 die Temperaturwerte eines Oberflächenelements in der Abend- bzw. Morgenaufnahme, so läßt sich das Oberflächentemperaturverhalten durch die Parameter

$$\begin{aligned} \text{Abkühlung} & & T &= T1 - T2 \text{ und} \\ \text{mittlere Temperatur} & & T_m &= \frac{1}{2} (T1 + T2). \end{aligned}$$

beschreiben.

Auf dieser Beziehung beruht die Herstellung der **Klassifizierten Thermalkarte**, bei der die Bildverbände der Abend- und Morgensituation digital überlagert und für jedes Bildelement nach obiger Formel die mittlere nächtliche Temperatur und die Abkühlung berechnet werden. Im Idealfall würde sich eine Landschaftsoberfläche gemäß ihrem Typ (Acker, Wiese, Asphaltfläche) verhalten, also charakteristische Werte der mittleren Temperatur und Abkühlung zeigen. Um die aus den Thermalaufnahmen gewonnenen, individuellen T-T_m-Werte mit den theoretischen Idealwerten vergleichen zu

¹⁾ Unter geometrischer Auflösung versteht man die vom einzelnen Bildelement erfaßte Geländeoberfläche; bei einer Auflösung von 10 m entspricht ein Bildelement einer Fläche von 10 m x 10 m. Je höher die Auflösung, um so detaillierter sind die Informationen über die thermische Struktur des aufgenommenen Gebietes.

können, muß man die Temperaturwerte korrigieren. Tages- und jahreszeitliche Einflüsse müssen aus den Daten eliminiert werden, so daß in erster Linie die Faktoren Wetterlage und Nutzung das Temperaturbild bestimmen, nicht jedoch der Befliegungstermin. Dies geschieht in Form der sog. standardisierten multitemporalen Klassifikation, gleichbedeutend mit einer festen Einteilung des Oberflächen-temperaturverhaltens in verschiedene Klassen. Dabei werden die festen Landschaftsoberflächen durch die 12 Klassen B bis M beschrieben. Jeder Klasse wird eine bestimmte Farbe zugeordnet. Die Farbgebung der Klassen verläuft vertikal mit zunehmenden mittleren Temperaturen von blau über grün und gelb bis rot. Horizontal variiert die Farbintensität mit zunehmender nächtlicher Abkühlung von Dunkel nach Hell.

Erst diese Vorgehensweise ermöglicht die Vergleichbarkeit von Thermalaufnahmen verschiedener Städte bzw. ein- und derselben Stadt zu verschiedenen Aufnahmezeitpunkten. Ein Beispiel: Stadt A wird 1985 an einem mäßig warmen Frühlingsmorgen mit maximalen Lufttemperaturen von 22 °C befliegen. Die Wiese XY hat auf den Thermalaufnahmen eine mittlere nächtliche Oberflächentemperatur T_m von 6 °C und eine Abkühlung T von 4 K². Sie fällt damit erwartungsgemäß in die blaue Klasse "L" (intensive Kaltluftfläche). Fünf Jahre später wird Stadt A erneut befliegen und zwar an einem heißen Julitag mit einem Lufttemperaturmaximum von 30 °C. Unsere Wiese XY weist nun eine mittlere nächtliche Oberflächentemperatur von 10 °C und eine Abkühlung von 3 K auf. Betrachtet man nur die absoluten Temperaturen, so ist die Wiese - obwohl ihre Nutzung gleich geblieben ist - wärmer geworden und würde jetzt in die grüne Klasse "H" (schwache Kaltluftfläche) oder sogar in die gelbe Klasse "E" (schwache Wärmeinsel) eingeordnet werden. Tatsächlich ist aber nur das allgemeine Temperaturniveau angestiegen, relativ betrachtet ist die Wiese immer noch kühler als ein bebautes Gebiet. Und genau diese Relationen zwischen den verschieden genutzten Flächen sollen durch die Thermalaufnahmen aufgezeigt werden, unabhängig von den absoluten Temperaturen.

Bei stark reflektierenden Flächen (d. h. Flächen mit einem Emissionsvermögen ϵ , das deutlich kleiner als 1 ist, wie z. B. Metall- oder Glasdächer) liefert die Thermographie keine verlässlichen Werte der Oberflächenstrahlungstemperatur. Die Struktur dieser Flächen ist aber bekannt (z. B. Hallendächer in Gewerbegebieten), so dass Fehlinterpretationen weitgehend ausgeschlossen sind.

Bei der Interpretation von Thermalbildern ist weiterhin zu berücksichtigen, dass der Thermalscanner stets nur die äußerste Schicht der Landschaftsoberfläche aufnimmt, also solche Punkte, die dem Detektor am nächsten sind. So kann der Thermalscanner beispielsweise nicht in einen dichten Wald

²⁾ Übereinstimmend werden in der Wissenschaft Temperaturdifferenzen in Grad Kelvin angegeben. Die Kelvinskala ist die auf den absoluten Nullpunkt bezogene Temperaturskala mit gleichen Gradabständen wie die Celsiusskala, d.h. 0 Kelvin = -273,15 °C, eine Temperaturdifferenz von 1 Kelvin entspricht einer Differenz von 1°C.

„hineinschauen“, sondern detektiert ausschließlich das Kronendach. Es gibt also kein einheitliches „Scanniveau“. Damit liegen etwa Bildelemente von Straßen- und Dachflächen unmittelbar nebeneinander. Auch enthält ein Bildelement bei einer Auflösung von 10 m in der Regel die Strahlungsinformationen verschiedener Materialien („Mischpixel“), was Übergänge zwischen verschiedenen Nutzungen unscharf erscheinen lässt. Ebenso möglich ist eine Mischung von Vertikalflächen.

Auf der Klassifizierten Thermalkarte erscheinen Wälder meist in den gelben oder sogar in den roten, also relativ warmen Klassen. Ursache dafür ist, daß die am Kronendach abgekühlten Luftmassen in den Stammraum sinken und von dort durch wärmere Luftmassen wieder ersetzt werden. Daher bleibt die Waldoberfläche relativ warm und nur diese kann der Scanner vom Flugzeug aus einsehen, der Stammraum bleibt ihm verborgen! Auch das Relief spielt eine Rolle für das Erscheinungsbild von Wäldern auf Thermalaufnahmen. So sind Wälder an Hängen meist wärmer als in ebenen Lagen oder gar in Flußauen. Dies deckt sich mit der generellen Wärmeverteilung in windschwachen Strahlungsnächten: die durch die nächtliche Ausstrahlung abgekühlten Luftmassen fließen entsprechend der Geländeneigung ab und sammeln sich in Mulden und Talauen; daher sind in solchen Nächten die Hangzonen die wärmsten Gebiete, Ebenen und Geländesenken die kühleren. Neben dem Relief sind auch die Flächengröße, die Baumartenzusammensetzung, die Höhe und Dichte des Baumbestandes und dessen Vitalität mögliche Einflussfaktoren für das Erscheinungsbild von Wäldern auf der Klassifizierten Thermalkarte.

4.2 Thermische Eigenschaften der wichtigsten Landnutzungen

Zum besseren Verständnis der Zusammenhänge zwischen Nutzung und thermischem Verhalten werden im folgenden einige Nutzungstypen beschrieben.

Gewässer

- Wasser besitzt ein extrem hohes Wärmespeichervermögen. So kann Wasser 3- bis 10mal soviel Wärme aufnehmen wie das gleiche Volumen Erdboden, bis seine Temperatur um 1 K ansteigt (HÄCKEL, 1993).
- Folge: ausgeglichener Temperaturgang (Schwankungen zwischen Tag und Nacht und auch zwischen den Jahreszeiten sind sehr viel kleiner als beim festen Boden).
- Seen und Flüsse erscheinen an heißen Sommertagen tagsüber kühler als das viel stärker erhitze Land, in der Nacht jedoch wärmer.

Landwirtschaftsflächen

- Die Energieumsätze bleiben auf die oberste Bodenschicht beschränkt, d. h. die Bodenoberfläche erhitzt sich rasch und kühlt auch rasch wieder aus. Unbewachsener Boden ist somit recht hohen Temperaturschwankungen unterworfen.
- Wie groß die Schwankungen sind, hängt im wesentlichen von der Wärmeleitfähigkeit des Bodens ab. Diese wiederum wird von der Bodenart, der Bodenfeuchte und dem Luftgehalt des Bodens bestimmt.
- Neben den Bodeneigenschaften hat die Vegetationsdecke einen großen Einfluss auf das thermische Verhalten von Landwirtschaftsflächen. So wird bewachsenem Boden wesentlich weniger Wärme zugeführt als unbewachsenem, d. h. Wiesen und mit Ackerfrüchten bestandene Felder sind sowohl tagsüber als auch nachts kühler als nackter Boden und insbesondere Wiesen kühlen nach Sonnenuntergang sehr rasch aus.

Waldflächen

- Wälder stellen, in Abhängigkeit von der Bestandsdichte, die höchste und dichteste Form einer Vegetationsdecke dar. Wie bei einer Wiese oder einem Weizenfeld findet auch hier der Energieumsatz nicht am Boden, sondern an der Oberfläche der Vegetation, also am Kronendach statt.
- Im Stammraum herrscht ein eigenes „Binnenklima“ oder Bestandsklima mit ausgeglichenem Temperaturgang. Im Waldinneren ist es an einem Sommertag tagsüber kühler und nachts wärmer als im Umland.
- Weitere Unterschiede zum Freiland sind die stark reduzierte Windgeschwindigkeit, die höhere relative Luftfeuchte und eine höhere Verdunstung.
- In Bezug auf die Lufthygiene nehmen Wälder eine Sonderstellung ein, denn sie filtern einen beachtlichen Teil der festen und flüssigen Schmutzstoffe der Atmosphäre aus. Gasförmige Luftverunreinigungen gehen wie andere Luftmoleküle zwar ungehindert durch den Wald, aber die Rauigkeit der Waldoberfläche verursacht eine stärkere Durchmischung der Luft, so dass die gesamte Konzentration an Luftschadstoffen in der bodennahen Luftschicht herabgesetzt wird.
- Insgesamt besitzen Wälder eine hohe klimatische Gunstfunktion für den Menschen.

Straßen und Gleisanlagen

- Straßen und sonstige asphaltierte Flächen gehören an einem heißen Sommertag sowohl tags als auch nachts zu den wärmsten Landoberflächen. Besonders in dicht bebauten Gebieten bleiben die Straßen die ganze Nacht hindurch relativ warm und erscheinen daher auf der Klassifizierten Thermalkarte als warme (rote) Bänder, im Freiland kühlen sie etwas stärker ab.
- Gleisanlagen heizen sich tagsüber an der Oberfläche stark auf, kühlen aber wesentlich rascher aus als Straßen. Grund hierfür ist die im Schotterkörper eingeschlossene Luft, durch die Wärme

schlechter weitergeleitet und gespeichert wird als bei Asphalt. Auf der Klassifizierten Thermalkarte erscheinen daher Gleisanlagen häufig in den gelben Farben.

Wohngebiete

- Bei bebauten Flächen hängt das thermische Erscheinungsbild stark von der Dichte, Höhe und Anordnung der Häuser, von der Durchgrünung und der Lage der Fläche ab (Kuppe oder Tal, Stadtzentrum oder Rand).
- Das thermische Spektrum reicht von kaum wahrnehmbaren Veränderungen gegenüber dem Freiland bis zur extremen Wärmeinsel. Dementsprechend unterschiedlich ist auch das Aussehen auf der Klassifizierten Thermalkarte. Charakteristisches Kennzeichen sind die Straßenzüge, die die meist in gelb erscheinenden Siedlungen als rote Adern durchziehen.
- In hangnahen Wohngebieten zeigen sich relativ hohe Temperaturen („wärmebegünstigte Hangzone“). Hier fließt die während windschwacher Strahlungsnächte gebildete Kaltluft hangabwärts und sammelt sich in Mulden und Talbecken. Dort sinken die nächtlichen Temperaturen entsprechend tief ab. Am Oberhang dagegen werden die abfließenden Kaltluftmassen durch wärmere Luftpakete aus der Höhe ersetzt, so dass es hier deutlich wärmer ist als in den Tieflagen.

Gewerbe- und Industriegebiete

- Für Gewerbe- und Industriegebiete gilt prinzipiell das gleiche wie für die Wohngebiete. Allerdings sind hier die thermischen Strukturen etwas flächiger als in den eher linear geprägten Siedlungen, weil sich größere versiegelte Komplexe mit unversiegelten Bereichen abwechseln.
- Charakteristisch für das Erscheinungsbild von Gewerbe- und Industriegebieten auf Thermalaufnahmen ist außerdem das Vorkommen von rechteckigen schwarzen oder blauen Flächen. Dabei handelt es sich um Hallendächer mit reflektierenden Eigenschaften, z.B. aus Metall oder Glas. Solche Dächer spiegeln die Kälte des Nachthimmels wieder, so daß die Thermographie in diesen Fällen keine verlässlichen Werte der Strahlungstemperatur liefert.

5 Ergebnisse des meteorologischen Bodenmessprogramms

5.1 Lufttemperatur und Luftfeuchte

Während des meteorologischen Bodenmessprogramms am 15./16.08.2001 wurden an insgesamt 37 Messpunkten die Parameter Lufttemperatur und Relative Luftfeuchte gemessen. Um quasi zeitgleiche und damit vergleichbare Meßwerte zu erhalten, wurden die Temperaturdaten in Anlehnung an den Tagesgang der Lufttemperatur auf die jeweilige, innerhalb des Meßzeitraums liegende volle Stunde interpoliert.

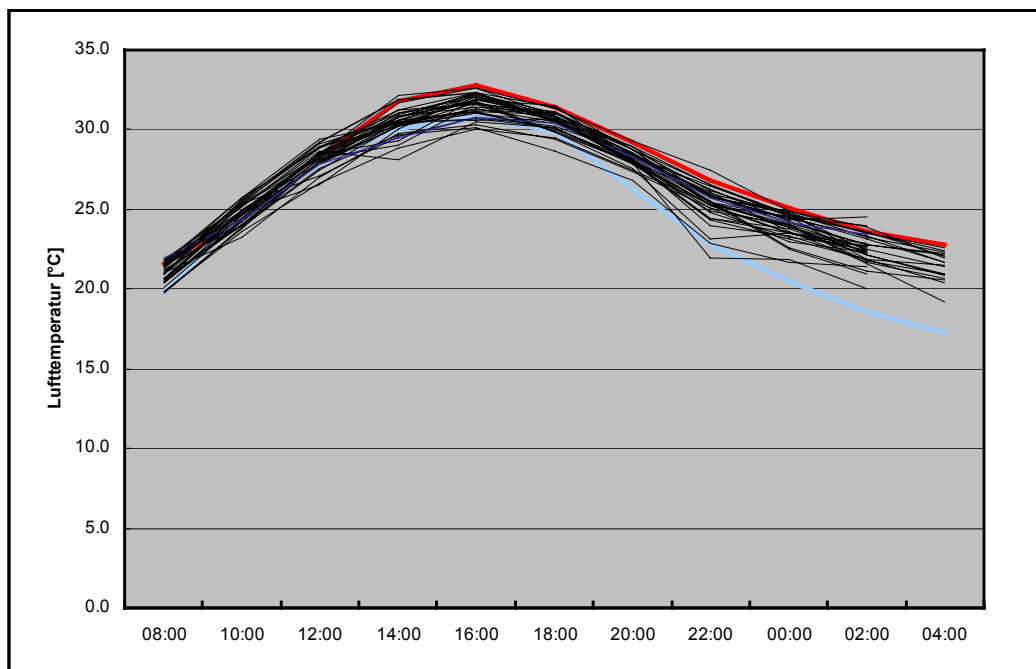


Abb. 10: Verlauf der Lufttemperaturen an allen Messpunkten während des Bodenmessprogramms am 15./16.08.2001. Die rote Linie zeigt den Temperaturverlauf am MP 8 (Innere Stadt), die blaue Linie am MP3 (Neuwaldegg).

In Abbildung 10 ist der Verlauf der während des meteorologischen Bodenmessprogramms gemessenen Lufttemperaturen an allen Messpunkten dargestellt. Die Temperaturen steigen an allen Messpunkten bis ca. 16:00 Uhr an, der höchste Wert liegt zu diesem Zeitpunkt bei 32,8°C am Messpunkt 8 (Innere Stadt), der niedrigste Wert bei 30,1°C am Messpunkt 23 (Mauer). Bis 2:00 Uhr nachts fallen die Temperaturen auf Werte zwischen 18,6°C am Messpunkt 3 (Neuwaldegg) und 24,5°C am Messpunkt 28 (Wieden, Innere Stadt) ab. Die Differenz zwischen wärmstem und kältestem Messpunkt ist zu dieser Zeit am höchsten und liegt jetzt bei 5,9 K. Zur Orientierung wurde der Temperaturverlauf an einem besonders „warmen“ Standort (MP 8, Innere Stadt) und einem besonders „kühlen“ Standort (MP 3, Neuwaldegg) farbig gekennzeichnet.

In Abbildung 11 ist der Tagesgang der Lufttemperatur noch einmal für die beiden Messpunkte 3 und 8 dargestellt. Sie zeigt deutlich das langsamere Abkühlungsverhalten des innerstädtischen Messpunktes (MP 8) und die daraus resultierende nächtliche Überwärmung. Die Tagesgänge an allen Messpunkten werden im GIS grafisch dargestellt und mit diesen beiden Temperaturkurven verglichen.

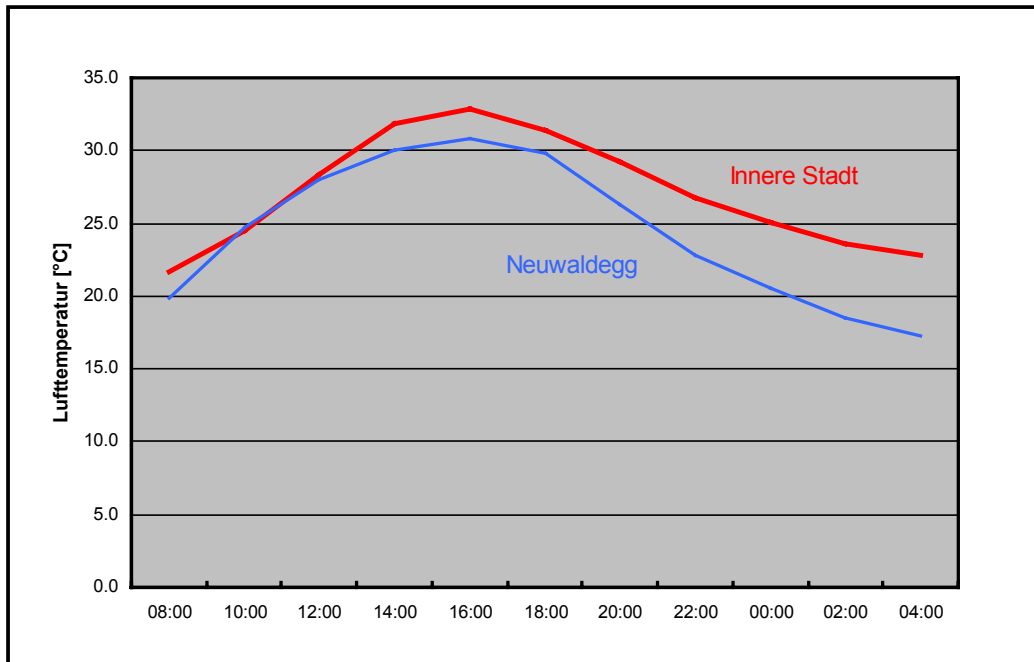


Abb. 11: Tagesgang der Lufttemperatur an den Messpunkten 3 und 8 während des meteorologischen Bodenmessprogramms am 15./16.08.2001

Abbildung 11 zeigt den an allen Messpunkten gemessenen Verlauf der Relativen Luftfeuchte während des meteorologischen Bodenmessprogramms. Vergleicht man ihn mit dem Verlauf der gemessenen Lufttemperaturen (Abbildung 10) so zeigt sich ein genau spiegelbildlicher Tagesgang mit hohen Werten in den frühen Morgen- und späten Abend- bzw. Nachtstunden und niedrigen Werten tagsüber. Die höchsten Werte werden am ebenfalls kältesten Messpunkt 8 (Neuwaldegg) erreicht. Auch hier sind aufgrund des unterschiedlichen Abkühlungsverhaltens die Unterschiede nachts am größten, während tagsüber die Werte näher beisammen liegen.

Allgemein sind die Unterschiede in der Feuchteverteilung zwischen Stadt und Umland nur gering ausgeprägt. Aufgrund der höheren Temperaturen im Stadtgebiet ist die relative Feuchte dort zwar niedriger, die absolute Feuchte, also der absolute Wasserdampfgehalt der Luft, kann aber durch anthropogene Wasserdampfzufuhr (Verbrennungsprozesse) größer sein als im Umland.

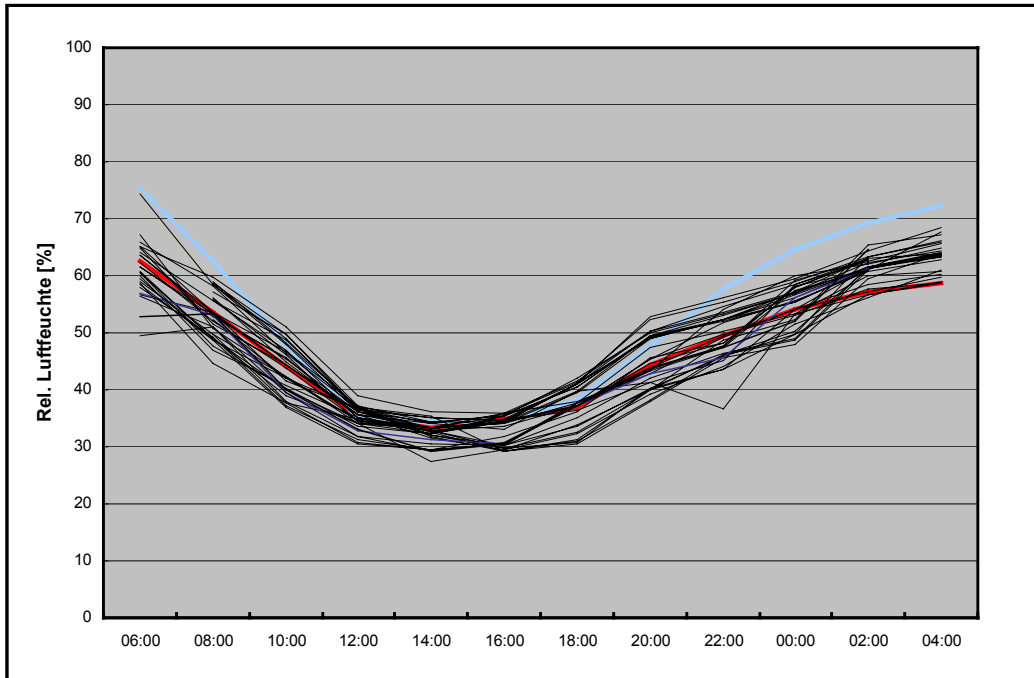


Abb. 12: Verlauf der Rel. Luftfeuchte an allen Messpunkten während des Bodenmessprogramms am 15./16.08.2001. Die rote Linie zeigt den Verlauf am MP 8 (Innere Stadt), die blaue Linie am MP3 (Neuwaldegg).

5.2 Windgeschwindigkeit und -richtung

In 3 ausgewählten Messrouten (Grinzing, Wiental und Reiche Liesing) wurden an insgesamt 17 Messpunkten Daten zu Windgeschwindigkeit und Windrichtung in 2 m über Grund erhoben. Ziel war die Erfassung nächtlicher Kaltluftströme, die an allen 3 Messrouten zu erwarten waren.

Insgesamt lagen die Windgeschwindigkeiten im Mittel zwischen 0,17 und 3,46 m/s mit zumeist auffrischenden Winden tagsüber und abflauenden Winden in den Nachtstunden. Die höchste Windgeschwindigkeit wurde mit 6,66 m/s um 15:50 Uhr an einem im Wiental gelegenen Messpunkt gemessen. Hinsichtlich der Windrichtungsverteilung herrschten an fast allen Messpunkten Winde aus östlichen bis südlichen Richtungen vor, ein deutlicher Tagesgang mit drehenden Winden in den Nachtstunden ist nicht zu erkennen. Ob sich an diesem Tag die übergeordnete Strömung durchgesetzt hat und die erwarteten lokalen Effekte ausblieben bzw. überlagert wurden, kann nicht abschließend bewertet werden. Möglicherweise waren die Bedingungen an diesem Tag nicht optimal, so dass es nicht zur Entstehung von nachweisbaren Kaltluftabflüssen kommen konnte. Der Verlauf der Windgeschwindigkeit und -richtung an allen Messpunkten ist im GIS grafisch dargestellt.

Betrachtet man zum Vergleich die langfristige Windrichtungsverteilung an der schon in Kapitel 3 erwähnten Messstelle Wien-Hadersdorf, so ist ein deutliches Berg-Talwindssystem zu erkennen, das sich durch einen besonders stark ausgeprägten Tagesgang mit talabwärtigen Strömungen nachts (Bergwind) und talaufwärtigen Strömungen tagsüber (Talwind) bemerkbar macht. Abbildung 13 zeigt die relative Häufigkeit der Windrichtungen in Wien-Hadersdorf zu verschiedenen Tageszeiten in den Sommermonaten, in denen der Anteil der westlichen Bergwinde besonders hoch ist.

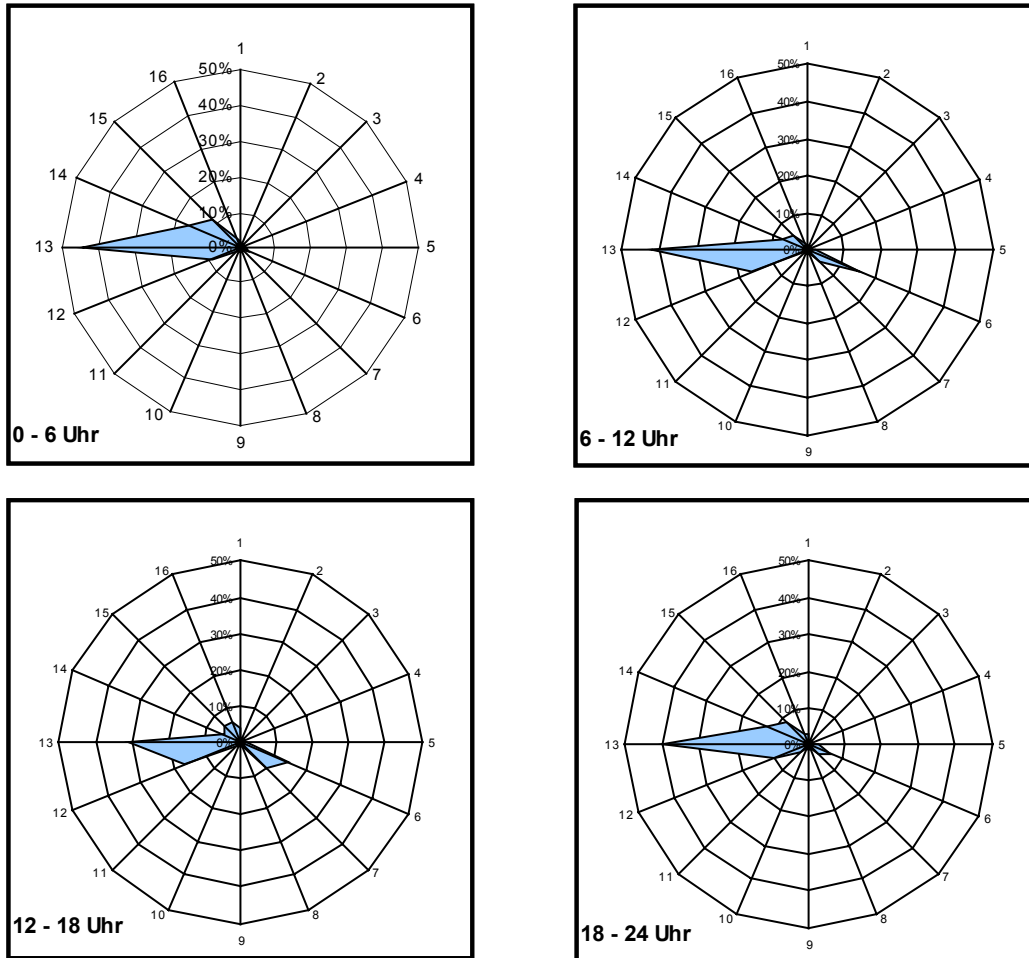


Abb. 13: Relative Häufigkeit der Windrichtungen im Sommer und zu verschiedenen Tageszeiten an der Station Wien-Hadersdorf (1962 – 1978)

6 Klimafunktionskarte

Die Klimafunktionskarte zeigt eine flächendeckende, detaillierte Darstellung der thermischen und dynamischen Verhältnisse des klimatischen Ist-Zustandes für das Gebiet der Stadt Wien. Dabei gibt sie in erster Linie die Verhältnisse während autochthoner Wetterlagen, also windschwacher austauscharmer Hochdruckwetterlagen wieder. Über die Darstellung der Luftleitbahnen werden jedoch auch die auf alle Wetterlagen bezogenen, langjährigen mittleren Windverhältnisse berücksichtigt.

Aussagen zur thermischen Komponente basieren auf den klassifizierten Oberflächentemperaturen, den Nutzungsstrukturen und vorhandenen Klimadaten. Die dynamische Komponente des Klimas (= Strömungssituation) ergibt sich aus der Synthese der topographischen Verhältnisse (Relief), der aus den Nutzungsstrukturen abgeleiteten Bodenrauigkeit und den vorhandenen Windmessdaten.

Die vorliegende Karte basiert auf dem Entwurf der deutschen VDI-Richtlinie 3787, Blatt 1 (VDI, 1994).

Es sei darauf hingewiesen, dass es sich bei den in der Klimafunktionskarte dargestellten Abgrenzungen nicht um flächen- bzw. parzellenscharfe Abgrenzungen handelt. Da Vorgänge in der unteren Atmosphäre betrachtet werden, sind die Übergänge zwischen den Flächen fließend und besonders zu den Rändern der Fläche hin ergeben sich bereits Einflüsse der angrenzenden Nachbarflächen. Ebenso besitzen die dargestellten Pfeilsymbole „symbolhaften“ Charakter, d.h. aus ihrer Lage und Größe auf der Karte lassen sich keine exakten quantitativen Angaben (z.B. zu Reichweite oder Mächtigkeit der Strömungen) ableiten.

6.1 Klimatope

Klimatope beschreiben räumliche Einheiten mit ähnlichen mikroklimatischen Ausprägungen. Klimatisch bedeutsam sind dabei vor allem die aktuelle Flächennutzung, das Relief, die Oberflächenstruktur, die Bodenart und die Vegetationsart sowie zusätzlich auch die lufthygienischen Verhältnisse. Auch die Ergebnisse der meteorologischen Messungen (Bodenmessprogramm, langjährige Messungen) liefern klimatologische Anhaltspunkte für die Bewertung einzelner Messpunkte und deren Umgebung.

Gewässerklima

Wasserflächen mit ausreichender Größe (> 1 ha) wirken ausgleichend auf den Temperatur- und Feuchtehaushalt ihrer Umgebung. Die erhöhte Verdunstung kann allerdings auch zu vermehrter Nebelbildung führen, wenn sich das Gewässer z.B. in einem Kaltluftsammlgebiet befindet. Wie weit Temperatureniedrigung bzw. Feuchteerhöhung in ein bebautes Gebiet hinein spürbar sind, hängt von der Ufergestaltung (offen, Damm, Wand), der Bebauungsdichte und der Breite der zum Gewässer mündenden Straßen ab. Ob sich zwischen einem innerstädtischen Wasserkörper und seiner bebauten Umgebung bei strahlungsreichen Wetterlagen eine „Gewässer-/Stadtwindzirkulation“ entwickelt –

vergleichbar der größerskaligen „Land-Seewindzirkulation“ – hängt von der Größe und Tiefe des Gewässers ab. Ist das Gewässer groß genug, kann sich tagsüber eine Ausgleichsströmung vom kühleren Wasserkörper zum überwärmten bebauten Gebiet einstellen. Nachts hingegen wird aufgrund des Fehlens eines ausreichend großen Temperaturgradienten zwischen warmem Gewässer und überwärmten Stadtkörper entweder keine oder nur eine sehr schwache Luftzirkulation entstehen (KUTTLER, 1993). Aufgrund ihrer glatten Oberfläche begünstigen Wasserflächen das Überströmen von Luftmassen. Befinden sie sich innerhalb einer Luftleitbahn, so erhöhen sie deren Leistungsfähigkeit und verbessern zudem die Qualität der Luftmassen, da Gewässer als Senke für eine Vielzahl in der Luft enthaltener gas- und partikelförmiger Schadstoffe zu betrachten sind. Erklärt wird dieser positive lufthygienische Effekt von Wasser dadurch, dass sich die Ablagerungsgeschwindigkeit von sehr kleinen Teilchen über einer Wasseroberfläche erhöht, weil die Teilchen in der feuchten wassernahen Luft rasch anwachsen (KUTTLER, 1991).

Freilandklima

- Versiegelung: < 10 %,
- Bebauung: nur einzelne Gebäude bzw. Straßen
- Vegetation: flächendeckende landwirtschaftliche Nutzung bzw. Brachen mit niedriger oder jahreszeitlich bedingt fehlender Vegetation, nur einzelne Baumpflanzungen

Das Freilandklima zeichnet sich durch stark ausgeprägte Tagesgänge von Strahlung, Lufttemperatur und Feuchte aus. Es herrschen Windoffenheit und eine intensive Kalt- bzw. Frischluftproduktion vor. Dabei entsteht Kaltluft aufgrund der nächtlichen Ausstrahlung, wodurch eine starke Abkühlung der bodennahen Luftschichten erzielt wird. Je nach der Beschaffenheit des Entstehungsgebietes (Neigung, Lage, Bewuchs) bleibt die kühle Luft auf der Fläche liegen oder sie fließt - da sie dichter und damit schwerer ist als warme Luft - der Schwerkraft folgend ab. Diese Bewegung muss man sich wie die eines zähen Breies oder von Honig auf einer geneigten Unterlage vorstellen. Über die für das Abfließen der Kaltluft nötige Neigung gibt es unterschiedliche Angaben in der Fachliteratur. Während GERTH (1986) einen Wert von 2° (3,5 %) angibt, sprechen HÄCKEL (1993) und BARLAG (1993) von Werten zwischen 0,5 und 1° (1 bis 2,2 %). Einigkeit besteht jedoch darin, dass neben der Neigung die Rauigkeit des Untergrundes eine wichtige Rolle in Bezug auf die Abflussmöglichkeiten spielt.

Die Bedeutung der Kaltluft in ihrer Wirkung für den Menschen muss differenziert betrachtet werden. Fließen saubere Kaltluftmassen in ein überwärmtes Stadtgebiet ein, so bringen sie Abkühlung und frische Luft, sie sind also thermisch und lufthygienisch als günstig zu beurteilen. Nimmt die Luft auf ihrem Weg in die Stadt Schadstoffe auf, so wirkt sie zwar immer noch kühlend, trägt aber nicht mehr zur Verbesserung der Luftgüte bei. Sammelt sich die kalte Luft in Mulden und Talauen, so ist sie sowohl thermisch als auch lufthygienisch als ungünstig zu bewerten: es kommt zu erhöhter Frost- und Nebelbildung und durch die stabile Schichtung zur Anreicherung von Luftschadstoffen, sofern Emittenten im Sammelgebiet liegen.

Waldklima

- Versiegelung: < 10 %
- Bebauung: nur einzelne Gebäude bzw. Straßen
- Vegetation: flächendeckende Bepflanzung mit Bäumen meist einheitlicher Höhe

Die klimatisch-lufthygienischen Eigenschaften des Waldes – insbesondere der typische Tagesgang der Temperatur und die Filterwirkung – sind beim Laubwald nur im Sommerhalbjahr ausgeprägt. Nach dem Laubfall entspricht die Situation tendenziell eher dem Typ „Freiland“. Beim Nadelwald sind die Eigenschaften des Waldes dagegen ganzjährig ausgeprägt. Wegen des dichteren Stammraums ist die bodennahe Luft allerdings wenig mobil.

Die Funktion von Wäldern im Hinblick auf Kaltluftproduktion und -abfluss ist in der Literatur nicht unumstritten (GERTH 1986, HAUF u. WITTE 1985, NOACK 1986, PARLOW 1983). Die Angaben zur Kaltluftproduktivität eines Waldes reichen von $0,6 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ h})$ bis weit über $20 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ h})$. Bei Wäldern ist die Hauptenergieumsatzfläche nicht der Erdboden, sondern das Kronendach. Die dort durch nächtliche Ausstrahlung abgekühlten Luftmassen sinken in den Stammraum und werden dort zum Teil wieder erwärmt. Dies ist nach einer älteren Untersuchung von BAUMGARTNER (zit. aus GERTH, 1986) der Grund für die im Vergleich zu Freiflächen geringe Kaltluftproduktionsrate von Wäldern. GOSSMANN dagegen (zit. aus PARLOW, 1983) sieht eben diesen Kreislauf als Ursache für die kontinuierliche Kaltluftproduktion von Wäldern.

Ungeklärt ist zudem, ob bzw. in welchem Maße die kühlen Luftmassen aus dem Stammraum abfließen können oder ob der Abfluss hauptsächlich oberhalb des Kronendaches stattfindet. So kamen z.B. HAUF und WITTE (1985) in ihrer Fallstudie zu dem Ergebnis, dass der Kronenraum für den Kaltluftabfluss ein Strömungshindernis darstellt, während der lichte Stammraum relativ ungehindert durchströmt werden kann. Andere Untersuchungen erbrachten dagegen Hinweise darauf, dass der Kaltluftabfluss vorwiegend oberhalb des Kronendaches erfolgt, weil dort ein stärkeres Geschwindigkeitsmaximum gefunden wurde als im Stammraum (FINKE u. LÖBEL, zit. aus KRdL 1993). PARLOW (1983) hat bei Messungen im Gelände festgestellt, dass sich der Kaltluftabfluss an bewaldeten Hängen in erster Linie im Bereich von Hohlformen, also Tälern und Mulden vollzieht und weniger als flächiger Abfluss über den gesamten Hang. Auch wenn die Abflussvorgänge noch nicht vollständig geklärt sind, so hat sich in jüngerer Zeit doch die Ansicht durchgesetzt, dass bewaldete Hänge sehr effektive Kaltluftproduzenten sind, weil sie erstens ein größeres Kaltluftvolumen produzieren als Freiflächen und weil sie zweitens durch die zeitliche Verzögerung des Kaltluftabflusses auch tagsüber noch zu einer Abkühlung der Umgebung beitragen können. Lediglich in Bezug auf die Temperatur sind Freilandflächen die „besseren“ Kaltluftproduzenten, d.h. über Freilandflächen kühlt die Luft stärker ab als über Wäldern. In bestimmten Fällen können Wälder aber auch Strömungshindernisse für Kaltluftabflüsse darstellen, z.B. wenn ein dichter Waldstreifen ein ansonsten unbewaldetes Tal quert.

Parkklima

- Versiegelung: < 20 %
- Bebauung: nur einzelne Gebäude bzw. Straßen
- Vegetation: Bepflanzung unterschiedlicher Höhe bei eingestreuten offenen Grünflächen, teilweise kleinere Wasserflächen

Zu diesem Klimatop gehören alle Flächen mit wenig oder keiner Bebauung und mit geringem bismäßigem Großgehölzbestand. Je nach Bewuchs sind sowohl die Lufttemperatur und der Strahlungsgang als auch die Windgeschwindigkeiten stark gedämpft. In Abhängigkeit von ihrer Ausdehnung und Lage erfüllen innerstädtische Grünflächen sowohl klimatische und lufthygienische, als auch weitere ökologische Funktionen im städtischen Umfeld, die allerdings häufig durch unterschiedliche Nutzungen (Erholungsnutzung, Verkehrswege und -anlagen, Randbebauung) beeinträchtigt sind (KRdL 1993). Die klimatische Wirksamkeit von Freiflächen ist im Wesentlichen von ihrer Größe, den Reliefbedingungen und der Vegetationsstruktur aber auch von der Dichte und Durchlässigkeit der Randbebauung abhängig. Intensität und Reichweite der kühlenden Wirkung von Grünflächen steigen im Allgemeinen mit zunehmender Größe an.

Siedlungsklima

- Versiegelungsgrad: < 50 %
- Baustruktur: vorwiegend Einfamilien- bzw. Reihenhäuser
- Nutzung: fast ausschließlich Wohnen

Zum Klimatotyp Siedlungsklima gehören überwiegend locker bebaute und gut durchgrünte Wohnsiedlungen. Es weist bereits eine deutliche Veränderung der Klimaelemente im Vergleich zum Freiland auf. Der geringe Versiegelungsgrad und die gute Durchgrünung wirken jedoch einer stärkeren Überwärmung entgegen und unterstützen die Durchlüftung. Die schwache bis mäßige lufthygienische Belastung stammt in erster Linie vom Autoverkehr und vom Hausbrand. Insgesamt besitzt das Siedlungsklima für den Menschen günstige Eigenschaften.

Stadtklima

- Versiegelungsgrad: 50 - 70 %
- Baustruktur: gemischte Bauweise (innerstädtische Blockrandbebauung, Reihenhäuser, Punkthochhäuser)
- Nutzung: vorwiegend Wohnen, teilweise Dienstleistungen
- Emissionen: verkehrliche und Hausbrandemissionen

Die Eigenschaften von Klimatopen dieses Typs liegen zwischen den intensiven innerstädtischen Überwärmungsbereichen (Innenstadtklima) und den nur geringfügig überwärmten, locker bebauten Siedlungsbereichen (Siedlungsklima). Die deutlich geringere nächtliche Abkühlung im Vergleich zum Freilandklima findet ihre Ursachen in dem relativ hohen Versiegelungsgrad (zwischen 50 und 70 %), den eingeschränkten Be- und Entlüftungsmöglichkeiten und der nicht ausreichenden Durchgrünung. Die Bebauung ist meist blockförmig und mehrgeschossig (ca. 2 bis 5 Geschosse), die Bauhöhe variiert zum Teil stärker und es gibt bereits Straßenschluchten.

Die lufthygienische Situation in diesen Gebieten ist räumlich stark variabel. Grundsätzlich haben sich in jüngster Vergangenheit Verschiebungen derart ergeben, dass problematische Hausbrandemissionen stärker in den Hintergrund treten, während verkehrliche Emissionen an Bedeutung gewinnen. Teilweise spielen hier auch räumliche Verlagerungen des Verkehrsaufkommens eine Rolle. Insgesamt müssen dem Klimaraum lufthygienisch und klimatisch mäßig belastende Eigenschaften zugeschrieben werden.

Innenstadtklima

- Versiegelungsgrad: > 70 %
- Bebauungsstruktur: uneinheitlich strukturierte, aber sehr dichte Bebauung
- Nutzung: Dienstleistungen, teilweise Wohnen
- Emissionen: überwiegend verkehrliche Emissionen

Das Innenstadtklima zeigt die stärksten Veränderungen der Klimatelemente gegenüber dem Freiland: stark erhöhte Temperaturen, sehr geringe nächtliche Abkühlung, geringe relative Feuchte und starke Einschränkung der Durchlüftung bei gleichzeitiger Böigkeit des Windes. Ursachen dafür sind die hochverdichtete Bebauung mit einem Versiegelungsgrad > 70 % und der geringe Grünflächenanteil sowie die zentrale Lage innerhalb des Stadtkörpers. Die Bebauung ist überwiegend höhergeschossig (> 3 Geschosse), zum Teil treten extreme Bauhöhenunterschiede auf und es finden sich zahlreiche Straßenschluchten. Ein weiteres wichtiges Kennzeichen ist die hohe lufthygienische Belastung, wobei als Hauptemissionsquelle der Autoverkehr zu nennen ist. Das Innenstadtklima ist insgesamt als stark belastend für den Menschen einzustufen. In den vergangenen Jahrzehnten haben sich in den Innenstädten zudem verschiedene stadtklimatologisch relevante Veränderungen ergeben. Einerseits hat sich die Emissionssituation teilweise erheblich verbessert (durch technische Verbesserungen beim Hausbrand und Reduzierung der Emissionen des Individualverkehrs). Andererseits hat sich das thermische Gefüge bzw. die Belüftungssituation teilweise verschlechtert (durch Nachverdichtung in der Stadt und baulichen Erweiterungen am Stadtrand).

Gewerbe- und Industrieklima

- Versiegelungsgrad: überwiegend > 70 %
- Bebauungsstruktur: überwiegend große Gebäude mit größeren Zwischenräumen
- Nutzung: gewerbliche Nutzungen

- Emissionen: verkehrliche und gewerbliche Emissionen

Der Klimatotyp Gewerbe- und Industrieklima gleicht in seiner klimatischen Ausprägung den Stadt- bzw. Innenstadtklimaten. Es handelt sich häufig um Gebiete mit erhöhter Schadstoff- und Abwärmebelastung und z. T. ungünstigen bioklimatischen Bedingungen. Die typische industrielle Nutzung mit erheblichen Luftschadstoff- und Wärmeemissionen hat sich aber in vielen Großstädten bis auf wenige Standorte zurückentwickelt. Grundsätzlich unterscheiden sich Gewerbegebiete aber in jedem Fall dadurch von Wohngebieten, dass eine geringere Immissionsempfindlichkeit vorliegt, ein erhöhtes Verkehrsaufkommen vorauszusetzen ist und die Möglichkeit umfassender und rascher Emissionsminderungsmaßnahmen besteht.

Sonderflächen

Bei diesen Flächen handelt es sich um Sondernutzungen wie Bahnanlagen, Abwasserbeseitigungsanlagen und Anlagen zur Schottergewinnung, die kleinräumig mit speziellen klimatologisch-luft-hygienischen Auswirkungen verbunden sein können.

Größere Gleisanlagen können freiland-ähnliche Eigenschaften aufweisen, wobei sie insbesondere örtlich bedeutsame Belüftungsfunktionen übernehmen können. Bei freien Streckenabschnitten sind je nach Lage, Trassenführung und Randbewuchs lokale Belüftungswirkungen für die Umgebung möglich.

6.2 Belüpfungsfunktionen

Regionale Luftleitbahnen

Unter den Luftleitbahnen von regionaler Bedeutung sind großräumige Strukturen zu verstehen, die aufgrund ihrer geringen Rauigkeit, ihrer Orientierung relativ zu den Hauptwindrichtungen und geringer Schadstoffbelastung den Austausch belasteter Luftmassen in Siedlungsgebieten gegen weitgehend frische Luft aus der Umgebung begünstigen. Meist handelt es sich dabei um Flusstäler, welche die Siedlungsgebiete queren. Sie ermöglichen den Luftaustausch sowohl bei autochthonen Wetterlagen als auch bei den am häufigsten auftretenden Windrichtungen.

Lokale Luftleitbahnen

Hier handelt es sich um kleinräumige Strukturen, die den Luftaustausch innerhalb der Stadt begünstigen. Voraussetzungen sind geringe Bodenrauigkeit, ausreichende Länge und Breite sowie ein möglichst geradliniger Verlauf der Strömungsbahnen. Als Faustregel für die Breite der Bahn wird im Handbuch „Stadtklima und Luftreinhaltung“ (Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN (KRdL) 1988) eine Mindestbreite von der 10fachen Höhe der Randbebauung genannt, andere Quellen fordern eine Mindestbreite von 50 m und eine Mindestlänge in einer Richtung von 1000 m (MAYER, BECKRÖGE u. MATZARAKIS 1994). Wichtige Merkmale sind außerdem ihre Richtungsgebung durch

vorhandene Strukturen und der Zusammenhang mit der Windrichtungsverteilung. Als Beispiele wären Grünflächen mit niedrigem Bewuchs, Wasserflächen, mehrgleisige Bahnanlagen und größere Straßen zu nennen. Die Kanalisierung der Luftströmungen ist in starkem Maße von den jeweiligen Strömungsrichtungen der Wetterlagen abhängig. Während windschwacher Hochdruckwetterlagen dienen die Luftleitbahnen als potentielle Einströmschneisen für Flurwinde. Die Luftgüte wird dabei zunächst nicht betrachtet, d.h. die transportierten Luftmassen können sowohl belastet (z.B. bei Straßen) als auch unbelastet sein (z.B. bei Grünanlagen).

Nächtlicher kühler Bergwind (Talabwind)

Hier handelt es sich um ein großräumiges Berg-/Talwindssystem aus dem Wienerwald mit bis zu mehreren Kilometern in die Ebene hinein reichenden kühlen, nächtlichen Strömungen. Die Reichweite der Strömungen lässt sich nicht genau bestimmen. Sie hängt unter anderem ab von der Größe des Einzugsgebietes und vom Vorhandensein von Strömungshindernissen, aber auch von den jeweiligen meteorologischen Bedingungen. Die Signatur für „Bergwind“ wurde auf der Klimafunktionskarte zusätzlich zu den Pfeilen für die Kaltluftabflüsse eingeführt, um die großräumige Kühl- und Frischluftversorgungsfunktion des Wienerwaldes hervorzuheben.

Kaltluftabflüsse unterschiedlicher Dimensionierung (Talabwinde)

In vom Relief vorgegebenen Strukturen (Täler, Rinnen) kommt es während windschwacher Strahlungswetterlagen zur Ausbildung von Hang- bzw. Berg-Tal-Wind-Zirkulationen mit talaufwärtiger Strömung am Tage und talabwärtiger Strömung in der Nacht. Von Bedeutung sind hier vor allem die nächtlichen hang- bzw. talabwärtigen Strömungen, mit denen Kaltluft ins Stadtgebiet gelangt. Volumen und Geschwindigkeit der Ströme sind abhängig von der Beschaffenheit des Entstehungsgebietes (Größe, Nutzungsart) und der Abflussbahn (Querschnitt, Rauigkeit, Gefälle). Als für die Belüftung einer Stadt relevante Größe eines Kaltluftstromes gilt eine Mindestabflussstärke von 10.000 m³/s (KRdL 1993). Bei einer durchschnittlichen Kaltluftproduktionsrate von Freiflächen zwischen 10 und 15 m³/(m²h) entspricht dies einer Einzugsgebietsgröße zwischen 240 und 360 ha. Die durchschnittliche Geschwindigkeit der Kaltluftabflüsse liegt bei 1,5 bis 2 m/s; sie kann jedoch bei großen Berg-Talwindssystemen auch deutlich höher sein. Die vertikale Mächtigkeit variiert von wenigen Metern bis zu über 100 m, die horizontale Reichweite am Talausgang von einigen 100 m bis zu wenigen Kilometern (KRdL, 1993).

Die Qualität des Kaltluftstromes hängt davon ab, ob sich in seinem Einzugsgebiet bzw. in seiner Abflussbahn Emittenten befinden. Unterschieden werden intensive (unverzögerte) Kaltluftabflüsse, die unbehindert strömen können und verzögerte Kaltluftabflüsse. Ursache für die Verzögerung sind Strömungshindernisse in Form von Bebauung oder hoher, dichter Vegetation (z.B. Wald).

Flächenhafte Kaltluftabflüsse (Hangabwinde)

An Hängen mit geringer Rauigkeit und ausreichender Neigung fließt die Kaltluft flächig über den gesamten Hang ab. Mächtigkeit, Geschwindigkeit und Reichweite sind bei diesen flächenhaften Abflüssen deutlich geringer als bei den oben beschriebenen, in Tälern kanalisierten Kaltluftströmen.

Kaltluftsammlgebiete

Unter Kaltluftsammlgebieten werden größere, zusammenhängende Flächen verstanden, in denen sich durch Kaltluftzuflüsse aus umliegenden Kaltlufteinzugsgebieten oder durch Kaltluftbildung vor Ort deutlich niedrigere Lufttemperaturen als in der Umgebung bilden können. Damit verbunden sind eine erhöhte Neigung zu Spät- und Frühfrösten, zu Nebelbildung und der Gefahr zeitlich beschränkter Schadstoffanreicherungen.

7 Bewertungskarte Klima/Luft

Auf der Basis der Klimafunktionskarte wurde unter Einbeziehung der vorliegenden lufthygienischen Messdaten die Bewertungskarte Klima/Luft erstellt. Im Gegensatz zur weitgehend wertfreien Darstellung auf der Klimafunktionskarte werden auf der Bewertungskarte die Freiflächen hinsichtlich ihrer klimatisch-lufthygienischen Ausgleichsfunktion und die Siedlungsflächen hinsichtlich ihrer Empfindlichkeit gegenüber einer Siedlungsverdichtung oder -erweiterung in mehrere Klassen eingeteilt. Die Luftleitbahnen werden differenziert in weitgehend unbelastete und schadstoffbelastete Bahnen. Dargestellt sind außerdem die Straßen mit hohem bis extrem hohem Verkehrsaufkommen und somit hoher lufthygienischer Belastung. Darauf aufbauend wurden Planungsempfehlungen bzw. Erhaltungs- und Entwicklungsziele erarbeitet, die in Kapitel 8 beschrieben werden.

7.1 Freiflächen

Entscheidend für die Einstufung der Freiflächen als Flächen mit geringer bis sehr hoher klimatisch-lufthygienischer Ausgleichsfunktion ist zum einen ihre Kaltluftproduktivität und zum anderen ihr Bezug zum Siedlungsraum. Kaltluftentstehungsgebiete, Luftleitbahnen und Waldbestände mit direktem Bezug zum Siedlungsraum fallen in die Kategorie sehr hoch bis hoch, wobei die Bedeutung mit zunehmender Belastung des Wirkungsraumes ansteigt. Anders ausgedrückt: Freiflächen, die als Kalt- bzw. Frischluftlieferanten für mäßig bis stark belastete Siedlungsgebiete mit überwiegender Wohnnutzung dienen, erhalten eine höhere Bewertungsstufe als Flächen, die in Wechselwirkung mit Gewerbe- oder Industriegebieten oder niedrig belasteten Wohngebieten stehen. Zusammenhängende größere Waldflächen wurden generell in die Klassen hoch oder sehr hoch eingestuft, um ihrer besonderen klimatischen Gunstfunktion und ihrer Bedeutung als Naherholungsgebiete für den Menschen Rechnung zu tragen.

In die Kategorie mit mittlerer Bedeutung fallen Kaltluftentstehungsgebiete und Luftleitbahnen mit direktem Bezug zu niedrig belasteten Wohngebieten und niedrig oder mäßig belasteten Gewerbegebieten oder mit nur indirektem Bezug zum Siedlungsraum. Die Unterscheidung zwischen direktem und indirektem Bezug zum Siedlungsraum stützt sich zum einen darauf, ob die kühlen Luftmassen nachts in Richtung der Siedlung abfließen können und zum anderen auf die vorherrschende Windrichtung bei belastenden Wetterlagen.

Flächen ohne nennenswerte Kaltluftproduktion sowie Flächen ohne Siedlungsbezug werden in die vierte Kategorie (geringe Bedeutung) eingestuft. Diese Kategorie kommt im Untersuchungsgebiet jedoch nicht vor.

Die in Abbildung 14 dargestellte Bewertungsmatrix soll die Einteilung der Freiflächen in die beschriebenen vier Kategorien nochmals verdeutlichen. Dabei ist unter „Belastung des Siedlungsraumes“ die Synthese aus thermischer (Überwärmung) und lufthygienischer Belastung gemeint. Einschränkend ist zu

sagen, dass dieses Schema (ebenso wie das Schema zur Klassifizierung der Siedlungsflächen) nur einen Anhaltspunkt für die Klassifizierung der Flächen bildet. Weitere Aspekte fließen mit ein, die sich aus der räumlichen Gesamtschau aller untersuchten Datenebenen ergeben und die sich in einem solchen Schema nicht darstellen lassen. So spielt es z.B. eine Rolle, ob die Ausgleichsfunktion einer Freifläche nur lokal für die unmittelbar angrenzenden Siedlungsteile wirksam wird oder aber zur Belüftung ganzer Stadtteile beiträgt.

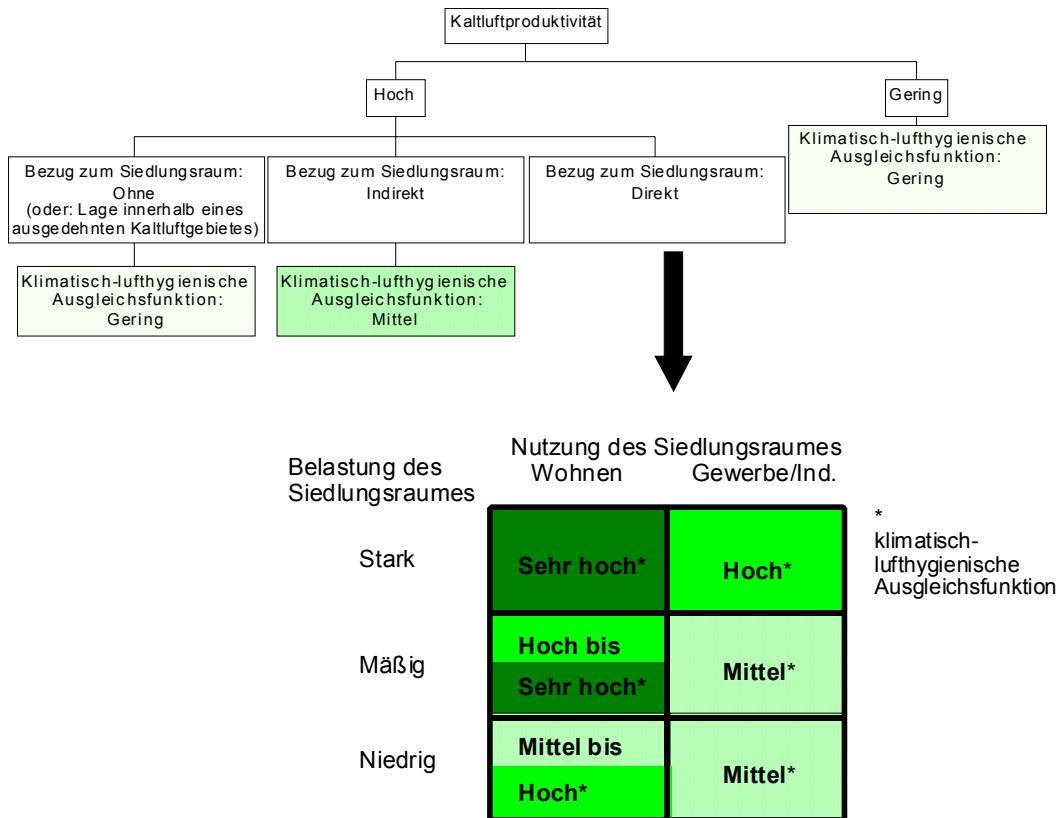


Abb. 14: Bewertungsmatrix für die Freiflächen

7.2 Siedlungsflächen

Die Siedlungsflächen werden hinsichtlich ihrer Empfindlichkeit gegenüber einer Nutzungsintensivierung (Bebauungsverdichtung, Flächenversiegelung) bzw. Siedlungserweiterung in drei Bewertungsklassen eingeteilt. Bewertungskriterium ist zum einen die bereits bestehende thermische und lufthygienische Belastung des betrachteten Gebietes und zum anderen die Bedeutung des Gebietes für benachbarte Siedlungsbereiche.

Stark verdichtete und belastete Innenstadtbereiche fallen grundsätzlich in die Klasse mit hoher Empfindlichkeit gegenüber einer weiteren Nutzungsintensivierung. In dieselbe Klasse gehören aber auch locker bebaute Siedlungen mit günstigen bioklimatischen Verhältnissen, die einen starken Einfluss auf angrenzende stärker verdichtete Siedlungen haben (z.B. Wohngebiete am Oberhang oder im Bereich von Kaltluftabflüssen mit Bezug zu mäßig oder stark belasteten Siedlungen). Zur besseren Unterscheidung wurden die letzteren auf der Bewertungskarte mit einer Schraffur dargestellt (gelb-braun bzw. orange-braun, vgl. Bewertungsmatrix in Abbildung 15). In den genannten Gebieten muss jede Planung hinsichtlich ihrer klimatisch-lufthygienischen Auswirkungen sehr sorgfältig geprüft werden.

Auch in den Gebieten mit mittlerer Empfindlichkeit sollte eine geplante Nutzungsänderung nicht ohne kritische Betrachtung realisiert werden. Es handelt sich hierbei um niedrig oder mäßig belastete Siedlungsbereiche mit geringem oder keinem Einfluss auf angrenzende Siedlungs- oder Freiräume (z.B. Wohngebiete am Unterhang oder im Bereich eines Kaltluftabflusses mit Bezug zu niedrig belasteten Siedlungen).

Relativ unbedenklich sind Nutzungsintensivierungen in Gebieten, die in die dritte Kategorie mit geringer Empfindlichkeit eingestuft wurden. Wichtigstes Kriterium für die Einstufung in diese Klasse ist die Tatsache, dass eine Nutzungsänderung in diesen Gebieten keinen Einfluss auf benachbarte Siedlungs- oder Freiräume hat und zugleich zu keiner nennenswerten Belastung im betrachteten Gebiet selbst führt. Locker bebaute, gut durchgrünte Siedlungsgebiete mit günstigen klimatisch-lufthygienischen Eigenschaften oder auch mäßig belastete Gewerbegebiete fallen in diese Kategorie.

Die Bewertungsmatrix in Abbildung 15 verdeutlicht die Einteilung der Siedlungsflächen in die beschriebenen drei Kategorien. Dabei ist unter der „Belastung des Siedlungsraumes“ die Synthese aus thermischer (Überwärmung) und lufthygienischer Belastung gemeint. Die schraffierten Kategorien bei den Siedlungsflächen sind nicht als „Übergangsstufen“ zu sehen, sondern wurden eingeführt, um den eigentlichen Widerspruch zwischen geringer Belastung des Siedlungsraumes und dennoch Einstufung in mittlere bis hohe Empfindlichkeit gegenüber einer Nutzungsintensivierung nachvollziehbar zu machen.

Belastung des Siedlungsraumes	Einfluss auf benachbarte Siedlungsbereiche			* Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung
	Stark	Gering	Kein	
Stark	Hoch*	Hoch*	Hoch*	
Mäßig	Hoch*	Mittel*	Gering bis Mittel*	
Niedrig	Hoch*	Gering bis Mittel*	Gering*	

Abb. 15: Bewertungsmatrix für die Siedlungsflächen

7.3 Vorbelastungen und Konflikte

Unter den Vorbelastungen sind die durch die verschiedenen Quellgruppen (Verkehr, Hausbrand, Gewerbe- und Industrie) hervorgerufenen lufthygienischen Belastungen zu verstehen. Durch die Überlagerung dieser Informationen mit den klimatischen Gegebenheiten werden Konflikte aufgezeigt, z.B. in Form belasteter Luftleitbahnen.

Straßen mit hohem bis extrem hohem Verkehrsaufkommen: entsprechend der täglichen Verkehrsbelastung werden die besonders stark befahrenen und damit lufthygienisch belasteten Strassenabschnitte im Stadtgebiet von Wien in 3 Kategorien dargestellt:

- Straßen mit hohem Verkehrsaufkommen (10.000 bis 30.000 kfz/24 h)
- Straßen mit sehr hohem Verkehrsaufkommen (30.000 bis 60.000 kfz/24 h)
- Straßen mit extrem hohem Verkehrsaufkommen (> 60.000 kfz/24 h)

Auf die besondere Bedeutung des Verkehrs im Hinblick auf die Schadstoffsituation im Stadtgebiet wurde bereits hingewiesen (Kapitel 3).

Regionale/Lokale Luftleitbahnen (schadstoffbelastet): die Ausweisung als schadstoffbelastete Luftleitbahnen ist eine überwiegend qualitative Einschätzung und stützt sich auf die bekannten Informationen zur lufthygienischen Situation im Untersuchungsgebiet. Trotz ihrer Schadstoffbelastung können die Luftleitbahnen noch zu einer Verbesserung der lufthygienischen Situation führen, weil sie für eine bessere Durchlüftung und damit für einen rascheren Abtransport von Schadstoffen sorgen.

7.4 Luftaustausch und sonstige klimarelevante Flächen

Hierunter fallen die weitgehend unbelasteten Luftleitbahnen, der nächtliche Bergwind, die verschiedenen Kaltluftabflüsse, Kaltluftammelgebiete, Sonderflächen und größere Wasserflächen.

Regionale/Lokale Luftleitbahnen (unbelastet): die Ausweisung als unbelastete Luftleitbahn ist eine überwiegend qualitative Einschätzung und stützt sich auf die bekannten Informationen zur luft-hygienischen Situation im Untersuchungsgebiet.

Kaltluftabflüsse, Bergwind, Kaltluftammelgebiete, Sonderflächen und Wasserflächen wurden bereits im Zusammenhang mit der Klimafunktionskarte (Kapitel 6) beschrieben.

7.5 Nachrichtliche Informationen

Als ergänzende Informationen ohne Bewertungscharakter sind Waldflächen, Gewerbe- bzw. Industriegebiete und die Stadtgrenze eingetragen.

8 Nutzung der Ergebnisse für die Stadtplanung

Im klimatischen Sinne sollte eine umweltverträgliche Stadtentwicklung darauf ausgerichtet sein, einem für den Menschen „idealen Stadtklima“ möglichst nahezukommen. Vom Fachausschuss „Biometeorologie“ der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft wurde das „ideale Stadtklima“ folgendermaßen definiert: „Ideales Stadtklima ist ein räumlich und zeitlich variabler Zustand der Atmosphäre in urbanen Bereichen, bei dem sich möglichst keine anthropogen erzeugten Schadstoffe in der Luft befinden und den Stadtbewohnern in Gegend eine möglichst große Vielfalt an Atmosphärenzuständen (Vielfalt der urbanen Mikroklimata) unter Vermeidung von Extremen geboten wird.“

Während die räumliche und zeitliche Variabilität der Atmosphärenzustände vom Witterungsverlauf abhängt und vom Menschen daher nicht zu beeinflussen ist, können die anderen Forderungen (Klimavielfalt auf kurzen Wegen, Vermeidung von Extremen und Vermeidung von Schadstoffemissionen) im Rahmen einer umweltverträglichen Planung gesteuert werden.

Auf der Basis der Bewertungskarte Klima/Luft wurden für die verschiedenen Kategorien von Frei- und Siedlungsflächen, für die Luftleitbahnen und Kaltluftabflüsse sowie für die dargestellten Vorbelastungen und Konflikte Planungsempfehlungen und Erhaltungs- bzw. Entwicklungsziele angegeben, die in Tab. 6 zusammengestellt sind. Entsprechend der Maßstabsebene handelt es sich dabei um relativ allgemein gehaltene Empfehlungen. Erst wenn Art und Umfang von Planungsvorhaben bekannt sind, können diese allgemeinen Empfehlungen unter Berücksichtigung der jeweils individuellen Bedingungen konkretisiert werden.

Immer wiederkehrende Forderungen im Rahmen der Schaffung bzw. Erhaltung günstiger klimatischer und lufthygienischer Bedingungen sind die Bereiche Emissionsvermeidung und Verbesserung der Grünausstattung. In Tabelle 7 sind daher entsprechende Maßnahmen aufgelistet und zwar getrennt für Bestand und Neuplanungen. Grundsätzlich ist darauf hinzuweisen, dass einer Verringerung des Kfz-Verkehrs eine hohe Bedeutung als Bestandteil klimawirksamer Maßnahmen zukommt. So zeigen die lufthygienischen Datenreihen deutlich, dass die Entwicklung der Luftqualität in Wien heute zunehmend durch die Emittentengruppe Verkehr bestimmt wird, während die Belastung durch SO_2 , das hauptsächlich aus Hausbrand und Industrie stammt, merklich zurückgegangen ist.

Tab. 6: Planungsempfehlungen und Erhaltungs- bzw. Entwicklungsziele für die auf der Bewertungskarte dargestellten Kategorien von Frei- und Siedlungsflächen, Kaltluftabflüssen, Luftleitbahnen, Vorbelastungen und Konfliktsituationen

	Planungsempfehlung / Entwicklungsziel
Freiflächen	
sehr hohe klimatisch-lufthygienische Ausgleichsfunktion	im Außenbereich: großräumiger Erhalt, Bebauung und Versiegelung nur in Ausnahmefällen und unter Beachtung klimatisch-lufthygienischer Vorgaben im Innenbereich: Erhalt und Ausbau, Entsiegelung vorsehen, abwechslungsreiche Pflanzstrukturen anstreben, Vernetzung einzelner Grünflächen
hohe klimatisch-lufthygienische Ausgleichsfunktion	im Außenbereich: großräumiger Erhalt, Bebauung und Versiegelung nur in geringem Umfang und unter Erhalt des Siedlungsbezuges im Innenbereich: Erhalt, keine weitere Versiegelung, abwechslungsreiche Pflanzstrukturen anstreben, Vernetzung einzelner Grünflächen
mittlere klimatisch-lufthygienische Ausgleichsfunktion	maßvolle Bebauung möglich, klimatische Gegebenheiten berücksichtigen (Kaltluftabflüsse, Luftleitbahnen, Hauptwindrichtungen)
geringe klimatisch-lufthygienische Ausgleichsfunktion	Kommt im Untersuchungsgebiet nicht vor
Siedlungsflächen	
hohe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung und Siedlungserweiterung	bei lockerer Bebauung: günstige Siedlungsstrukturen erhalten, möglichst keine Siedlungsverdichtung zulassen, vorhandene Luftleitbahnen erhalten bzw. ausbauen bei verdichteter Bebauung: keine weitere Versiegelung zulassen, Reduktion der Emissionen, Erhöhung des Vegetationsanteils, Blockinnenhofentkernung und –begrünung, Dach- und Fassadenbegrünung
mittlere Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung und Siedlungserweiterung	maßvolle Nachverdichtung möglich, Neuversiegelung durch Dach- und Fassadenbegrünung sowie Begrünung von Straßenräumen und Blockinnenhöfen ausgleichen, Reduktion vorhandener bzw. weitest gehende Vermeidung zusätzlicher Emissionen
geringe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung und Siedlungserweiterung	Siedlungsverdichtung und -erweiterung möglich, bei Neuplanungen geringen Flächenverbrauch, energieoptimierte Bauweise und umweltfreundliche Infrastruktur (Energieversorgung, Verkehrsanbindung) anstreben
Vorbelastungen und Konflikte	
Straßen mit hohem bis extrem hohem Verkehrsaufkommen	Reduktion von Emissionen durch Verkehrsverminderung, Geschwindigkeitsbeschränkung und Verkehrslenkung (Ampelschaltung, Parkleitsysteme)

	Planungsempfehlung / Entwicklungsziel
Schadstoffbelastete lokale Luftleitbahn	Schadstoffeinträge in Luftleitbahn vermindern (Emissionsreduzierung, Immissionsschutzmaßnahmen), Entsiegelungsmaßnahmen vorsehen, Randbereiche begrünen
Luftaustausch	
Regionale Luftleitbahn	Erhalt, keine Bebauung und Versiegelung, Schadstoffeinträge vermeiden, keine flächigen Aufforstungen, niedrige lineare Gehölzstrukturen oder kleine Baumgruppen sind vertretbar
Lokale Luftleitbahn	Erhalt, Ausbau durch Rücknahme bzw. Auflockerung der Randbebauung anstreben, keine flächigen Aufforstungen, niedrige lineare Gehölzstrukturen oder kleine Baumgruppen sind vertretbar
Nächtlicher Bergwind aus dem Wienerwald	keine Bebauungsverdichtung im Bereich der Hauptabflussbahn
Intensiver/Verzögerter nächtlicher Kaltluftabfluss	Freihalten der Abflussbahn von Bebauung, von riegelförmiger Bepflanzung und von Emittenten
Flächenhafte nächtliche Kaltluftabflüsse an Hängen	Freihalten der Hangflächen von Bebauung, von riegelförmiger Bepflanzung und von Emittenten
Kaltluftsammlgebiete	Schadstoffeinträge vermeiden bzw. vermindern, keine frostempfindlichen Kulturen, Waldanteil erhöhen
Sonstige klimarelevante Flächen	
Wasserflächen > 1 ha	Erhalt, in der Übergangszone zum Gewässer Bebauung vermeiden bzw. auflockern
Sonderflächen	Begrünung mit Bäumen und Sträuchern

Tab. 7: Maßnahmen für die Handlungsfelder Emission/Immission und Vegetation (Quelle: BKR 1995, verändert)

Handlungsfeld Emission/Immission	
<i>Planung und Baugenehmigung</i>	<i>im Bestand</i>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Energieeinsparung durch Bereitstellung umweltverträglicher Energieträger, wie regenerative Energien, Kraft-Wärme-Kopplung, Fern- und Nahwärmenetze ▪ Einschränkungen bei der Kfz-Nutzung und Förderung von Alternativen ▪ Ausschluss emittierender Betriebe in empfindlichen Gebieten ▪ räumliche Zuordnung von Emittenten und empfindlichen Nutzungen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Energieeinsparung durch Sanierung von Gebäuden, Erneuerung von Heizungsanlagen, Abwärmenutzung und Ersatz konventioneller Energiebereitstellung durch Kraft-Wärme-Kopplung oder Fernwärme ▪ Einschränkung des Kfz-Verkehrs ▪ Berücksichtigung bei Verkehrsplanungen ▪ Tempolimit, Einrichtung von Tempo-30-Zonen ▪ Förderung umweltverträglicher Alternativen zum Kfz-Verkehr ▪ Reduktion gewerblich-industrieller Emissionen
Handlungsfeld Vegetation	
<i>Planung und Baugenehmigung</i>	<i>im Bestand</i>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dach- und Fassadenbegrünung ▪ Bepflanzung nicht bebauter Grundstücksflächen ▪ Sicherung von Grünflächenanteilen im B-Plan ▪ Sicherung und Gestaltung von Freiflächen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dach- und Fassadenbegrünung ▪ Hofbegrünung im Zusammenhang mit Entsiegelungsmaßnahmen ▪ Sicherung bestehender Vegetationsbestände ▪ Begrünung von Straßenraum, Stellplätzen, öffentlichen Plätzen und Gebäuden

9 Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht dokumentiert den Abschluß der Stadtklimauntersuchung Wien. Die Untersuchung umfaßt die Darstellung und Bewertung der klimatischen und lufthygienischen Ist-Situation auf der Grundlage umfangreicher meteorologischer und lufthygienischer Datenreihen sowie einer Thermalscannerbefliegung, die am 15./16.08.2001 über dem Gebiet der Stadt Wien durchgeführt wurde.

Wichtigste Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung sind die **Klimafunktionskarte**, die eine flächendeckende, detaillierte Darstellung der thermischen und dynamischen Verhältnisse des klimatischen Ist-Zustandes zeigt, sowie die **Bewertungskarte Klima/Luft**, die bestehende Belastungen verdeutlicht und eine qualitativ abgesicherte Beurteilung von Planungsvorhaben ermöglicht. Darüber hinaus wurden alle Informationen für das **Geographische Informationssystem (= GIS) Arc-View** aufbereitet und zusammengefasst, so dass ein Benutzer in der Lage ist, die verschiedenen klimatischen und lufthygienischen Aspekte in unterschiedlichen Maßstäben zu visualisieren und mit anderen Datenebenen zu überlagern.

Kapitel 1 und 2 stellen den Inhalt der Untersuchung, ihre Vorgehensweise und die zur Verfügung stehenden Datengrundlagen vor. Angaben zur klimatischen und lufthygienischen Einordnung finden sich in Kapitel 3. Zusammen mit den Ergebnissen der Thermalscannerbefliegung (Kapitel 4) bildet die Auswertung und Darstellung langjähriger meteorologischer Datenreihen und des meteorologischen Bodenmessprogramms (Kapitel 5) die Grundlage für die Erstellung der Klimafunktionskarte, die in Kapitel 6 erläutert wird. Auf der Klimafunktionskarte werden räumliche Einheiten mit ähnlichen klimatisch-lufthygienischen Verhältnissen zu sogenannten „Klimatopen“ zusammengefasst. Daneben zeigt sie die wesentlichen Elemente der Belüftung für die Stadt Wien. Die Klimafunktionskarte gibt in erster Linie die Verhältnisse während autochthoner Wetterlagen, also windschwacher austauscharmer Hochdruckwetterlagen wieder. Über die Darstellung der Luftleitbahnen werden jedoch auch die auf alle Wetterlagen bezogenen, langjährigen mittleren Windverhältnisse berücksichtigt.

Die Bewertungskarte Klima/Luft (Kapitel 7) verknüpft die klimatische Ist-Situation, basierend auf der Klimafunktionskarte mit den lufthygienischen Verhältnissen im Untersuchungsgebiet. Im Gegensatz zur weitgehend wertfreien Darstellung auf der Klimafunktionskarte werden auf der Bewertungskarte die Freiflächen hinsichtlich ihrer klimatisch-lufthygienischen Ausgleichfunktion und die Siedlungsflächen hinsichtlich ihrer Empfindlichkeit gegenüber einer Siedlungsverdichtung oder -erweiterung in mehrere Klassen eingeteilt. Die Luftleitbahnen werden differenziert in weitgehend unbelastete und schadstoffbelastete Bahnen. Dargestellt sind außerdem die Straßen mit hohem bis extrem hohem Verkehrsaufkommen und somit hoher lufthygienischer Belastung. Darauf aufbauend wurden Planungsempfehlungen bzw. Erhaltungs- und Entwicklungsziele erarbeitet, die in Kapitel 8 beschrieben werden.

10 Glossar

Allochthone Wetterlagen - meist mit Tiefdruckgebieten und kräftigem Wind verbundene Wetterlagen, in denen die Fremdeinflüsse überwiegen.

Advektion - bezeichnet die horizontale Zufuhr von Luftmassen.

antizyklonal, Antizyklone - wanderndes Hochdruckgebiet; Hochdruckeinfluss.

Ausstrahlung - bezeichnet die Wärmeabgabe der Erdoberfläche und der Atmosphäre an den Weltraum in Form von langwelliger Strahlung.

Autochthone Wetterlagen - windschwache Hochdruckwetterlagen mit Dominanz der lokalen Einflüsse, also quasi "hausgemachte" Wetterlagen.

Bioklimatische Bewertung - beschreibt den Einfluß von Wetter, Witterung und Klima auf den Menschen.

Biometeorologie - Wissenschaft von den direkten und indirekten Einflüssen der Atmosphäre auf den Menschen und andere Lebewesen.

Eistage - Tage mit Dauerfrost, das heißt die Temperatur bleibt 24 Stunden unter 0°C.

Emission - bezeichnet die von einer (festen oder beweglichen) Anlage oder Produkten an die Umwelt abgegebenen Luftverunreinigungen, Geräusche, Strahlen, Wärme (z. B. Abwärme von Kühltürmen), Erschütterungen und ähnliche Erscheinungen.

Flurwind - bodennahe auf das Wärmezentrum ausgerichtete Kalt- und/oder Frischluftströmung, die aufgrund von Lufttemperatur- und somit Druckunterschieden zwischen Stadt und Umland hervorgerufen wird; tritt vornehmlich bei autochthoner Witterung auf.

Frosttage - Tage, an denen das Thermometer zeitweise unter 0°C sinkt.

Großwetterlage - großräumiges Wettergeschehen mit der Tendenz, sich jahreszeitlich oder jährlich zu wiederholen.

Heiße Tage - Tage mit einem Höchstwert der Temperatur von mindestens 30 °C.

Heiße Nächte – Tage, an denen die Temperatur um Mitternacht noch über 20 °C liegt.

Heizgradtage - Tage mit einer Tagesmitteltemperatur von 15 °C.

Immission - bezeichnet die Einwirkung von Luftverunreinigungen, Geräuschen, Erschütterungen, Strahlen, Wärme u.a. auf Menschen, Tiere, Pflanzen und Sachgüter.

Inversion - eine Schicht der Atmosphäre, in der die Temperatur im Gegensatz zum Normalverlauf mit zunehmender Höhe zunimmt. Das Auftreten von Inversionen ist abhängig von meteorologischen, teilweise auch von geographischen Faktoren und der Zeit (Jahres- und Tageszeit).

Kaltluft - Luft, die aufgrund ihres Energieumsatzes an der Erdoberfläche kälter ist als ihre Umgebungsluft.

Kaltluftbildung - infolge der Ausstrahlung kühlt sich nachts der Erdboden und damit auch die darüberliegende Luftschicht lokal ab, so daß es zur Bildung einer bodennahen Kaltluftschicht kommt. Neben den Strahlungsbedingungen ist die Bildung lokaler Kaltluft abhängig von Bewuchs, Form, Exposition und Albedo der Erdoberfläche.

Kelvin - Temperaturdifferenzen werden in der Wissenschaft übereinstimmend in Grad Kelvin angegeben. Die Kelvinskala ist die auf den absoluten Nullpunkt bezogene Temperaturskala mit gleichen Gradabständen wie die Celsiuskala, d.h. 0 Kelvin = -273,15 °C, eine Temperaturdifferenz von 1 Kelvin entspricht einer Differenz von 1 °C.

Klima - beschreibt den langfristigen Aspekt des Wetters an einem bestimmten Ort der Erdoberfläche.

Konvektion - bezeichnet das Aufsteigen erwärmter Luft bei gleichzeitigem Absinken kälterer Luft in der Umgebung.

Landregen - mehrere Tage anhaltende, mäßig starke Regenfälle, die durch das Aufgleiten warmer Luft auf kühlere Luft ausgelöst werden.

Lee - die vom Wind abgewandte Seite.

Lokale Windsysteme - thermisch bedingte lokale Windsysteme entstehen durch die unterschiedliche Erwärmung der Erdoberfläche und die dadurch erzeugten horizontalen Temperatur- und Luftdruckunterschiede in einem begrenzten Raum. Zu den lokalen Windsystemen zählen Land- und Seewinde, Berg- und Tal- bzw. Talab- und Talaufwinde, Hangauf- und Hangabwinde sowie Flurwinde.

Luftdruck - Druck der Atmosphäre auf jeden Ort der Erdoberfläche. Der Luftdruck nimmt mit der Höhe ab. Die Luftdruckverteilung ist ein wesentlicher Anhaltspunkt für die Beurteilung der Wetterentwicklung.

Luftfeuchtigkeit - ist eine Bezeichnung für den Wasserdampfgehalt der Luft. Luft kann bei einer bestimmten Temperatur nur eine bestimmte Menge Wasserdampf aufnehmen, je höher die Temperatur ist, desto mehr Wasserdampf kann sie enthalten. Enthält Luft einer bestimmten Temperatur den maximal möglichen Wasserdampf spricht man von Sättigung.

Luftreinhaltung - umfaßt alle Maßnahmen, um die durch die Emission von Luftverunreinigungen zu erwartenden Beeinträchtigungen der Umwelt zu verhindern oder in vorgegebenen Grenzen zu halten.

Luv - die dem Wind zugewandte Seite.

Schwachwind - bezeichnet im allgemeinen mittlere Windgeschwindigkeiten unter einem festgesetzten Grenzwert von 1,5 m/s gemessen in 10 m über Grund.

Sommertag - Tage mit einem Höchstwert der Temperatur von mindestens 25 °C.

Strahlungsnacht - Nacht, in der aufgrund der meteorologischen Bedingungen einer Strahlungswetterlage oder durch Wolkenauflösung hinter einer Kaltfront die Wärmeausstrahlung erhöht ist, so daß die Lufttemperatur in den bodennahen Schichten stark absinkt und die Luftbewegung schwächer wird.

Strahlungswetterlage - Wetterlage, die im wesentlichen durch Strahlungsvorgänge geprägt ist. Charakteristisch für solche Wetterlagen sind ausgeprägte Tagesgänge der meteorologischen Elemente, große horizontale Unterschiede der Temperatur sowie die Ausbildung thermisch angeregter lokaler Windsysteme.

thermisch - die Wärme betreffend, durch Wärme verursacht.

Wärmeinsel - derjenige städtische Lebensraum, der gegenüber der Umgebung eine höhere Temperatur aufweist.

Wetter - der augenblickliche Zustand der Atmosphäre an einem bestimmten Ort, gekennzeichnet durch die meteorologischen Elemente Luftdruck, Lufttemperatur, Wind, Bewölkung, Niederschlag und Strahlung.

Witterung - der Ablauf des Wetters während eines mehrtägigen Zeitraumes.

zyklonal, Zyklone - wanderndes Tiefdruckgebiet; Tiefdruckeinfluss.

11 Literatur

- ADAM, K. (1988): Stadtökologie in Stichworten, Hirts Stichwortbücher.- CH-Unterägeri
- ALEXANDER, J. (1995): Bewertung von Klima und Luft bei Umweltverträglichkeitsprüfungen.- Meteorologische Zeitschrift, 4, S. 111-115
- AUER, I., BÖHM, R., MOHNL, H. (1989): Klima von Wien. Eine anwendungsorientierte Klimatographie. - Beiträge zur Stadtforschung, Stadtentwicklung und Stadtgestaltung, Band 20 - Wien.
- BKR - BÜRO FÜR KOMMUNAL- UND REGIONALPLANUNG (1995): Planungshandbuch Stadtklima zur Klimaanalyse der Landeshauptstadt Düsseldorf. Im Auftrag des Kommunalverband Ruhrgebiet.- Essen
- FRANKE, E. (Hrsg.) (1977): Stadtklima - Ergebnisse und Aspekte für die Stadtplanung. Eine Sammlung von Vorträgen eines Seminars der Württ. Verwaltungs- und Wirtschaftsakademie.- Stuttgart
- GERTH, W.-P. (1986): Klimatische Wechselwirkungen in der Raumplanung bei Nutzungsänderungen. - Berichte des Deutschen Wetterdienstes Nr. 171, Offenbach am Main
- HÄCKEL, H. (1993): Meteorologie, 3. Aufl.- Stuttgart
- HAUF, T. und WITTE, N. (1985): Fallstudie eines nächtlichen Windsystems. - Meteorolog. Rundschau 38.
- KOMMISSION REINHALTUNG DER LUFT (KRdL) IM VDI UND DIN (Hrsg.; 1993): Lufthygiene und Klima. Ein Handbuch zur Stadt- und Regionalplanung.- Düsseldorf
- KOMMISSION REINHALTUNG DER LUFT (KRdL) IM VDI UND DIN (Hrsg.; 1988): Stadtklima und Luftreinhaltung. Ein wissenschaftliches Handbuch für die Praxis in der Umweltplanung.- Berlin u.a.
- KUTTLER, W. (1991): Zum klimatischen Potential urbaner Gewässer.- In: SCHUHMACHER, H. und THIESMEIER, B. (Hrsg.): Urbane Gewässer.- Essen
- KUTTLER, W. (1993): Klimatische Bedeutung innerstädtischer Grün- und Wasserflächen.- In: SUKOPP, H. und WITTIG, R. (Hrsg.): Stadtökologie.- S. 144 - 148, Stuttgart u.a.
- MAYER H., BECKRÖGE W. u. MATZARAKIS A. (1994): Bestimmung von stadtklimarelevanten Luftleitbahnen.- In: UVP-report 5/94, S. 265-268
- NOACK, E.-M. u.a. (1986): Quantifizierung der Einflüsse von Bebauung und Bewuchs auf das Klima in der urbanen Biosphäre. Forschungsberichte des BMFT.- München
- STÄDTEBAULICHE KLIMAFIBEL (1998): Städtebauliche Klimafibel - Hinweise für die Bauleitplanung. Völlig überarbeitete Neuauflage und Zusammenführung der Städtebaulichen Klimafibeln Folge 1 und 2, hrsg. vom Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg.- Stuttgart
- VDI-RICHTLINIE 3787, Blatt 1 (Entwurf, Oktober 1994): Umweltmeteorologie. Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen. - Düsseldorf