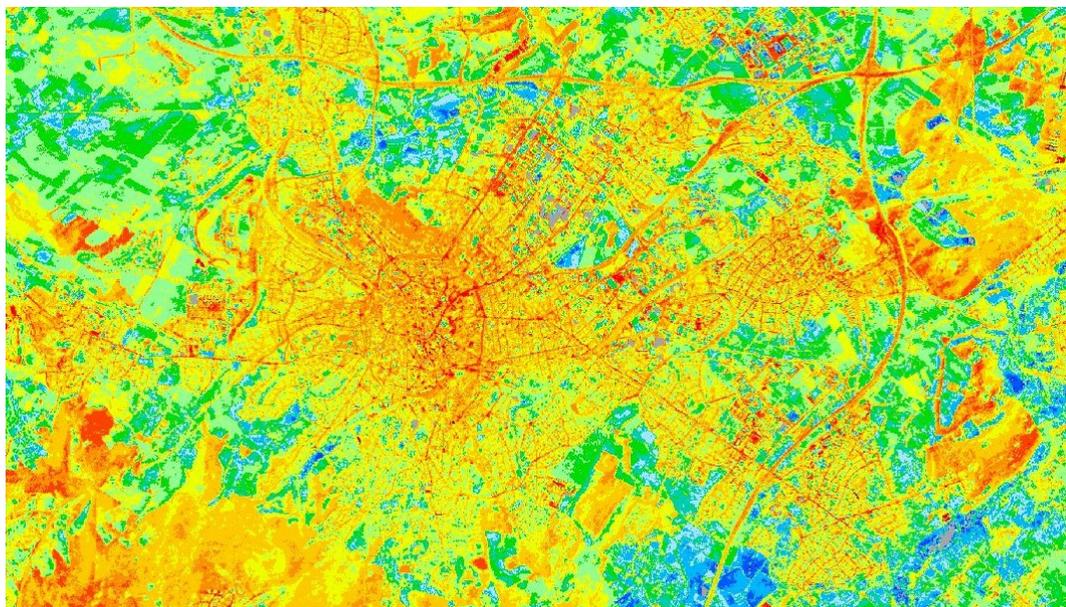
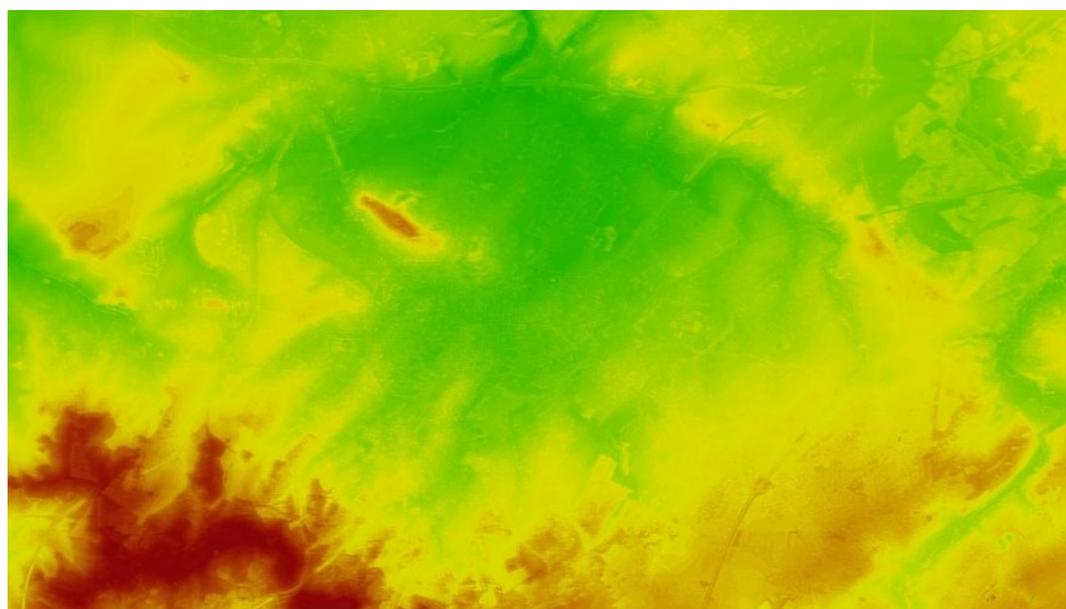


# GESAMTSTÄDTISCHES KLIMAGUTACHTEN

## AACHEN



Oberflächenstrahlungstemperaturen, Thermalbefliegung 23.9.98, 20.00 - 21.20 Uhr



Höhenverhältnisse, Radarbefliegung 21.7.98



Stadt Aachen, Fachbereich Umwelt (Herausgeber)



Steinicke & Streifeneder



Geographisches Institut

**BfU**

Büro für Umweltmeteorologie

# **GESAMTSTÄDTISCHES KLIMAGUTACHTEN**

## **AACHEN**

Auftraggeber:

Stadt Aachen, Fachbereich Umwelt

Bearbeiter:

Prof. Dr. D. Havlik, Dr. G. Ketzler M.A.

Mitarbeit:

Büro Steinicke & Streifender, Freiburg (Umweltuntersuchungen),  
Büro für Umweltmeteorologie, Paderborn (Bodenmeßprogramm),

T. Werner, A. Ehrig, H. Klimczak, C. Fehn, A. Flömer,  
R. Löhner (GIS, Kartographie, Layout und Grafik)

Aachen, Oktober 2000

# Inhaltsverzeichnis

(Seitenangaben mit führendem "A" verweisen auf den Anhang)

## Textband

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Abbildungen

Verzeichnis der Tabellen

Zusammenfassung (am Ende des Anhangs)

1. Einleitung.....	1
2. Derzeitiger Kenntnisstand.....	2
2.1. Geographische Ausstattung des Untersuchungsraums .....	2
2.1.1. Landschaftliche und naturräumliche Einordnung.....	2
Naturräumliche Gliederung .....	2
Reliefverhältnisse .....	4
2.1.2. Siedlungsgeographische Ausstattung und Flächennutzung .....	4
Siedlungsgeographische Ausstattung .....	4
Siedlungsstruktur.....	6
Versiegelungsgrad und Nutzungstypen.....	6
2.2. Klimatisch-lufthygienische Situation .....	8
2.2.1. Klimatische Einordnung des Untersuchungsgebiets .....	8
Großklimatische Lage.....	8
Langjährige Mittelwerte der Klimaelemente.....	9
Die Witterung während der Meßperiode im langjährigen Vergleich.....	12
2.2.2. Ergebnisse vorliegender Detailuntersuchungen .....	15
Klimauntersuchungen .....	15
Untersuchungen zur lufthygienischen Situation.....	20
Stadtökologischer Fachbeitrag.....	23
Sonstige Untersuchungen.....	23
3. Ergebnisse der stadtklimatologischen Untersuchungen .....	29
3.1. Meßprogramme und verwendete Daten.....	29
3.1.1. Temporäre Feststationen .....	29
3.1.2. Meßfahrten .....	30
3.1.3. Vertikalsondierungen .....	31
3.1.4. Rauchgasversuche .....	31
3.1.5. Thermalbefliegung .....	32
3.1.6. Radarbefliegung.....	32
3.1.7. Lufthygienische Untersuchungen .....	33
3.1.8. Screening .....	34
3.2. Ergebnisse der Meßprogramme.....	35
3.2.1. Temporäre Feststationen .....	35

Temperatur .....	35
Windverhältnisse .....	54
Feuchteverhältnisse .....	64
3.2.2. Meßfahrten .....	67
3.2.3. Vertikalsondierungen .....	69
3.2.4. Rauchgasversuche .....	70
3.2.5. Thermalbefliegung .....	72
Thermalkarte „Abendsituation“ .....	73
Thermalkarte „Morgensituation“ .....	75
Differenzkarte Abend / Morgen .....	76
Klassifizierte Thermalkarte .....	76
3.2.6. Lufthygienische Untersuchungen .....	82
Meßprogramm "Talkessel" .....	82
3.2.7. Screening .....	86
3.3. Untersuchungen zu Kaltluftbildung und - abfluß.....	87
3.3.1. Bodennaher Kaltluftabfluß.....	88
Vorgehensweise.....	88
Ergebnisse der GIS-Auswertung.....	90
3.3.2. Kaltluftströme nach Einzugsgebieten.....	92
"Bachtäler" .....	96
Einzugsgebiet der Inde.....	98
Einzugsgebiet des Haarbachs .....	98
Soers .....	98
Einzugsgebiet des Wildbachs .....	99
Einzugsgebiet des Amstelbachs .....	99
Einzugsgebiet des Senserbachs.....	100
4. Synthetische Klimafunktionskarte .....	101
4.1. Klimatope .....	101
4.1.1. Typ Siedlung.....	102
4.1.2. Typ Stadt.....	103
4.1.3. Typ Innenstadt.....	105
4.1.4. Typ Gewerbe- und Industriegebiet .....	107
4.1.5. Typ Park.....	109
4.1.6. Typ Wald.....	110
4.1.7. Typ Freiland.....	111
4.1.8. Typ Wasserfläche .....	112
4.2. Spezielle Klimafunktionen .....	112
4.2.1. Gebäudekomplexe.....	112
4.2.2. Siedlung im Freiraum.....	112
4.2.3. Gehölzbestand im Freiraum .....	113
4.3. Belüftungsfunktionen.....	113
4.3.1. Gebiete mit starker Ventilation .....	113
4.3.2. Lokaler Kaltluftabfluß an Hängen und in Mulden.....	114
4.3.3. Kaltluftströme in Tälern .....	114

4.3.4. Kaltluftstau .....	114
4.3.5. Kaltluftsammelgebiet.....	115
4.4. Lufthygiene.....	115
4.4.1. Industrieanlagen .....	115
4.4.2. Sonderflächen.....	115
4.4.3. Hauptverkehrsstraßen.....	115
4.4.4. Besonders belastete Straßenabschnitte .....	116
4.4.5. Bahnanlagen.....	117
4.4.6. Kurgebiete .....	117
5. Planungsempfehlungen .....	118
5.1. Allgemeine Planungsempfehlungen.....	118
5.2. Karte der Planungshinweise.....	120
5.2.1. Planungsempfehlungen für die Flächennutzungseinheiten .....	121
Ausgleichsraum der Freiflächen.....	121
Ausgleichsraum der offenen Grün- und Parkflächen .....	121
Ausgleichsraum Wald.....	122
Lastraum der Wohnsiedlungsgebiete .....	122
Lastraum des verdichteten Stadtbereichs .....	122
Lastraum des hochverdichteten Innenstadtbereichs.....	122
Lastraum der Gewerbe- und Industriegebiete .....	123
5.2.2. Planungsempfehlungen für die Belüftungsfunktionen.....	123
Empfehlungen zur Sicherung von Kaltluftproduktionsflächen.....	123
Kaltlufteinzugsgebiete mit besonderer Bedeutung.....	123
Siedlungsansätze begrenzen.....	124
Bebauungsgrenzen einhalten .....	124
Wald und Freiraum verzahnen.....	124
Empfehlungen zur Sicherung von Kaltluftabflußbahnen .....	124
Bedeutsame Kaltluftbahnen von Hindernissen freihalten.....	125
Bebauungsgrenzen streng einhalten.....	125
Strömungshindernisse minimieren .....	125
Negative Auswirkungen der Bebauung auf Kaltluftströme minimieren .....	125
5.2.3. Planungsempfehlungen für die Luftqualität.....	126
Gebiet mit flächenhaft hohem Emissionspotential .....	126
Gebiet mit flächenhaft ungünstigem Luftaustausch .....	126
Besonders immissionsbelastete Straßenabschnitte .....	127
Punkthafte Emissionen reduzieren .....	127
Kaltluftströme von Emissionen freihalten .....	127
5.2.4. Sonstige Empfehlungen .....	127
Kurgebiete.....	127
Aufenthaltsqualität verbessern.....	127
Literatur .....	128

<b>Anhang .....</b>	
Anhang I. Stationsbeschreibungen.....	A 1
Anhang II. Erläuterungen zum Betrieb der Temporärstationen .....	A 9
Anhang III. Erläuterungen zu den Meßfahrten .....	A 11
Anhang IV. Erläuterungen zu den Vertikalsondierungen.....	A 12
Anhang V. Erläuterungen zu den Rauchversuchen.....	A 41
Anhang VI. Erläuterungen zur Thermalscannerbefliegung.....	A 62
Anhang VII. Erläuterungen zur Radarbefliegung.....	A 63
Anhang VIII. Erläuterungen zur Bestimmung von Kaltluftflächen (GIS-Modell)..	A 69
Anhang IX. Spezielle Planungshinweise zu Einzelvorhaben.....	A 3
(Legenden zu den Kartenausschnitten: in der Anlage)	
Sonderuntersuchungsgebiet Adenauerallee.....	A 3
Sonderuntersuchungsgebiet Lichtenbusch.....	A 5
Sonderuntersuchungsgebiet Rothe Erde.....	A 7
Sonderuntersuchungsgebiet Schroufstraße .....	A 9
Sonderuntersuchungsgebiet Kalkofen.....	A 11
Sonderuntersuchungsgebiet Richterich – Nord .....	A 13
Sonderuntersuchungsgebiet Gemmenicher Weg .....	A 15
Sonderuntersuchungsgebiet Schurzelter Straße .....	A 17
Sonderuntersuchungsgebiet Breitbenden .....	A 19
Sonderuntersuchungsgebiet Stettiner Straße.....	A 21
Sonderuntersuchungsgebiet Grauenhofer Weg.....	A 23
Sonderuntersuchungsgebiet Brander Feld.....	A 25
Sonderuntersuchungsgebiet Kornelimünster.....	A 27
Sonderuntersuchungsgebiet Deltourserb .....	A 29
Sonderuntersuchungsgebiet Camp Pirotte.....	A 31
Sonderuntersuchungsgebiet Bahnhof West .....	A 33
Sonderuntersuchungsgebiet Hauptbahnhof .....	A 35
Anhang XI: Verzeichnis der Karten in der Anlage .....	A 89

## Abbildungsverzeichnis

(Seitenangaben mit führendem "A" verweisen auf den Anhang)

Abbildung 1: Naturräumliche Gliederung Aachen und Umland.....	3
Abbildung 2: Versiegelungsgrad.....	in der Anlage
Abbildung 3: Nutzungsstruktur.....	in der Anlage
Abbildung 4: Klimadaten ausgewählter Stationen .....	in der Anlage
Abbildung 5: Mittlere Windverhältnisse in Aachen.....	12
Abbildung 6: Städtische Abluftfahne.....	19
Abbildung 7: Emissionen / Immissionen .....	in der Anlage
Abbildung 8: CO <sub>2</sub> -Konzentrationen .....	in der Anlage
Abbildung 9: CO <sub>2</sub> -Konzentrationen im Untersuchungsgebiet Lousberg.....	
Abbildung 10: Ergebnisse der Flechtenkartierung .....	in der Anlage
Abbildung 11: Übersichtskarte.....	in der Anlage
Abbildung 12: Temperaturmittel der Meßstationen.....	36
Abbildung 13: Temperaturabweichungen [K] von der Station Hörn (Sommer) .....	39
Abbildung 14: Temperaturabweichungen [K] von der Station Hörn (Herbst) .....	40
Abbildung 15: Temperaturabweichungen [K] von der Station Hörn (Winter) .....	41
Abbildung 16: Abweichungen der Extremwerte vom Mittel.....	49
Abbildung 17: Temperaturänderungsraten an Aachener Stationen.....	51
Abbildung 18: Schema Windgeschwindigkeitsfaktoren	
Abbildung 19: Mittlere Geschwindigkeitsfaktoren während der Ballonsondierung.....	62
Abbildung 20: Ergebnisse der Meßfahrten .....	in der Anlage
Abbildung 21a - 21f: Vertikale Temperaturverteilung (Ballonsondierungen).....	A 18
Abbildung 22a-22f: Vertikale Windgeschwindigkeiten (Ballonsondierungen) .....	A 23
Abbildung 23a: Entwicklung der Emissionen in Deutschland 1988 - 1996 .....	83
Abbildung 23b: Entwicklung der Immissionen 1988 - 1996	
Abbildung 24: Höhenmodell aus Radar-Befliegung .....	in der Anlage
Abbildung 25a: Oberflächenstrukturen .....	in der Anlage
Abbildung 25b: Ausschnitt GIS-Auswertung.....	in der Anlage
Abbildung 26a - j: Ergebnisse der Kleinsondenmessungen.....	A 30
Abbildung 27a - q: Abbildungen zu den Sonderuntersuchungsgebieten .....	A 3-A 88
Abbildung 28a - l: Ergebnisse der Rauchversuche	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>

Klimafunktionskarte.....	in der Anlage
Karte der Planungsempfehlungen .....	in der Anlage
Thermalkarte I. - Abendbefliegung .....	in der Anlage
Thermalkarte II. - Morgenbefliegung .....	in der Anlage
Thermalkarte III. - Temperaturdifferenzen .....	in der Anlage
Thermalkarte IV. - Klassifizierte Thermalkarte .....	in der Anlage
3D-Radarbild.....	in der Anlage

## Tabellenverzeichnis

(Seitenangaben mit führendem "A" verweisen auf den Anhang)

Tabelle 1: Flächennutzung im Stadtgebiet von Aachen .....	5
Tabelle 2: Klimatologische Werte für die Station Aachen-Wetterstation .....	10
Tabelle 3: Abweichung von Klimawerten im Untersuchungszeitraum.....	12
Tabelle 4: Stadtklimatologische Einordnung der Meßstandorte.....	24
Tabelle 5: Stationsnetz .....	29
Tabelle 6: Temperaturverhältnisse im Stadtgebiet von Aachen 04/98 bis 03/99 .....	36
Tabelle 7: Temperaturverhältnisse an den Meßstationen.....	A 5
Tabelle 8: Zahl der Besonderen Tage im Zeitraum 04/98- 03/99 .....	43
Tabelle 9a: Temperaturinversionen zwischen den temporären Feststationen Aachen-Mitte und Tour Baudouin im Untersuchungszeitraum.....	46
Tabelle 9b: Temperaturinversionen zwischen der temporären Feststation Recyc- linghof und der Station Hörn im Untersuchungszeitraum.....	47
Tabelle 9c: Temperaturinversionen zwischen den temporären Feststationen Korneli- münster und Brand im Untersuchungszeitraum.....	47
Tabelle 10: Klimatopzuordnung nach Temperaturverhältnissen.....	53
Tabelle 11: Windgeschwindigkeiten an den Meßstationen .....	A 6
Tabelle 12: Mittlere Windgeschwindigkeiten im Stadtgebiet Aachen ( $\text{m sec}^{-1}$ ) nach Wetterlagen im Untersuchungszeitraum 04/1998 bis 03/1999 .....	55
Tabelle 13: Windrichtungen an den Meßstationen.....	A 6
Tabelle 14: Windgeschwindigkeitsfaktoren.....	58
Tabelle 15: Dampfdruck im Stadtgebiet von Aachen [hPa] im Untersuchsungs- zeitraum 04/1998 bis 03/1999 .....	65
Tabelle 16: Luftfeuchte an den Meßstationen.....	A 8
Tabelle 17: Zahl der Tage mit Schwüle (Kriterium Dampfdruck $\geq 18,8$ hPa) im Stadt- gebiet von Aachen April 1998 bis März 1999 .....	66
Tabelle 18: Zusammenhang Nutzung - Klimatopklassen.....	78
Tabelle 19: Übersicht über Kaltluftströme im Stadtgebiet.....	93



## 1. Einleitung

Im Herbst 1997 gab der heutige Fachbereich Umwelt der Stadt Aachen - Abteilung Luftreinhaltung, Energie- und Immissionsschutz - ein gesamtstädtisches Klimagutachten Aachen in Auftrag. Die vorzulegenden Materialien und Analysen sollen die Kenntnisse über die klimatische Struktur Aachens erweitern und es den Planungsbehörden und politischen Entscheidungsträgern ermöglichen, in ihre Arbeit auch klimatologische Gesichtspunkte mit einzubeziehen. Dies erscheint nicht zuletzt angesichts der Position Aachens als "Ökologische Stadt der Zukunft" von der Sache her geboten.

Die Untersuchungen vor Ort wurden im wesentlichen zwischen April 1998 und März bzw. Juni 1999 von einer Arbeitsgemeinschaft durchgeführt. Die Aufstellung von 11 der insgesamt 12 temporären Feststationen (Registrierung von Lufttemperatur, Relativer Luftfeuchte, Windrichtung und -geschwindigkeit), sowie die Durchführung der Meßfahrten und Rauchgasversuche oblag dem Büro für Umweltmeteorologie, Paderborn (Dipl.-Met. Bangert).

Die Vertikalsondierungen vom Elisengarten (Stadtmitte) bzw. von Sief aus wurden von der Universität/Gesamthochschule Essen - Abteilung Landschaftsökologie (Prof. Dr. Kuttler) bzw. von der Universität Trier - Geographisches Institut, Abteilung Klimatologie - (Prof. Dr. Helbig) ausgeführt. Die Registrierungen vom Flugzeug aus (Thermalbefliegungen, Radarbefliegung) fanden unter Leitung der Fa. Steinicke und Streifeneder - Umweltuntersuchungen - Freiburg i. Br. statt. Diese stellte auch die entsprechenden Thermalkarten sowie die Ausfertigung der Klimafunktionskarte und der Karte der Planungsempfehlungen im Maßstab 1:15.000 her; W. Steinicke steuerte zudem die Interpretation der Thermalbilder bei. Die Betreuung der Basismeßstation Hörn, Auswertung und zusammenfassende Darstellung sämtlicher Registrierungen, Herstellung der übrigen diesem Gutachten beiliegenden Karten, textliche Gestaltung sowie die übrigen Arbeiten wurden von der RWTH Aachen - Geographisches Institut, Physische Geographie - (Prof. Dr. Havlik und Dr. Ketzler) durchgeführt.

## 2. Derzeitiger Kenntnisstand

### 2.1. Geographische Ausstattung des Untersuchungsraums

#### 2.1.1. Landschaftliche und naturräumliche Einordnung

##### Naturräumliche Gliederung

Das heutige Stadtgebiet von Aachen liegt im Grenzbereich zweier Großlandschaftseinheiten Mitteleuropas, der zentraleuropäischen Mittelgebirgsschwelle im S und dem nördlich anschließenden Norddeutschen Tiefland. Auf Grund starker tektonischer Beanspruchung des Aachener Raumes ist diese Grenze morphologisch hier nicht scharf ausgeprägt. Aachen hat deshalb Anteil an mehreren sog. Naturräumlichen Einheiten (Abb. 1).

Ganz im Süden greift das Stadtgebiet zungenförmig in den Naturraum *Vennabdachung* hinein. Es ist dies der geradlinig in SW - NE – Richtung verlaufende getrepte („Himmelsleiter“) Nordostrand des Hohen Venns als Teil des Rheinischen Schiefergebirges. In diesem geschlossen bewaldeten Gebiet („Münsterwald“) befindet sich im äußersten Südosten der Stadt der höchste Punkt Aachens (410 m ü.NN)

Der nordwestlich anschließende Naturraum *Vennfußfläche* ist mit dem auf deutschem Staatsgebiet gelegenen Münsterländchen der dem Naturraum Vennabdachung vorgelagerte Teil des Venn-Vorlandes. Die überwiegend grünlandgenutzten Parzellen sind häufig durch Hecken begrenzt. Die Oberfläche ist mäßig reliefiert, nur entlang von Inde und Iterbach treten stärkere Erosionskerben auf. Die Vennfußfläche dacht sich von ca. 300 m ü. NN auf etwa 250 m ü. NN im Norden ab.

Nach Norden schließt sich das *Aachen-Limburger Hügelland* an, das auf deutschem Gebiet auch als Aachener Hügelland bezeichnet wird. Seinen Südwestteil bildet der Aachener Wald, eine geschlossen bewaldete plateauartige Vollform mit höchsten Erhebungen von etwa 350 m ü. NN. Insbesondere in seinem Nordteil ist der Aachener Wald erosiv stark zergliedert. An seinem Fuße wurden über eingelagerten Tonhorizonten mehrere Stauweiher angelegt. Den Zentralbereich dieses Naturraumes bildet der Aachener Kessel, eine rundliche, gegenüber ihrer Umgebung knapp 100 m (im N, Berensberg) bis fast 200 m (im S, z.B. Brandenburg im Aachener Wald) tiefergelegene, weitgehend geschlossene Hohlform. Sie wird nördlich der heutigen Innenstadt durch einen NW-SE streichenden Höhenzug (Lousberg, Salvatorberg, Wingertsberg) untergliedert. Der Südteil des Kessels ist durch mehrere „Bachtäler“ und dazwischen gelegene Riedel morphologisch stärker gegliedert, während nördlich des Höhenzuges in der wenig reliefierten Soers eine solche Differenzierung weitgehend fehlt. Am Nordrand der Soers befindet sich an der Wolfsfurth im Wurmtal mit 138 m ü.M. der tiefstgelegene Punkt des Kessels. Die skizzierte naturräumliche Ausstattung des Aachener Kessels bedingt - vor allem bei austauscharmer, windschwacher Strahlungswitterung – bedeutende lokalklimatische Phänomene, die im einzelnen Gegenstand der vorliegenden Untersuchung sind.

Nördlich des Aachener Kessels schließt sich die Bördenlandschaft an, auf deutschem Staatsgebiet die *Jülicher Börde* und - westlich anschließend - die *Limburger Börde*. Das Stadtgebiet von Aachen hat mit seinen Ortslagen Horbach, Vetschau, Orsbach und dem Stadtteil Richterich daran Anteil. Charakteristisch für diesen Naturraum sind Lößlehmböden, auf denen überwiegend Ackerbau (häufig Weizen, Zuckerrüben) betrieben wird. Auf Grund des meist wenig ausgeprägten Reliefs und nur lokal vorhandener Baumvegetation zeichnet sich dieser Naturraum vor allem durch freie Windexposition aus. Deshalb wurden hier einige Windkraftanlagen installiert. Nur der äußerste Norden des Aachener Bördenanteils ist durch den Amstelbach im N von Horbach mäßig zertalt. Hier liegt an der Bundesgrenze der tiefste Punkt des Stadtgebietes (125 m ü. M.).

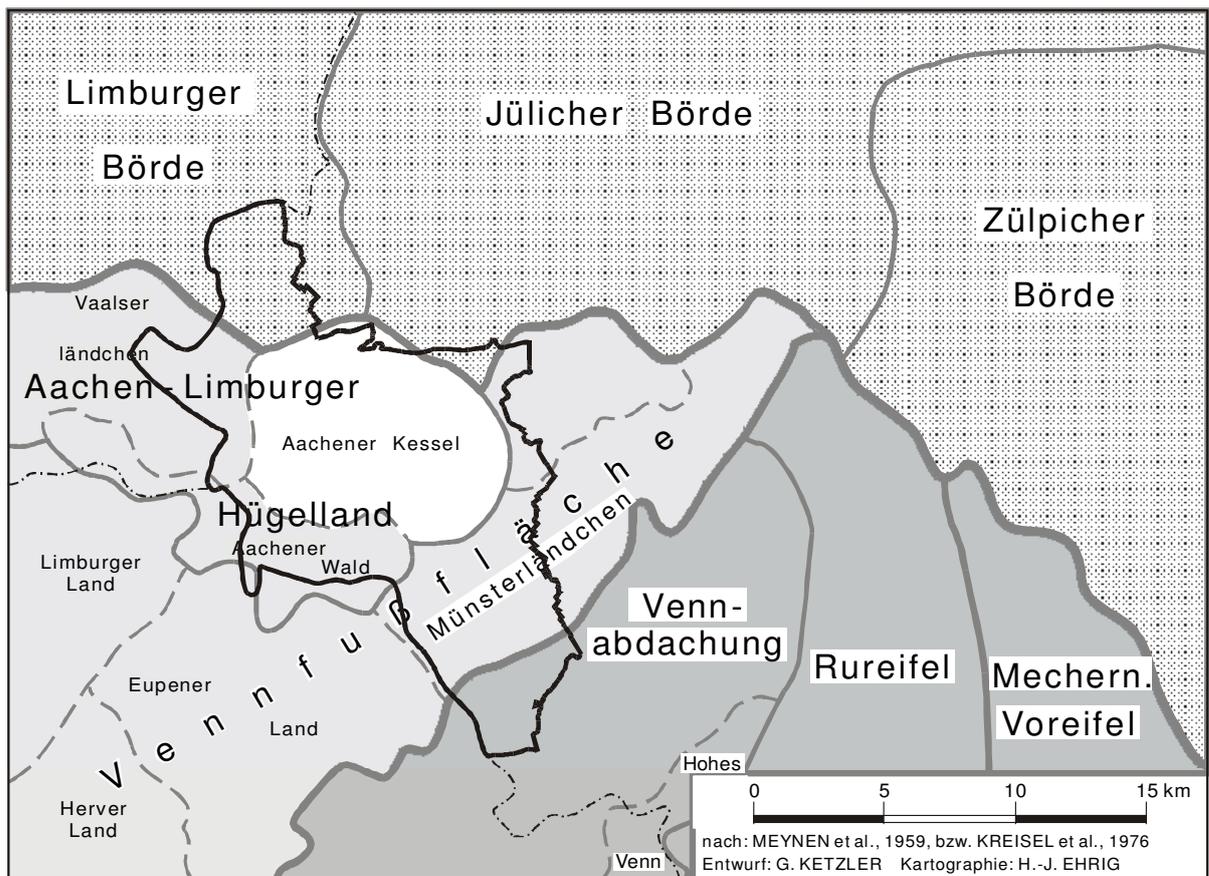


Abbildung 1: Naturräumliche Gliederung Aachen und Umland

## **Reliefverhältnisse**

Der Südteil des Stadtgebiets gliedert sich - abgesehen von der 'schiefen Ebene' der Vennabdachung beiderseits der B 258 ('Himmelsleiter') - in wellige Flächen bei einer Höhenlage zwischen 250 m ü.NN und 300 m ü.NN und den bis über 50 m eingetieften Talzügen der Inde und ihrer Nebenbäche. Diese Täler stellen im Bereich der Oberläufe der Gewässer flache Mulden dar; zwischen den Ortsteilen Walheim, Hahn und Kornelimünster sind sie teilweise als Engtalstrecken ausgebildet, während der Talabschnitt der Inde im Bereich der Stadtgrenze wieder deutlich aufgeweitet ist.

Der Aachener Kessel weist im Südteil relativ große Höhenunterschiede auf relativ kleinem Raum auf (Kaiserplatz: 158 m ü.NN bzw. Steinknipp [am ehem. Pelzerturm]: 359 m ü. NN; dies entspricht einer Höhendifferenz von 201 m). Der größte Teil der Höhendifferenz entfällt dabei auf den Anstieg des Aachener Waldes (z.B. 220 m ü.NN bei Grundhaus an der Lütticher Straße und 340 m ü.NN an Kronprinzenrast bei einer Horizontal-Entfernung von ca. 700 m). Die am Südrand des Kessels gelegene Abfolge von kleinen Tälern ('Bachtäler') und Riedeln weist Höhenunterschiede zwischen Talboden und Talschulter von jeweils ca. 20-40 m auf. Der Nordteil des Aachener Kessels ist weniger stark gegliedert (140 m ü.NN an der Kläranlage Soers und 263 m ü.NN auf dem Lousberg bzw. 240 m ü.NN am Haarberg).

Der Nordteil des Stadtgebiets, der zu den Börden zu rechnen ist oder zu den Börden überleitet, ist insgesamt wenig gegliedert; die Höhenunterschiede betragen selten mehr als 20-40 m über kurze Strecken. Die maximale Höhendifferenz ist allerdings auch in diesem Bereich nicht zu vernachlässigen (125 ü.NN im Amstelbachtal und 237 ü.NN am Vetschauer Berg, allerdings bei einer Horizontal-Entfernung von 6 km).

### **2.1.2. Siedlungsgeographische Ausstattung und Flächennutzung**

#### **Siedlungsgeographische Ausstattung**

Die kreisfreie Stadt Aachen umfaßt eine Fläche von etwas mehr als 16.000 ha und zählte am 31. Dez. 1997 insgesamt ca. 253.000 Einwohner. Rechnerisch ergibt sich daraus eine Einwohnerdichte von knapp 16 EW/ha. Für das gesamte Stadtgebiet stellt sich die Flächennutzung entsprechend Tabelle 1 dar (Stand Ende 1997).

Einwohnerdichte und Anteil der versiegelten Fläche am Gesamtareal (ca. 33 %) sind für eine Stadt dieser Größenordnung als eher gering zu bezeichnen. Die regionale Verteilung der beiden vorgenannten Größen hat politisch-historische Ursachen. ‚Alt Aachen‘ war Ende des 19. Jahrhunderts etwa 3.000 ha groß und erweiterte seine Fläche durch Eingemeindung von Burtscheid (1897), Forst (1906) sowie Einverleibung von Sief und Lichtenbusch (1922) auf fast das Doppelte. Als Folge der Kommunalen Neugliederung von 1972 wurde die Stadtfläche schließlich um etwa den Faktor drei, die landwirtschaftlich genutzte Fläche sogar um mehr als das Fünffache vergrößert. Einige der früher eingemeindeten Stadtteile und Ortslagen sind

bebauungsmäßig mit der Altstadt verbunden (z.B. die ‚Siedlungsachse‘ Forst-Brand-Freund-Niederforstbach im SE). Insbesondere in der im NE gelegenen Börde befinden sich jedoch verbreitet Siedlungsinseln, die von unbebautem Areal umgeben sind (z.B. Orsbach, Horbach). Im Bereich der Vennfußfläche ist dagegen bereits vereinzelt ein bauliches Zusammenwachsen der Siedlungen – entlang von Straßen – ansatzweise zu erkennen (z.B. Lichtenbusch-Oberforstbach, Schleckheim-Nütheim-Kornelimünster).

(Quelle: Der Oberbürgermeister der Stadt Aachen: Amt für Statistik und Wahlen: Statistisches Jahrbuch der Stadt Aachen 1997, Aachen 1998)

Flächennutzung	Fläche in (ha)	Fläche in %
Gebäude- und Freiflächen (incl. Vor- und Hausgärten, Stellplätze, Spielplätze, u.a.m.)	3.684	22,9
Verkehrsfläche	1.672	10,1
Betriebsfläche (Abbauland, Halden etc.)	115	0,7
Erholungsfläche	478	3,0
Landwirtschaftsfläche	6.799	42,3
Waldfläche	2.921	18,2
Wasserfläche	105	0,7
Sonstige Flächen (z.B. Friedhöfe, Ödland)	353	2,2
Summe	16.127	100

Tabelle 1: Flächennutzung im Stadtgebiet von Aachen (Dez. 1997)

Auch fast dreißig Jahre nach der Kommunalen Neugliederung sind in den damals eingemeindeten Stadtbezirken sowohl Flächenversiegelung als auch Einwohnerdichte deutlich geringer geblieben als im ‚Stadtbezirk Aachen‘. Die Bevölkerungsentwicklung verlief seit 1972 jedoch recht unterschiedlich. Stieg die Gesamteinwohnerzahl von Aachen zwischen 1972 und 1997 um etwa 13.000 ( $\cong 5\%$ ), so verringerte sie sich im ‚Stadtbezirk Aachen‘ um ca. 13.000 ( $\cong 7\%$ ), während die damals eingemeindeten Stadtbezirke einen Bevölkerungszuwachs von ca. 26.000 ( $\cong 40\%$ , bezogen auf 1972) verzeichneten. Die Einwohnerdichte blieb dennoch deutlich differenziert. Sie beträgt heute im Stadtbezirk Aachen 32 EW/ha und ist damit etwa viermal so groß wie diejenige im Durchschnitt der 1972 eingemeindeten Stadtbezirke (8 EW/ha).

Insgesamt ist in den eingemeindeten Stadtbezirken eher eine Vergrößerung der bebauten Fläche zu verzeichnen als eine nennenswerte Erhöhung des Versiegelungsgrades. Dieser liegt auch in den jeweiligen Kernen der Stadtteile und Ortslagen zwischen 10 und 45 %. Demgegenüber ist der Bereich ‚Alt Aachen‘ mit verbreitet mehr als 85 % extrem hoch versiegelt.

Neben der vorgenannten ‚Altstadt‘ weisen nur drei weitere größere Bereiche eine ähnlich extreme Versiegelung auf: es sind dies die beiden Gewerbe-/Industriegebiete zwischen Krefelder und Jülicher Straße sowie Rothe Erde. Das dritte Areal befindet sich in Freund zwischen Nordstraße und der ehemaligen Vennbahn-Trasse. ‚Camp Pirotte‘ wurde bis vor einigen Jahren überwiegend militärisch genutzt. Die zahlreichen neueren Gewerbegebiete weisen in der Regel einen Versiegelungsgrad zwischen 70 und 85 % auf und gelten damit als ‚stark versiegelt‘.

Die versiegelte Fläche hat in den letzten Jahrzehnten allerdings nicht unerheblich zugenommen : Zwischen 1972 und 1997, also in 26 Jahren, sind im gesamten Stadtgebiet knapp 1.100 ha  $\cong$  7 % des Gesamtareals durch bauliche Maßnahmen neu versiegelt worden (Stadt Aachen, 1998).

### **Siedlungsstruktur**

Während der zur Stadt Aachen gehörende Teil der Vennabdachung bis heute fast vollständig bewaldet und daher i.w. nicht besiedelt ist, verweist die Siedlungsstruktur der Vennfußfläche noch auf die früher dominierende landwirtschaftliche Nutzung. Auf deutscher Seite findet ein Flächenwachstum um alte Dorfkerne herum statt; auf belgischem Gebiet überwiegt die Tendenz zur Zersiedlung um ehemalige Einzelhöfe bzw. entlang von Straßen. Städtische Siedlungsstrukturen befinden sich lediglich außerhalb des Stadtgebiets am SW- bzw. NE-Rand der Vennfußfläche (Eupen bzw. Stolberg), wobei die Siedlungsentwicklung hier von Industriegassen in den Tälern von Weser bzw. Vicht ausging. Allerdings weist Kornelimünster einen kleinen Kernbereich mit (historischer) stadttypischer Bebauungsstruktur auf.

Die Siedlungsstruktur im Aachen-Limburger Hügelland ist sehr differenziert. Im zum Untersuchungsgebiet gehörenden Teil dieser Landschaftseinheit dominiert die Stadt Aachen als städtisches Zentrum, während die Entwicklung im belgischen Teil zur Zersiedelung tendiert (wie auf dem belgischen Teil der Vennfußfläche) und im niederländischen Teil ein Flächenwachstum um alte Dorfkerne festzustellen ist. Letzteres gilt auch für die Entwicklung der Siedlungen im Bereich der Börde. Die Höhenzüge des Aachener Waldes sind unbesiedelt geblieben.

Großräumig ist die Stadt Aachen im Süden und Westen von Gebieten mit überwiegend ländlichen Siedlungen bei teilweise recht geringer Siedlungsdichte und relativ großen Zwischenräumen umgeben. Im Norden und Osten schließt sich hingegen ein Verdichtungsraum aus einem Kranz von Mittelstädten an, die in einem unregelmäßigen Raster von ca. 5 x 5 km Abstand in einem NW-SE-verlaufenden Streifen mit einer Länge von ca. 25 km und einer Tiefe von ca. 15 km angeordnet sind. Es handelt sich um eine Verstädterungszone mit starkem Flächenwachstum, in der inzwischen nur noch mehr oder weniger breite Zwischenräume erhalten geblieben sind.

### **Versiegelungsgrad und Nutzungstypen**

Hinweise für die stadttypische Modifikation der Klimaelemente geben u.a. Karten der Oberflächenversiegelung und der Flächennutzungen. Für Teilgebiete der Stadt liegen Kartierungen des Versiegelungsgrades und der Nutzungstypen vor (STADT AACHEN, 1996b bzw. 1996c). Diese Karten wurden nicht unter klimatologischen Gesichtspunkten erstellt und mußten daher überarbeitet werden. Es verbleiben allerdings auch nach der Bearbeitung Unschärfen, die eine zuverlässige räumliche Abgrenzung klimawirksamer Struktureinheiten unmöglich machen.

Die Karte des Versiegelungsgrads basiert i.w. auf einer Erhebung auf Ebene von Häuserblocks, was für die großräumige klimatische Analyse günstig ist. Einige Angaben erschienen allerdings zweifelhaft. Die Karte konnte nicht grundsätzlich über-

arbeitet werden, wurde aber insofern modifiziert, als Bahnanlagen der Klasse 0-10 % statt 85-100 % zugeordnet wurden (vergl. Abb. 2 im Anhang).

Die städtische Nutzungstypenkartierung wurde auf Parzellenbasis mit einem Schlüssel durchgeführt, der für klimatologische Fragestellungen wenig geeignet ist. Von Belang wäre hier eine Klassifizierung, die großräumiger zum einen Baukörperstrukturen (Einzel-, Reihenhaus- oder Blockbebauung; Gebäudehöhen; Höhen-Abstands-Verhältnisse etc.) und zum anderen Besonderheiten der Energieumsätze (Baumaterialien; Energiebedarf etc.) sichtbar macht.

Um die vorliegenden Informationen soweit wie möglich verwenden zu können, wurde die Zuordnung der Teilflächen geändert und eine Generalisierung vorgenommen, die die Interpretation der Nutzungstypen auf kleinerer Maßstabsebene - i.w. auf Basis von Häuserblocks - ermöglicht (Erläuterungen zum Verfahren: siehe Stadtökologischer Fachbeitrag Klima/Lufthygiene; HAVLIK und KETZLER, 1996b).

Bei der Nutzungstypenkartierung wurden nur Teile der Stadt bearbeitet; um wenigstens den Bereich des Aachener Kessels vollständig zu erfassen, mußten daher einige Gebiete grob nachkartiert werden (vergl. Abb. 3 im Anhang).

## 2.2. Klimatisch-lufthygienische Situation

### 2.2.1. Klimatische Einordnung des Untersuchungsgebiets

#### Großklimatische Lage

Aachen liegt, wie Mitteleuropa insgesamt, im wechselseitigen Einflußbereich zweier steuernder Luftdruckgebilde, dem Subtropenhoch („Azorenhoch“) im Süden und dem Subpolartief („Islandtief“) im Norden. Im Gradientfeld dieser Steuerungszentren befindet sich – geostrophisch – die außertropische Westwindzone, in die vor allem in der unteren Troposphäre zwei unterschiedlich strukturierte Luftmassen eingespeist werden : auf der Nordflanke des Azorenhochs die warme – und nicht selten feuchte – Subtropikluft, auf der Südseite des Islandtiefs die kalte – und meist wasserdampfarme – Polarluft. Beide Luftmassen werden in der unteren Troposphäre in Zyklonen (Tiefdruckgebieten), deren Kerne in aller Regel weiter im Norden liegen, miteinander verwirbelt, bleiben jedoch entlang der Warm- bzw. Kaltfronten deutlich voneinander getrennt. Im Bereich der Westwindzone verlagern sich diese Tiefdruckgebiete ostwärts. Der Durchzug der Tiefdruckausläufer (etwa 140 im Jahr) ist mit ‚Wetterwechsel‘, reichlich Bewölkung, verbreitet auftretendem Niederschlag und nicht selten deutlich auffrischendem Wind verbunden.

Eine solche Konstellation bedeutet in der Regel ‚schlechtes‘ Wetter. Bioklimatisch ist das jedoch in mancherlei Hinsicht eher als günstig zu beurteilen. Es ist zwar allgemein mit wenig Sonnenschein und häufigem Niederschlag zu rechnen. Allerdings treten Wärme- und Schwülebelastung im Sommer, bzw. Kältereiz im Winter kaum einmal auf. Der nicht selten mit beachtlicher Geschwindigkeit wehende Wind vorwiegend aus westlichen Richtungen bringt wenig belastete Meeresluft in den Aachener Raum und sorgt stets für ausreichende Durchmischung der unteren Luftschichten in horizontaler und vertikaler Richtung. Daher können sich im bodennahen Bereich Schadstoffe nicht nennenswert anreichern. Dies ist in abgeschwächter Form auch bei kurzzeitiger Wetterwirksamkeit von sich rasch nach Osten verlagernden ‚Zwischenhochs‘ der Fall. Dauert eine derartige Situation mehrere Tage lang an, herrscht ‚Zyklonale Witterung‘ vor. Tagesgang und innerstädtische Differenzierung der Klimaelemente sind dann allgemein nur schwach ausgebildet (vgl. Kap. 3.2.1.).

Die außertropische Westwindzone verläuft nur selten breitenkreisparallel. Speziell über dem westlichen Mitteleuropa ist sie im Jahresmittel eher in WSW-ENE-Richtung ausgebildet. Daher ist in Aachen die absolut vorherrschende Windrichtung diejenige aus SW. Intensiviert wird diese Situation besonders dann, wenn sich Westmitteleuropa auf der Vorderseite eines über dem Ostatlantik weit äquatorwärts ausgreifenden Tiefdrucktroges befindet. Aachen liegt dann in einer süd- bis süd-/südwestlichen Luftströmung und damit im Lee von Eifel und Hohem Venn, was sich durch föhnartige Erscheinungen bemerkbar macht. Dann treten gelegentlich Föhnwolken im tiefen Stockwerk, sowie vor allem im Winterhalbjahr mitunter auch recht hohe Lufttemperaturen bei geringer Luftfeuchte auf. Diese Witterung ist jedoch

meist nur von kurzer Dauer und wegen der nur geringen Höhenunterschiede intensitätsmäßig mit dem bayerischen Alpensüdföhn in aller Regel nicht zu vergleichen.

Bei Hochdruckeinfluß bleibt es wegen großräumig geringer Luftdruckunterschiede dagegen allgemein eher schwachwindig. Insbesondere in der warmen Jahreszeit ist es dann überwiegend sonnig, so daß der Tagesgang vieler Klimaelemente nahezu ausschließlich durch Ein- und Ausstrahlung bestimmt wird. Auf Grund der Aachener Topographie ist ein vertikaler Luftaustausch vor allem während der Nachtstunden ganzjährig stark eingeschränkt bzw. gar unmöglich (Temperaturinversion). Eine solche Konstellation wird bei längerer Andauer als ‚Antizyklonale Witterung‘ bezeichnet. Sie ist meist mit ‚schönem‘ Wetter verbunden, im Sommer allerdings auch mit gelegentlicher Wärme- und Schwülebelastung. Tagesgang und innerstädtische Differenzierung der Klimaelemente sind allgemein sehr markant ausgebildet.

Eine Übersicht über die klimatischen Verhältnisse im regionalen Maßstab gibt Abbildung 4 (im Anhang).

### **Langjährige Mittelwerte der Klimaelemente**

In Aachen werden die Klimaelemente seit Juli 1901 an der heute vom Deutschen Wetterdienst betriebenen Station auf dem Wingertsberg, Pippinstraße 12, von hauptberuflich dort tätigem Personal registriert. Da sich seit Inbetriebnahme der Station weder deren Lage noch deren Umgebung geändert haben, ist die Aachener Meßreihe als absolut homogen zu betrachten. Als ‚langjährige Mittelwerte‘ gilt im folgenden die ‚Klimatologische Normalperiode‘ 1961 – 1990 (siehe Tab. 2 und 3). Die von der RWTH betriebene ‚Klimameßstation Hörn‘ ist in ihrer heutigen Form erst seit etwa 11 Jahren in Betrieb (vgl. Stationsbeschreibung im Anhang).

### **Lufttemperatur**

Mit + 9,7° C weist Aachen eine für deutsche Verhältnisse vergleichsweise hohe Jahresmitteltemperatur auf. Das ist im wesentlichen auf die wenig tiefen Wintertemperaturen zurückzuführen. Eine Mitteltemperatur des kältesten Monats (Januar) von + 2,4° C wird in Deutschland nur an wenigen tiefergelegenen Stadtstationen entlang der Rheinschiene zwischen Bonn und Duisburg noch übertroffen. Auch Frosttage (Minimum < 0° C) und Eistage (Maximum < 0° C) treten ausgesprochen selten auf. Andererseits ist die Mitteltemperatur des wärmsten Monats (Juli) mit + 17,3° C als eher niedrig zu bezeichnen. Das gilt auch für die Zahl der Sommer-tage (Maximum ≥ +25° C) und heißen Tage (Maximum ≥ +30° C). Als Folge davon treten Kältereiz und Wärmebelastung in Aachen vergleichsweise selten auf. Thermisch herrscht in Aachen ein ausgeprägt ‚ozeanisches‘ Klima. Eine Jahresamplitude (Differenz zwischen wärmstem und kältestem Monat) von nur 14,9 K wird selbst an der deutschen Nordseeküste (wegen der dort tieferen Wintertemperaturen) allgemein nicht erreicht (z.B. Norderney 15,2 K, List/Sylt 15,3 K).

	Jan	Feb	März	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Lufttemperatur [°C]	2,4	2,8	5,4	8,4	12,8	15,6	17,3	17,1	14,4	10,8	6,1	3,4	9,7
Eistage	4,7	3,2	0,5	-	-	-	-	-	-	-	0,6	3,5	12,5
Frosttage	12,5	12,5	0,1	2,0	0,0	-	-	-	-	0,5	5,0	11,4	51,7
Sommerstage	-	-	-	0,1	2,2	4,9	7,3	6,9	2,3	0,3	-	-	24,1
Heiße Tage	-	-	-	0,0	0,0	0,5	1,7	1,1	0,1	-	-	-	3,5
Sonnenscheindauer [h]	52	81	112	148	193	190	197	189	151	122	69	48	1552
Heitere Tage	2,3	3,4	3,2	3,4	3,1	2,4	3,4	3,6	3,7	4,0	2,5	2,2	37,3
Trübe Tage	17,5	13,8	13,8	12,1	11,1	10,8	10,8	8,9	9,7	11,3	15,0	17,7	152,5
Niederschlag [mm]	62	57	66	63	75	82	80	76	59	63	72	73	828
Zahl der Tage mit > 0,1 mm Niederschlag	20	16	17	17	17	16	14	14	14	15	18	19	197
Zahl der Tage mit > 1,0 mm Niederschlag	13	11	12	12	12	12	11	10	9	9	12	13	135
Zahl der Tage mit Schneedecke	8,4	8,2	3,6	0,5	0,0	-	-	-	-	0,0	1,9	5,3	28,0

Tabelle 2 : Klimatologische Werte für die Station Aachen-Wetterstation (1961-1990), nach verschiedenen Quellen

## Niederschlag

Mit einer Jahressumme von 828 mm liegt Aachen zwar über dem Gebietsmittel für Gesamtdeutschland (764 mm), jedoch knapp unterhalb des entsprechenden Wertes für die alten Bundesländer (839 mm). Allerdings treten im langjährigen Mittel 197 Tage mit Niederschlag auf, ein Wert, der in Deutschland unterhalb 300 m ü.M. flächenhaft nur im Bergischen Land und dem westlichen Sauerland noch übertroffen wird.

In den Sommermonaten sind die durchschnittlichen Niederschlagshöhen – bei geringerer Häufigkeit - größer als im Winter. So beträgt die mittlere Niederschlagsergiebigkeit pro Niederschlagstag z.B. im Juli 5,7 mm, gegenüber 3,1 mm im Januar. Das ist neben dem jahreszeitlich unterschiedlichen thermisch bedingten Wasserdampfgehalt der Luft insbesondere auch auf die mitunter recht ergiebigen sommerlichen Gewitterschauer zurückzuführen. Diese jahreszeitliche Differenzierung bezieht sich auch auf die extremen Niederschlagshöhen. Bezogen auf den Zeitraum 1951 – 1980 ist in den Monaten Mai bis September durchschnittlich einmal im Jahr mit einer Tagessumme von 36,2 mm zu rechnen, in den Monaten Oktober bis April dagegen nur mit 26,0 mm.

## Sonnenscheindauer, Bewölkung

Im Vergleich zu Gesamtdeutschland ist die jährliche Sonnenscheindauer von 1.552 Stunden als eher gering zu bezeichnen. Dem ‚ozeanischen‘ Klima entsprechend treten ‚Trübe Tage‘ (Bewölkungsmittel mindestens 6,4 Achtel, d.h.  $\geq 80$  % des Himmelsgewölbes sind mit Wolken bedeckt) mehr als viermal so oft auf wie ‚Heitere Tage‘ (durchschnittliche Himmelsbedeckung  $\leq 20$  %). Das ist insbesondere auf den Einfluß der häufig durchziehenden Tiefdruckausläufer zurückzuführen, die in der kalten Jahreszeit stärker wetterwirksam sind (z.B. Dezember 18 Trübe Tage) als insbesondere im Spätsommer (August 9 Tage).

## Wind

Nach Abb. 5 ist die im Raum Aachen absolut vorherrschende Windrichtung diejenige aus Süd bis West, mit deutlichem Maximum aus Südwest. Etwa 60 % aller Registrierungen entfallen auf diesen Quadranten. Insbesondere bei höheren Windgeschwindigkeiten weht der Wind ganz überwiegend aus diesen Richtungen. An der Klimameßstation der RWTH auf der Hörn (Zeitraum 1987 – 1999) werden an etwa 160 Tagen im Jahr Spitzenböen von mindestens Bft. 6 (starker Wind), an knapp 50 Tagen solche von mindestens Bft. 8 (stürmischer Wind) registriert und an etwa 8 Tagen solche von mindestens Bft. 10 (schwerer Sturm). Nicht zuletzt aus diesem Grund ist die Durchlüftung des Aachener Raumes allgemein als gut zu bezeichnen. Dem steht allerdings gegenüber, daß es an mehr als einem Viertel aller Tage schwachwindig ist (Bft.  $\leq 3$ ).

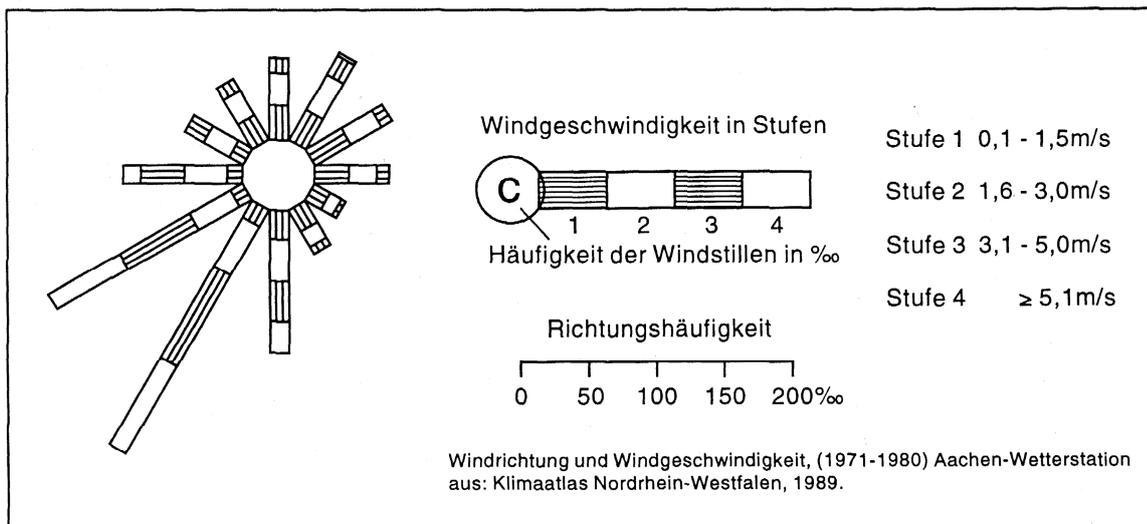


Abbildung 5: Mittlere Windverhältnisse in Aachen

### Die Witterung während der Meßperiode im langjährigen Vergleich

Der Untersuchungszeitraum erstreckte sich auf die Monate April 1998 bis März 1999. Zwölfmonatige Registrierungen allein bieten in der Regel keine klimatologisch verlässlichen Grundlagen für Beurteilungen, die der Planung als Entscheidungshilfen dienlich sein können. Von daher ist es erforderlich, die Witterung im Untersuchungszeitraum mit derjenigen zu vergleichen, die im Mittel vieler Jahre zu verzeichnen ist.

Für die Wetterstation Aachen sind in Tab. 3 die Registrierungen im Untersuchungszeitraum und deren Abweichungen von der Klimatologischen Normalperiode 1961 – 1990 zusammengestellt.

### Großwetterlagen

Nach der im Deutschen Wetterdienst gebräuchlichen Klassifikation von Hess u. Brezowsky herrschte im Untersuchungszeitraum an insgesamt 248 Tagen (= 68 %) eine zyklonale und an 117 Tagen (= 32 %) eine antizyklonale Großwetterlage (GWL). Die entsprechenden Durchschnittswerte für den Zeitraum 1961 – 1990 lauten für zyklonale GWL 206 Tage (= 56 %) und für antizyklonale GWL 159 Tage (= 44 %). Tiefdruckwitterung herrschte insbesondere vor in den Monaten Oktober 1998 (31 Tage), April 1998 (29 Tage) und Juni 1998 (28 Tage). Vor allem längerandauernde Perioden mit stabiler Hochdruckwitterung (GWL : HM und BM) waren ungewöhnlich selten. Mindestens 5 Tage andauernde HM- und BM-Lagen traten insgesamt nur in drei Fällen auf.

	Lufttemperatur [°C]	Abweichung [K]	Eisstage		Frosttage		Sommertage		heiße Tage		Sonnenschein [h]		heitere Tage		trübe Tage		Niederschlag		Tage mit > 0,1 mm Abweichung		Tage mit > 1,0 mm Abweichung		Tage mit Schneedecke Summe Abweichung	
			Summe	Abweichung	Summe	Abweichung	Summe	Abweichung	Summe	%	Summe	Abweichung	Summe	%	Summe	Abweichung	Summe	Abweichung	Summe	Abweichung				
Apr	9,1	0,7	-	-	-	-2	0	-	-	-	98	66	-	-3	16	4	101	160	24	7	16	4	-	-1
Mai	15,4	2,6	-	-	-	-	7	5	3	3	211	110	5	2	12	1	44	58	12	-5	7	-5	-	-
Jun	16,7	1,1	-	-	-	-	5	0	1	0	175	92	-	-2	12	1	103	126	21	5	16	4	-	-
Jul	16,3	-1,0	-	-	-	-	5	-2	1	-1	121	61	-	-3	18	7	48	60	20	6	13	2	-	-
Aug	17,6	0,5	-	-	-	-	10	3	3	2	201	107	3	-1	7	-2	58	77	12	-2	6	-4	-	-
Sep	14,7	0,3	-	-	-	-	-	-2	-	-2	113	75	3	-1	15	5	154	260	22	8	20	11	-	-
Okt	9,4	1,4	-	-	-	-	1	0	0	0	47	38	4	4	19	8	147	233	28	13	23	15	-	-
Nov	3,5	-2,6	2	1	10	5	-	-	-	-	78	114	3	0	15	0	77	108	18	0	12	0	-	-2
Dez	4,6	1,2	-	-4	8	-3	-	-	-	-	37	78	1	-2	21	4	48	66	18	-1	13	0	6	1
Jan	5,4	3,0	1	-4	7	-6	-	-	-	-	49	94	0	-2	17	-1	92	148	19	-1	14	1	4	-4
Feb	2,4	-0,4	4	1	12	-1	-	-	-	-	56	69	0	-3	15	1	86	151	21	6	14	3	16	8
Mrz	7,5	2,1	-	-	1	-7	-	-	-	-	125	112	0	-3	15	1	61	92	15	-3	11	-1	-	-4
Jahr	10,2	0,5	7	-6	38	-14	27	3	8	4	1311	84	15	-22	182	29	1019	123	230	33	165	30	26	-2

Tabelle 3 : Abweichung von Klimawerten im Untersuchungszeitraum Apr. 1998 - Mrz. 1999 vom Mittel der Jahre 1961-1990 Station Aachen-Wetterstation nach verschiedenen Quellen (%-Angaben bezogen auf den Wert des Mittels 1961-1990)

## **Lufttemperatur**

Im Untersuchungszeitraum war es gegenüber 1961 – 1990 mit einer Jahresmitteltemperatur von + 10,2° C um 0,5 K zu warm. Es traten 8 Monate mit positiver und 4 Monate mit negativer Abweichung auf. Bezogen auf die klimatologischen Jahreszeiten betrug die Temperaturabweichung : Winter + 1,3 K, Frühjahr + 1,8 K, Sommer + 0,2 K, Herbst – 1,2 K.

Wegen der ungewöhnlich oft herrschenden zyklonalen Witterung war die Häufigkeit der sog. ‚Besonderen Tage‘ uneinheitlich : Erwartungsgemäß war die Zahl der Frosttage mit insgesamt 38 d (Abweichung –14 d) und Eistage mit nur 7 d (Abweichung –6 d) deutlich geringer als normal. Dem standen jedoch eine geringfügig höhere Zahl von Sommertagen (27 d, Abweichung +3 d) und deutlich mehr heiße Tage (insgesamt 8 d, Abweichung +4 d) gegenüber.

## **Niederschlag**

Es fielen insgesamt 1.019 mm Niederschlag. Das sind 123 % des Normalwertes. Ein so hoher Niederschlag ist in Aachen seit Beginn der Registrierungen – bezogen auf jeweilige Kalenderjahre – erst in 4 Jahren übertroffen worden. Extrem niederschlagsreich waren insbesondere die Monate September (260 %) und Oktober (233 % des langjährigen Durchschnitts). Auch die Niederschlagshäufigkeit war deutlich übernormal. Allerdings entsprach die Zahl der Tage mit Schneedecke – trotz deutlich höherer Wintertemperaturen – in etwa derjenigen des Normalwertes.

## **Sonnenscheindauer, Bewölkung**

Der vorwiegend zyklonalen Witterung entsprechend wurden im Untersuchungszeitraum mit insgesamt 1.311 Sonnenscheinstunden nur 84 % des Normalwertes erreicht. Nur in 4 Monaten schien die Sonne – eher geringfügig – länger als im Durchschnitt. Dementsprechend gab es nur 15 Heitere Tage (normal 37 d), dagegen nicht weniger als 182 Trübe Tage (normal 153 d).

## **Wind**

Dem Witterungsverlauf entsprechend herrschte im Untersuchungszeitraum ungewöhnlich häufig lebhaft Luftbewegung. An 189 Tagen wurden an der Klimameßstation Hörn Spitzenböen von mindestens Bft. 6 verzeichnet (normal 161), an 63 Tagen solche von mindestens Bft. 8 (normal 47), und an 10 Tagen herrschte in Spitzenböen Bft. 10 und mehr (normal 8).

## **Fazit**

Die Witterung im Untersuchungszeitraum wich in mehrfacher Hinsicht von derjenigen ab, die im langjährigen Durchschnitt als typisch anzusehen ist. Dies ist bei einer Beurteilung der in Kapitel 3.2. analysierten Registrierungen u.a. in Bezug auf folgende Tatbestände zu berücksichtigen :

1. Wegen der überdurchschnittlich häufigen zyklonalen Witterung war die Differenzierung der Klimaelemente im Stadtgebiet deutlich schwächer als normal

ausgeprägt. Insbesondere die Überwärmung der versiegelten Areale („Wärmeinsel-Effekt“) lag mit einiger Sicherheit am unteren Ende der für Aachen möglichen Ausprägung des Stadtklimaeffektes.

2. Aus dem gleichen Grunde ist auch davon auszugehen, daß die nächtliche Kaltluftansammlung im Aachener Kessel zumindest in ihrer Häufigkeit eher schwächer als normal ausgebildet war.
3. Parameter, die sich auf sommerliche Wärme- und Schwülebelastung beziehen, waren im Untersuchungszeitraum eher unternormal ausgebildet.

## **2.2.2. Ergebnisse vorliegender Detailuntersuchungen**

### **Klimauntersuchungen**

#### **Bachtäler**

Die klimatisch-lufthygienische Situation im Bereich der Aachener Innenstadt wird in ihrem Südteil wesentlich von der Belüftungsfunktion der Bachtäler beeinflusst. Sie fungieren als mehr oder weniger effektive Kaltluft- bzw. Frischluftbahnen. Die Wirkung der Bachtäler basiert i.w. auf der Lage und Höhe des Aachener Waldes und einiger Grünflächen sowie auf der radialen Ausrichtung der Täler zur Innenstadt.

Das sog. Bachtälergutachten (vergl. BRAUERS et al., 1988) beinhaltet Aussagen über die lufthygienische Bedeutung der Bachtäler für die Aachener Innenstadt. Die Arbeit beruht i.w. auf intensiven Messungen im Kannegießerbachtal und einer Übertragung dieser Ergebnisse auf die anderen für die Aufgabenstellung relevanten Täler anhand von Literaturangaben auf Grundlage der Vermessung der Talgeometrie und einzelner Klimamessungen (Johannisbachtal, Gillesbachtal, Beverbachtal). Für andere, meist kleinere Täler in diesem Gebiet (Kupferbach-, Goldbach-, Predigerbach- und Bodenhofbachtal sowie für die Talmulde zwischen Gemmenicher Weg und Westpark) konnten keine Messungen durchgeführt werden, so daß nur pauschale Aussagen möglich waren. Über die Aufgabenstellung hinaus wurden auch zu anderen Bachtälern Angaben gemacht, die aber nicht mit Messungen zur Wirkung der Kaltluftflüsse auf den bebauten Innenbereich verbunden waren.

Während eine spätere Untersuchung im unteren Kannegießer- / Ponellbachtal die früheren Ergebnisse detaillierter Messungen aus dem oberen Talbereich bestätigte, ergab sich im Gillesbachtal, daß die anhand von Literaturangaben ohne umfangreiche Messungen übertragenen Resultate zu einer deutlichen Unterschätzung der Bedeutung der Belüftungsfunktion führten.

Die Planungsempfehlungen des Bachtälergutachtens können, soweit sie allgemeinen Charakter haben, generell übernommen werden; spezielle Empfehlungen werden nach Maßgabe des oben gesagten genauer spezifiziert.

#### **Gillesbachtal**

Die Situation im Bereich des Gillesbachbachtals ist stärker als ursprünglich angenommen durch Wirkungen von Kaltluftabflüssen geprägt. Das Tal selbst verläuft in Süd-Nord-Richtung vom Bebauungsrand als Grünflächenzug innerhalb lockerer

Reihenhausbebauung auf das Frankenberger Viertel zu (innerstädtische Blockbebauung) und leistet hierdurch einen erheblichen Beitrag zum Luftaustausch (vergl. HAVLIK et al., 1993).

Die Nachtsituation ist durch erhebliche Kaltluftabflüsse durch das Gillesbachtal gekennzeichnet. Die auf den relativ kühlen Grünflächen im Talverlauf (u.U. auch am Rand des Aachener Waldes in der Umgebung von Waldhausen) gebildete Kaltluft sammelt sich bei entsprechender Witterung (ca. 30 % aller Fälle im Jahr) in den frühen Abendstunden im Tal selbst und bildet vor dem Bahndamm am Moltkebahnhof einen Kaltluftsee aus. Schon bald nach Einsetzen der Kaltluftbildung ist der Kaltluftsee aufgefüllt und in einem Teil der Fälle findet ein gerichtetes Überströmen des Bahndamms in einer Mächtigkeit von 10 m und mehr statt. Auf dem Gelände des Moltkebahnhofs, auf dem ebenfalls Kaltluft gebildet werden kann, kommt es in einem nicht genau bekannten Ausmaß zu einem Zustrom aus dem Beverbachtal. Die Kaltluft kann teilweise im Bereich Frankenburg ins Frankenberger Viertel einströmen, wobei ihre Wirkung - zusammen mit derjenigen von Kaltluftabflüssen aus dem Beverbachtal - in einigen Fällen bis zum Adalbertsteinweg, nach neuesten Untersuchungen im Extremfall bis in die Gegend südlich des Europaplatzes (vgl. KLIMCZAK, 2000), meist aber nur bis zur Bismarckstraße bzw. Oppenhoffallee (HAVLIK und KETZLER, 1993 bzw. FLÖMER, 1999) nachgewiesen werden konnte. Ein erheblicher Teil der Kaltluft wird auf dem in W-E-Richtung offenen Bahnhofsgelände unter dem Einfluß der ostnordöstlich gelegenen städtischen Wärmeinsel in diese Richtung verfrachtet.

Mit dem Kaltluftabfluß ist im Frankenberger Viertel eine Verbesserung der Immissionssituation verbunden.

Die Tagsituation ist nicht untersucht worden. Es ist aber davon auszugehen, daß die Grünflächen auch tagsüber etwas kühler als die bebauten Bereiche sind, aber bei entsprechenden Wetterlagen unter dem Einfluß von Talwinden stehen, die tendentiell einem Einströmen von Kaltluft in die Stadt entgegenwirken. Die Grünflächen einschließlich des Moltkebahnhofs und des Parks an der Frankenburg werden sich aber dennoch zumindest für die unmittelbar angrenzende Bebauung bioklimatisch und lufthygienisch günstig auswirken.

Das Gillesbachtal und die Frei- bzw. Parkflächen am Moltkebahnhof und an der Frankenburg haben eine große Bedeutung für die klimatisch-lufthygienische Situation in der Umgebung insbesondere im Frankenberger Viertel. Für das Gebiet liegen umfangreiche Planungsempfehlungen vor (vergl. HAVLIK et al. 1993, S. 30 f.).

### **Kannegießer- / Ponellbachtal**

Im Kannegießer- / Ponellbachtal werden außerordentlich große Mengen Kaltluft in Richtung Innenstadt transportiert. Da das Tal vom Aachener Wald aus fast genau in Hauptwindrichtung auf die Innenstadt zuläuft, übernimmt es an einer sehr großen Zahl von Tagen ohne Kaltluftbildung die Funktion einer hochwertigen Frischluftschneise. Wegen der großen Bedeutung der Belüftungsfunktionen ist dieser Talzug relativ gut untersucht (vergl. BRAUERS et al., 1988, HAVLIK et al., 1995)

Kaltluftabflüsse sind im wesentlichen auf die Abend- und Nachtstunden beschränkt. Im Schutz des Aachener Waldes bildet sich im oberen Bereich des Kannegießer- /

Ponellbachtals bereits deutlich vor Sonnenuntergang Kaltluft, die sich ab Sonnenuntergang mit relativ hohen Strömungsgeschwindigkeiten und in großen Mengen in Richtung Innenstadt bewegt. Der Häufigkeit von Kaltluftabflüssen ist mit ca. 40 % in diesem Tal besonders hoch. Die obere Kaltluftgrenze (OKG) liegt auf Höhe Brüsseler Ring und Schillerstraße im Mittel bei etwa 30 m über Grund. Die Strömungsgeschwindigkeiten betragen auf Höhe Brüsseler Ring im Mittel knapp 1 m/s und liegen auf Höhe Schillerstraße bei ca. 0,5 m/s, wobei bei engerem Querschnitt am Brüsseler Ring und stark pulsierendem Abfluß auch zeitweise Strömungsgeschwindigkeiten über 3 m/s erreicht werden, während der Kaltluftabfluß im breiteren, aber verbauten Profil an der Schillerstraße über einen größeren Querschnitt und gleichmäßiger erfolgt.

Da sich der Talverlauf relativ weit in die Bebauung hinein fortsetzt und der niedrige Bahndamm der die Innenstadt im Osten, Süden und Westen umgehenden Bahnstrecke kein erhebliches Hindernis darstellt, wirkt der Einfluß der Kaltluft bis an den Rand des Stadtzentrums (Hauptpost). Eine besondere Rolle spielt hier auch, daß dem Talverlauf ein breiter Straßenzug folgt und dieser noch von einigen kleineren Grünflächen und Wohngebieten mit nicht allzu hohem Versiegelungsgrad gesäumt ist. Die Belüftungswirkung ist mit einer bioklimatisch günstigen Absenkung der abendlichen und nächtlichen Temperaturen sowie mit einer besseren Verdünnung von Luftschadstoffen verbunden.

Da in der Tagsituation Grünflächen nicht erheblich kälter als die bebauten Bereiche sind, ist davon auszugehen, daß die im Stammraum des Aachener Waldes gebildete Kaltluft bestenfalls dann die Innenstadt erreicht, wenn eine entsprechende Richtung der Oberströmung vorliegt. Dann übernimmt sie - zusammen mit durch die Oberströmung herangeführter aus dem ländlichen Umland Aachen stammender wenig belasteter Luft - eine wichtige Belüpfungsfunktion. Ansonsten stellt sie eine Luftmasse dar, die bei beginnender Kaltluftbildung über den Grünflächen sofort in Richtung Stadt abfließen kann.

Für das Kannegießer- / Ponellbachtal liegen Planungsempfehlungen allgemeiner Art für das gesamte Tal vor (BRAUERS et al., 1988); darüberhinaus wurden spezielle Empfehlungen für den Bereich Schillerstraße gegeben (HAVLIK et al., 1995).

### **Soers**

Die klimatisch-lufthygienische Situation im Nordteil des Aachener Kessels wird durch eine besondere Kombination von Wirkungen des Reliefs und der Bebauung geprägt.

Für die Nachtsituation bei austauschschwachen Verhältnissen (in mehr als 25% aller Fälle) stellt die Soers ein großes Kaltluftammelgebiet dar (vergl. KETZLER, 1989). Dies ergibt sich aus der Tatsache, daß innerhalb des Aachener Kessels (v.a. im Norden, Westen und Osten) größere kaltluftproduzierende Flächen mit einer Verbindung zur Soers vorhanden sind und das Wurmtal als natürlicher Talausgang bei geringem Gefälle und kleinem Querschnitt keinen ausreichenden Kaltluftabfluß ermöglicht. Dies beinhaltet zum einen, daß hier Kaltluft aus verschiedenen Bereichen zusammenströmt, und zum anderen, daß sich die Kaltluft bis zu beträchtlichen Höhen (bis ca. 60 m ü. Gr.) aufstaut und somit insbesondere in der Höhe auch auf

bebaute und somit selbst nicht kaltluftproduzierende Flächen zurückwirken kann. Die vertikale Temperaturverteilung im Kaltluftsee ist mit insgesamt extrem schlechtem vertikalen Luftaustausch verbunden, wobei dieser Effekt durch interne Sperrschichten erheblich verstärkt wird.

Im Bereich der an die Freiflächen der Soers angrenzenden Wohn- bzw. Gewerbegebiete besteht die Möglichkeit, daß Emissionen wegen einer vermutlich überlagernden Sperrschicht wenig verdünnt werden (und auch horizontal in die Kernbereiche der Soers verfrachtet werden können). Andererseits können unter den genannten Bedingungen Luftschadstoffe in relativ hoher Konzentration auch aus anderen Teilen des Aachener Kessels über die entsprechenden Freiflächenzüge in die Soers transportiert und dort akkumuliert werden. Wegen der vermutlich den gesamten Bereich überlagernden Sperrschicht ist dabei auch eine Rückwirkung belasteter Luft aus dem Kernbereich der Soers auf die umgebende Bebauung wahrscheinlich. Hierüber liegen aber keine ausreichenden Informationen vor.

Das Stagnieren von Kaltluft bedingt in den betroffenen Bereichen besonders niedrige Nachttemperaturen bei relativ hoher Luftfeuchtigkeit.

Für die Tagsituation bzw. Verhältnisse mit allgemein stärkerem Luftaustausch ist von einer windabschirmenden Wirkung der Tallage bzw. der Leelage zur städtischen Wärmeinsel auszugehen. Bei der vorherrschenden Windrichtung um Südwest ist dieses Gebiet durch die Leesituation zu Lousberg, Salvatorberg und Wingertsberg besonders windgeschützt gelegen; aber auch bei allen anderen Windrichtungen sind eher unterdurchschnittliche Windgeschwindigkeiten und dementsprechend ungünstige Luftaustauschverhältnisse zu erwarten.

In Bezug auf die Hauptwindrichtung liegt das östlich angrenzende Gebiet in einem Bereich, über dem die städtische Abluffahne vermutet werden muß (vergl. Abb. 6). Die Abluffahne erschwert den vertikalen Luftaustausch zusätzlich, und es ist in ihrem Einflußbereich auch ein Schadstoffeintrag aus höheren Luftschichten möglich.

Der schlechte Luftaustausch bewirkt relativ hohe Tagestemperaturen und - sofern ausreichend Wasser für die Verdunstung verfügbar ist - relativ hohe Luftfeuchtigkeit.

In der Soers herrschen insgesamt relativ ungünstige Bedingungen für den Luftaustausch. Den bioklimatisch belastenden relativ hohen Tagestemperaturen steht aber nur in den tiefer gelegenen Bereichen eine starke nächtliche Abkühlung gegenüber. Für die angrenzenden bebauten Bereiche können besonders ungünstige Luftaustauschbedingungen vermutet werden.

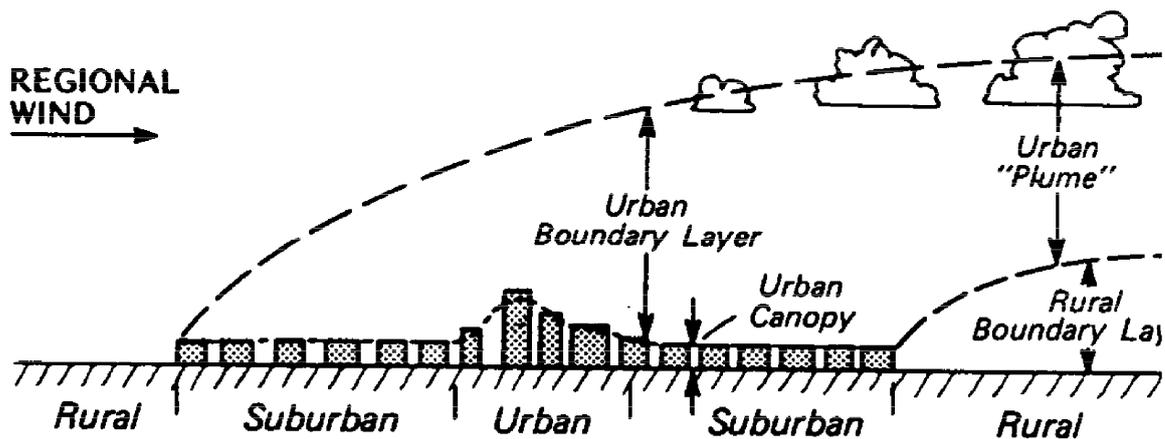


Abbildung 6: Städtische Abluftfahne

(Bei seitlicher Anströmung wird die Abluft ins Lee der Stadt verfrachtet; nach OKE, 1978.)

### Lousberg/ Kurgelbiet Monheimsallee

Die klimatisch-lufthygienische Situation im Umfeld von Lousberg, Salvatorberg und Wingertsberg ist äußerst komplex, vor allem deshalb, weil auf sehr engem Raum innenstadttypische Nutzungen in Verbindung mit hohen (Verkehrs-) Emissionen und Park- bzw. Freiflächen bei relativ großen Höhenunterschieden nebeneinanderliegen. Es bilden sich Belüftungsfunktionen in verschiedenen Größenordnungen aus, die tagesperiodischen Schwankungen unterliegen und sehr unterschiedliche Reichweiten und Wirkungen zeigen. Die Häufigkeit, mit der diese Belüftungswirkungen vorliegen, liegt mit ca. 20 % aller Fälle etwas niedriger als die Häufigkeit der Kaltluftflüsse in den Bachtälern (vergl. HAVLIK et al., 1996).

Die Nachtsituation ist dadurch gekennzeichnet, daß die bebauten Gebiete - insbesondere die Innenstadt - relativ warm bleiben, die Freiflächen bzw. die Parkflächen mit größeren Freiflächenanteilen stark und die Parkflächen mit großen Baumbeständen weniger stark auskühlen. Tagsüber sind die Temperaturunterschiede zwischen Stadt und bewaldeten Flächen groß und zwischen Stadt und Freiflächen gering. Während die Stadt und die größeren Freiflächenareale (Soers) in den Senken liegen, befinden sich die waldartigen Bestände auf den Kuppen. Aus dieser Konstellation resultieren verschiedene Luftaustauschfunktionen.

Diese Luftaustauschfunktionen sind von besonderer Bedeutung, da verschiedene, hochrangige und konkurrierende Nutzungsanforderungen an das Gebiet bestehen. In unmittelbarer räumlicher Nähe befinden sich mehrere besonders stark befahrene Hauptverkehrsstraßen, die als Hauptemittenten anzusehen sind, und mit dem Kurgelbiet Monheimsallee, dem Wohngebiet Pontviertel, vielen Schulen und ähnlichen Einrichtungen sowie den Fußgängerzonen der Innenstadt empfindliche Nutzungen, die vor hohen Immissionen zu schützen sind.

Nachts strömt kühle Luft aus den Parkbereichen dem starken Gefälle folgend in die Innenstadt ein. Da die kaltluftbildenden Flächen relativ klein und die Hänge durch

die meist hangparallel angeordneten Häuserzeilen verbaut sind, beschränkt sich der Kaltluftfluß auf einige Schneisen innerhalb des städtischen Canopys. Die Reichweite der Kaltluft ist nicht sehr groß; es wird i.w. nur das Gebiet nordöstlich von Roermonder Straße, Pontstraße, Seilgraben, Bushof und Hansemannplatz beeinflusst. Diese Belüftungswirkung geht mit einer Absenkung des Immissionsniveaus einher.

Wegen des kräftigen nächtlichen Temperaturkontrastes zwischen der Innenstadt und der Soers sowie der großen Mächtigkeit des Kaltluftsees in der Soers ist ein Einströmen von Kaltluft aus der Soers in die Innenstadt oberhalb des Canopys möglich. Dieser Zusammenhang ist bislang nicht untersucht worden.

Tagsüber sind die bewaldeten Flächen (v.a. die im Stammraum befindliche Luft) deutlich kühler als die Innenstadt, so daß es ebenfalls zu Kaltluftabflüssen in Form von Bergwinden kommt. Insbesondere vormittags ist die Erwärmung in der Innenstadt allerdings so groß, daß sich die warme Luft in den unteren Hangbereichen in Form eines Talwindes hangaufwärts bewegt. Diese beiden gegeneinander gerichteten Luftströmungen lassen den Luftaustausch nur örtlich wirksam werden und führen ansonsten zu einer Verschärfung des Temperaturkontrastes zwischen Innenstadt und Parkbereichen. Das Vordringen der einen oder anderen Strömung und damit auch die Wirkung auf das Immissionsfeld hängt entscheidend von den Verhältnissen vor Ort ab.

Für das Gebiet liegen detaillierte Planungsempfehlungen vor (HAVLIK et al., 1996, S. 15 ff.).

### **Untersuchungen zur lufthygienischen Situation**

Die stadtklimatologisch relevanten Ergebnisse früherer Untersuchungen zur lufthygienischen Situation in Aachen wurden im Stadtökologischen Fachbeitrag Klima/Lufthygiene ausführlich analysiert und diskutiert (siehe HAVLIK und KETZLER, 1996). Die wesentlichen Aspekte sollen im folgenden kurz dargestellt werden.

#### **Datengrundlage**

Auf Basis von Daten zu Hausbrandemissionen (ENERKO, 1993) sowie einer Emissionsberechnung auf Grundlage von Verkehrszählungsergebnissen (UMWELTAMT DER STADT AACHEN, o.J.) und Emissionsfaktoren (s. u.a.: HASSEL, D., 1987) wurde ein rasterbezogenes Emissionskataster erstellt (für gewerbliche Emissionen lagen keine verwertbaren Daten vor).

Es lagen Immissionsdaten aus einem Rastermeßprogramm (Umweltbericht Luft, 1990), aus dem Bädergutachten des Deutschen Wetterdienstes (DWD, 1993) und aus verschiedenen Einzelmeßprogrammen sowie erste Ergebnisse einer Immissionsprognose für bestimmte Straßenabschnitte innerhalb der Stadt (IMMIS-Luft, 1996) vor.

#### **Ergebnisse**

Der Vergleich des Immissionsniveaus in Aachen im Vergleich mit anderen Orten führt zu dem Ergebnis, daß die gemessenen Immissionen in Aachen größtenord-

nungsmäßig denen anderer Städte in der Bundesrepublik (alte Länder) entsprechen (s. STADT AACHEN, 1990, Umweltbericht Luft, S. 119 f.).

Auch die Ergebnisse der Messungen des Landesumweltamts (1994) sind als durchaus typisch zu bezeichnen. In der Innenstadt sind durch vorwiegend verkehrsbedingte Emissionen die Stickoxid-Konzentrationen besonders hoch, wobei einerseits - ebenfalls wegen des Verkehrs - relativ hohe Staubgehalte vorliegen und andererseits - bedingt durch den Chemismus - die Ozon-Werte relativ gering bleiben. In am Stadtrand gelegenen Wohngebieten (Burtscheid) sind direkt verkehrsbedingte Emissionen geringer, was allerdings mit häufig höheren Ozon-Konzentrationen einhergeht. Im Bereich des Industriegebiets Rothe Erde ergaben sich erwartungsgemäß höhere Schwebstaub-Konzentrationen und wegen der Lage in der Nähe des Stadtrands auch relativ hohe Ozon-Werte.

Werden bei diesen Ergebnissen jedoch die tatsächlichen Windverhältnisse berücksichtigt, muß die Situation als nicht unproblematisch eingestuft werden. Denn die Freilandwindgeschwindigkeiten, die in der Umgebung Aachens festzustellen sind, gehören - von exponierten Lagen in den Gebirgen abgesehen - zum oberen Bereich dessen, was im deutschen Binnenland zu erwarten ist. Einer großräumig sehr günstigen Belüftungssituation steht also keine entsprechend günstige Immissionssituation gegenüber. Insbesondere für schlecht belüftete Tallagen besteht die latente Gefahr hoher Immissionswerte.

Die Situation in Aachen erwies sich außerdem als grundsätzlich dadurch gekennzeichnet, daß zwar kaum auffällig hohe Jahresmittelwerte erreicht werden, während aber die Kurzzeitwerte (im Verhältnis zu Grenz- bzw. Richtwerten) örtlich unterschiedlich, aber teilweise ungewöhnlich hoch ausfallen. Die Gründe hierfür sind mit großer Wahrscheinlichkeit in zwei Ursachenkomplexen zu suchen.

1. Die Auswahl der konkreten Meßpunkte (v.a. bei den Rastermessungen) spielt in Aachen vermutlich eine größere Rolle als in anderen Orten. Dies muß damit in Zusammenhang gesehen werden, daß die kleingliedrige Reliefierung des Stadtgebiets (ergänzt durch die Anordnung der Hauptverkehrsstraßen) eine Bevorzugung bestimmter Transmissionswege in Anhängigkeit von den jeweiligen meteorologischen Gegebenheiten bedingt. Hierdurch ist im Einzelfall ein konzentrierter Transport von Schadstoffen über größere Entfernungen und ein entsprechend hohes Immissionsniveau einzelner, ansonsten geringere Konzentrationen aufweisender Meßpunkte möglich.

2. Die Kessellage der Innenstadt verstärkt tendentiell die Unterschiede zwischen austauschstarke und -schwache Wetterlagen. Bei geringen Geschwindigkeiten der Oberströmung wird die bodennahe Windgeschwindigkeit nicht einfach reduziert, wie dies im ungegliederten Relief der Fall wäre. Es bildet sich vielmehr ein besonderes Lokalklima mit erheblichen örtlichen Besonderheiten aus. Hier sind beispielhaft einerseits die Bachtäler mit ihrer lokalen Belüftungswirkung und andererseits Gebiete wie die Soers mit deutlichen Stagnationstendenzen herangeführter bzw. sich in situ bildender Kaltluft mit den entsprechenden Auswirkungen auf die jeweilige Immissionssituation zu nennen. Bei höheren Geschwindigkeiten der Oberströmung wird dies unterbunden.

Darüber hinaus ergab sich aus der Analyse vorliegender Daten (auch Lousberg-Gutachten [s.o.] und Bädergutachten [DWD, 1993]) auch, daß punktuell erhöhte Emissionen speziell am Nordrand der Innenstadt zu Problemen führen (hier sind auch die verkehrsbedingten Emissionen konzentriert), die aber keineswegs nur auf die unmittelbare Nahumgebung beschränkt sind.

Die Belüftungssituation wurde in bezug auf die räumliche Verteilung auch anhand des Verhältnisses von Emissionen zu Immissionen näher charakterisiert. Da die Emissionsdaten nicht sehr zuverlässig sind (s.o.) und die Immissionsdaten flächendeckend nur grob aufgelöst sind (1-km-Raster), waren allerdings nur großräumige Aussagen möglich.

Für 1 km-Rasterflächen wurden Überschreitungen des 75 %-Perzentils der Emissionen (berechnet für CO) sowie des 75 %-Perzentils der Immissionen (I1-Wert CO) berechnet (vergl. Abb. 7 im Anhang). Bei Rasterflächen mit einer Überschreitung nur bei den Emissionen kann davon ausgegangen werden, daß das Immissionsniveau wegen einer günstigen Belüftungssituation und eines Abtransports von Schadstoffen verhältnismäßig gering bleibt. Wird der Wert nur bei den Immissionen überschritten, ist eine generell relativ ungünstige Belüftungssituation oder sogar ein Schadstoffeintrag anzunehmen. Liegt eine Überschreitung sowohl bei Immissionen als auch bei Emissionen vor, kann zumindest festgestellt werden, daß im betreffenden Gebiet hohe Schadstoffkonzentrationen auch mit hohem Schadstoffausstoß einhergehen. In allen anderen Rasterflächen ist die großräumige Emissions- und Immissionssituation vermutlich unkritisch.

Ein hohes Niveau von sowohl Emissionen als auch Immissionen liegt im Bereich der Innenstadt, im Ostviertel, im Gebiet zwischen Krefelder Straße, Haaren und der A 544 sowie südlich der Innenstadt (Burtscheid) vor. Rasterflächen mit Überschreitungen nur bei den Emissionen ('relativ günstige Belüftungssituation') finden sich einerseits außerhalb des Aachener Kessels bzw. am Kesselrand (Richterich, Verlautenheide, Brand, Oberforstbach) und andererseits innerhalb; dort aber nur im Westen sowie im Einflußbereich einiger Bachtäler (Johannisbachtal, Kannegießerbachtal, Beverbachtal, Haarbachtal). Überschreitungen ausschließlich bei den Immissionen ('ungünstige Belüftungssituation / Schadstoffeintrag') treten im Süden (Umgebung Burtscheid) sowie im Osten und Norden auf. Hierbei ist zu beachten, daß die positive Wirkung der Bachtäler in der Abbildung nur ansatzweise zum Ausdruck kommen kann, da die Immissions-Messungen nach TA-Luft tagsüber durchgeführt wurden, während der Kaltluftabfluß vorwiegend nachts stattfindet.

## **Stadtökologischer Fachbeitrag**

Als Vorstufe des Gesamtstädtischen Klimagutachtens wurden in den Jahren 1995-1996 im Zuge der Erstellung des Stadtökologischen Fachbeitrags Klima/Lufthygiene (HAVLIK und KETZLER, 1996) die Ergebnisse der jüngeren klimatologisch-lufthygienischen Untersuchungen aufbereitet. Wegen der zum damaligen Zeitpunkt sehr eingeschränkten Datenlage konnten nur Teilgebiete bearbeitet werden. Die wesentlichen Ergebnisse sind in den obigen Abschnitten zusammenfaßt.

## **Sonstige Untersuchungen**

### **Analyse von Temperaturmessungen an temporären Feststationen**

Im Rahmen einer Spezialuntersuchung (KETZLER, 1997) wurden die Temperaturverhältnisse an einigen Stationen im Bereich der Stadt Aachen in den Jahren 1993/1994 näher analysiert. Für die vorliegende Aufgabenstellung können einige der Ergebnisse angewendet werden, obwohl die Auswahl der Stationen sowie der Zweck der Untersuchung auf eine andere Zielsetzung ausgelegt war.

Ein konkretes Ergebnis der Arbeit war der Nachweis, daß die Kessellage der Stadt Aachen mit dem hierdurch bedingten Zusammenströmen bodennaher Kaltluft eine Abschwächung des städtischen Wärmeinseleffekts bewirkt. Dies bedeutet, daß die im Bereich der Innenstadt gemessenen Lufttemperaturen niedriger sind, als es für eine Stadt dieser Größenordnung und Struktur zu erwarten wäre. Aus dem geringeren Wärmeinseleffekt kann allerdings nicht gefolgert werden, daß damit auch geringere stadtbedingte lufthygienische Probleme vorliegen. Denn mit einer im Zuge der Arbeit entwickelten Analysemethode konnte gleichzeitig der Nachweis einer eher geringen Wirkung luftaustauschbedingter Faktoren auf die Temperaturverhältnisse geführt werden. Die klimatisch-lufthygienische Gesamtsituation ist daher durch eine relativ geringe Wärmeinselintensität bei ungünstigen Luftaustauschverhältnissen geprägt.

Mittels der genannten Analysemethode können zudem - in bezug auf die Temperaturverhältnisse - Freiland-, Stadtrand-, Stadt- und Innenstadt-Standorte direkt Klimatopon zugeordnet werden, sofern mindestens über ein Jahr gemessen wurde (KETZLER, 1997), was bisher praktisch nicht möglich war. Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die sich nach dieser Methode für in der Arbeit untersuchten Standorte ergebende Zuordnung (Meßzeitraum: Juli 1993 - Juni 1994; vergl. Abbildung 11 im Anhang):

Da diese Methode auch für einen Vergleich nicht gleichzeitig bemessener Standorte geeignet ist, können diese Meßergebnisse mit denen des aktuellen Meßprogramms und anderen verglichen werden. Eine Gesamtbewertung aller in den letzten Jahren im Stadtgebiet durchgeführten Messungen an temporären Meßstationen nach dieser Methode wird in Kapitel 3.2.1. vorgenommen.

<u>Stationsname (Abkürzung)</u>	<u>Klimatop-Zuordnung</u>
---------------------------------	---------------------------

*temporäre Meßstationen:*

Augustinerplatz (AU)	Innenstadtklima
Fakultät IV	Innenstadtklima <sup>1</sup>
Gillesbachtal	Freilandklima <sup>2</sup>
Kastanienweg	Siedlungsklima <sup>3</sup>
Moltkebahnhof	Freilandklima <sup>2</sup>
Nachrichtentechnische Zentrale	Freilandklima <sup>4</sup>
Uniroyal	Stadtklima <sup>5</sup>
Schöntal	Freilandklima <sup>6</sup>

*permanent betriebene Stationen:*

Aachen (Wetterstation)	(Parkklima) <sup>7</sup>
Klimameßstation Hörn	Siedlungsklima <sup>3</sup>

**Erläuterungen:**

- 1 Standort durch kleine Grünfläche beeinflusst und daher moderat innerstädtisch;
- 2 Standort durch die Belüftungswirkung der Freiflächen im Bereich Gillesbachtal bzw. Moltkebahnhof/Beverbachtal beeinflusst;
- 3 unmittelbare Stationsumgebung durch große Baukörper beeinflusst und daher stärker städtisch geprägt;
- 4 Standort liegt in bezug auf die Hauptwindrichtung im Luv der Stadt und ist daher stark durch die benachbarten Freiflächen beeinflusst;
- 5 Standort liegt in einem Industriegebiet; Unterschiede zwischen 'Stadtklima' und 'Klima der Industriegebiete' ergeben sich weniger bei den Temperaturverhältnissen als vielmehr bei der Luftfeuchtigkeit und den Emissionen;
- 6 Standort liegt bei westlichen bis nördlichen Winden im Lee der Stadt und kann dann von der Stadt beeinflusst werden;
- 7 Zuordnung nach Lagemerkmale der Stationsumgebung abgeschätzt.

(nach KETZLER, 1997)

Tabelle 4: Stadtklimatologische Einordnung der Meßstandorte

### **Untersuchungen zum Kaltluftabfluß in Tälern**

Im Rahmen verschiedener Projektstudien bzw. Geländepraktika wurden in den Jahren 1992-1999 Einzeluntersuchungen zum Kaltluftabfluß in weiteren Untersuchungsgebieten durchgeführt. Es handelt sich dabei um unterschiedlich intensive Meßkampagnen in den Tälern des Johannisbachs und des Rollefbachs sowie im Gebiet zwischen Brand, Forst und Eilendorf. Die wesentlichen Ergebnisse werden in Kapitel 3.3.2. diskutiert.

## Lufthygienische Untersuchungen

### CO<sub>2</sub>-Konzentrationen

Ebenfalls im Rahmen von Projektstudien und Praktika wurden in verschiedenen Teilgebieten (Ponellbachtal, Burtscheid, Stadtpark) Messungen der CO<sub>2</sub>-Konzentration durchgeführt. Der Hintergrund dieser Untersuchungen mit experimentellem Charakter ist darin zu sehen, daß CO<sub>2</sub>-Immissionen zwar an sich lufthygienisch unproblematisch sind. CO<sub>2</sub> entsteht jedoch in großen Mengen bei allen Verbrennungsprozessen und verbleibt aus physikalischen Gründen in höherer Konzentration im Bereich der Emissionsquelle. Von daher können erhöhte CO<sub>2</sub>-Konzentrationen im städtischen Raum als guter Indikator für das Vorhandensein anderer, meßtechnisch teilweise nur schwer zu erfassender Schadstoffe aus Verbrennungsprozessen angesehen werden.

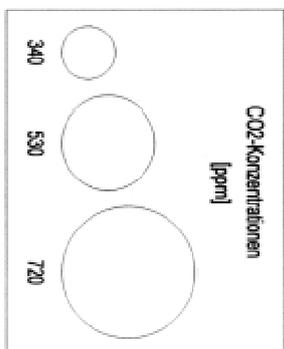
Die Ergebnisse der - im einzelnen mit verschiedenen Geräten bzw. nach verschiedenen Methoden durchgeführten und daher nur eingeschränkt vergleichbaren - Messungen wurden jeweils so aufbereitet, daß die Meßwerte für jeden Meßpunkt in relative Größen (Differenzen zum Meßwert an einem möglichst unbelasteten Standort - „Hintergrundbelastung“) umgerechnet wurden. Das Resultat ist in Abbildung 8 (im Anhang) dargestellt.

Die räumliche Verteilung stellt sich demnach folgendermaßen dar. Im Süden des Aachener Kessels wurden die niedrigsten Konzentrationswerte (blau) festgestellt. Dies betrifft ausnahmslos solche Meßpunkte, die im direkten - bzw. nach den jüngsten Untersuchungen wahrscheinlichen - Einflußbereich von Kaltluftabflüssen in den Bachtälern liegen (sogar an stärker verkehrsbelasteten Standorten), wo also die Wirkung un- bzw. wenig belasteter Luft aus dem Aachener Wald dominiert.

Geringe Konzentrationen (grün) treten im Süden einerseits an wenig verkehrsbelasteten Standorten (z.B. auch im Randbereich von Kaltluftströmen) und andererseits auch am Innenstadtrand an stärker verkehrsbelasteten Standorten (Löhergraben, Normaluhr) auf, wo noch Auswirkungen der Bachtäler (Johannis- / Ponellbachtal bzw. Gilles- / Beverbachtal) möglich sind bzw. wo eine besonders offene Lage (Normaluhr) eine gute Durchlüftung wahrscheinlich macht. Im Norden der Innenstadt weist nur ein Meßpunkt entsprechend niedrige Konzentrationswerte auf (Veltmannplatz); in diesem Bereich sind kleinräumige Belüftungsfunktionen ausgehend von den Grünflächen am Lousberg bekannt.

Mäßige Konzentrationswerte (gelb) sind im Südteil (incl. Kaiserplatz) an Standorte mit hohem Verkehrsaufkommen bei günstigen Luftaustauschbedingungen (Kuppenlagen, Wirkung von Kaltluftabflüssen, besonders offene Baustruktur) gebunden. Im Nordteil handelt es sich um Standorte ohne direkte Verkehrseinwirkung (auch am Salvatorberg).

Standorte mit hoher und sehr hoher CO<sub>2</sub>-Konzentration (orange bzw. rot) liegen überwiegend an stark befahrenen Straßen (Alleenring) an Stellen ohne besondere Belüftungswirkungen bzw. im Gebiet mit enger, altstadttypischer Bebauung auch bei mäßigem Verkehrsaufkommen. Der höchste Konzentrationswert wurde an der Monheimsallee (Hansemannplatz) gemessen.



**Geographisches Institut  
der RWTH Aachen**  
Projektstudie  
Stadtklima Aachen

**Quelle: eigene Messungen**  
29.2.96  
15:30 - 17:00 MEZ

**Maßstab: 1 : 10.000**

**Abbildung 9: CO<sub>2</sub>-Konzentrationen im Untersuchungsgebiet Aachen - Lousberg**

Auch wenn die Ergebnisse in den genannten drei Teilgebieten nur eingeschränkt miteinander vergleichbar sind, bilden sich doch die für das kleinräumige Verteilungsmuster von Luftschadstoffen relevanten Faktoren ab: die unterschiedliche Verkehrsbelastung (Hauptemissionsquelle), die Bebauungsstruktur und die Lage zur Hauptwindrichtung (Hauptfaktoren für die Wirkung des Luftaustauschs) sowie die Lage zu speziellen Belüftungsfunktionen (v.a. zu den Kaltluftabflüssen in den Bachtälern).

Eine Detailanalyse lokaler - straßenverkehrsbedingter - CO<sub>2</sub>-Konzentrationen wurde entlang der Monheimsallee durchgeführt (vgl. Abb. 9, siehe hierzu auch HAVLIK u. KETZLER, 1996). Im Bereich südliche Krefelder Straße / Bastei wurden ca. 450 ppm gemessen, ebenso an der Monheimsallee / Kreuzung Rochusstraße. An der Kreuzung mit der Mariahilfstraße - immerhin noch ca. 70 m vom Hansemannplatz entfernt, betragen die CO<sub>2</sub>-Konzentrationen dagegen 720 ppm. Dies ist in erster Linie auf den bereits dort häufig auftretenden Verkehrsstau zurückzuführen und nicht auf die Verkehrsbelastung an sich. Jenseits des Hansemannplatzes, im Bereich des Haltepunktes "Heinrichsallee" lag die CO<sub>2</sub>-Konzentration - bei etwa gleicher Verkehrsbelastung, jedoch deutlich günstigerem Verkehrsfluß - "nur" bei 460 ppm.

### **Immissionsbezogene Flechtenkartierung**

Parallel zum gesamtstädtischen Klimagutachten wurde im Auftrag des Umweltamts der Stadt Aachen eine Spezialuntersuchung zur indirekten Bewertung der Immissionssituation anhand einer Flechtenkartierung in einigen Bereichen der Stadt durchgeführt (MENNICKEN, 2000). Hauptergebnis der Arbeit ist eine Luftgüteklassifizierung für ausgewählte Standorte (vergl. Abb. 10 im Anhang).

Hier ergeben sich in bezug auf den innenstadtnahen Bereich („Profil“ von der Soers über die östliche Innenstadt bis Burtscheid) folgende Bewertungen. Während die beste Luftgüteklasse (LGK 1) nur außerhalb der geschlossenen Bebauung und nicht innerhalb dieses Profils auftritt (Lintert, Kornelimünster, Freund), kommen Werte im Bereich LGK 2 auch im zusammenhängenden Siedlungsbereich (allerdings nur im südlichen Randbereich von Burtscheid) vor. Geringe Belastungen (LGK 3) ergeben sich im Nordteil nur an Standorten außerhalb der Bebauung oder am unmittelbar an Grünflächen angrenzenden Siedlungsrand; im Südteil treten solche Werte stellenweise bis in den Bereich dichter städtischer Bebauung auf (Burtscheid). Luftgüteklasse 4 („mäßige Belastung“) liegt in Norden ebenfalls nur im Freiraum oder in dessen direkter Nähe vor, während diese Bewertung im Süden auch noch bis an den Rand der Innenstadt vergeben wurde. Hohe Belastungen (LGK 5) ergaben sich für fast alle verkehrsreichen Standorte, wobei im Nordteil auch solche Standorte betroffen sind, bei denen dies wegen der besonders offenen Lage (Krefelder bzw. Roermonder Straße) im Vergleich zu dichter bebauten Abschnitten im Süden (Theaterstraße, Kaiserplatz) nicht in dieser Form zu erwarten wäre. LGK 6 („sehr hohe Belastung“) wurde am Hansemannplatz und im Mittelteil der Wilhelmstraße festgestellt.

Außerhalb bzw. am Rand des Aachener Kessels (Brand / Forst) überwiegen - auch an verkehrsreichen Standorten geringe bis sehr geringe Belastungen (LGK 1-2).

## Vergleich der Ergebnisse

Da sich Teile des Bearbeitungsgebiets der Flechtenkartierung mit dem der o.g. CO<sub>2</sub>-Messungen decken und auch die Vorgehensweise - die Verwendung indirekter Anzeiger - grundsätzlich nicht unähnlich ist, kann ein Vergleich der Ergebnisse vorgenommen werden. Wenn die Ergebnisse der CO<sub>2</sub>-Messungen entsprechend der Farbskala analog zu den Luftgüteklassen interpretiert werden, ergibt sich dabei für das Profil von der Soers über den östlichen Innenstadtrand bis Burtscheid folgendes Bild.

Großräumig zeigen die Ergebnisse beider Untersuchungen in Bereichen außerhalb der geschlossenen Bebauung für die Soers (im Norden) ungünstigere lufthygienische Verhältnisse an als im Aachener Süden. In beiden Fällen weisen Standorte in der Nähe des Siedlungsrandes im Norden deutlich ungünstigere Werte auf als im Süden. Die höchsten Schadstoffkonzentrationen wären - ebenfalls nach beiden Methoden - am Ostrand der Innenstadt - im Bereich des Alleenrings zu erwarten. Kleineräumig ergibt sich in beiden Fällen, daß am Nordrand der Innenstadt (im Bereich von Lousberg, Salvatorberg und Wingertsberg) sehr variable Verhältnisse bei insgesamt relativ hoher Belastung vorliegen. Zudem stellt sich die Situation im Kernbereich von Burtscheid - trotz relativ dichter Bebauung und der Lage am Südrand der Innenstadt - jeweils relativ günstig dar.

Unterschiedliche Bewertungen ergeben sich v.a. für verkehrsreiche Standorte im südöstlichen Randbereich der Innenstadt (z.B. Hauptbahnhof, Theaterstraße, Normaluhr) bzw. für den Standort Kaiserplatz (Ostrand der Innenstadt), bei denen sich jeweils entgegengesetzte Tendenzen („relativ günstig“ / „eher ungünstig“) andeuten. Als möglicher Erklärungsansatz für diese Diskrepanz drängt sich auf, daß alle diese Standorte in Bereichen liegen, die nur unter günstigen Bedingungen noch von Kaltluftströmen der Bachtäler erreicht werden können; dementsprechend kann auch nicht erwartet werden, daß die Ergebnisse von - wenigen - Kurzzeitmessungen zu zufälligen Terminen mit denen einer auf Langzeitwirkungen basierenden Methode übereinstimmen. Als weiterer deutlicher Unterschied, der allerdings nur durch einen Meßpunkt repräsentiert wird, fällt die unterschiedliche Bewertung der Situation im Gillesbachtal auf, die sich nach den CO<sub>2</sub>-Messungen deutlich günstiger darstellt. Hier bleibt der Hintergrund unklar, allerdings ist möglicherweise nicht auszuschließen, daß die Ursache in Querempfindlichkeiten bestimmter Flechtenarten gegenüber einer Kombination von niedrigen Temperaturen und hoher Luftfeuchtigkeit, wie sie für die Bachtäler typisch sind, bestehen; hier wäre zu prüfen, ob es bei den schadstoffempfindlichen Flechtenarten viele wärmeliebende Arten gibt.

### 3. Ergebnisse der stadtklimatologischen Untersuchungen

#### 3.1. Meßprogramme und verwendete Daten

##### 3.1.1. Temporäre Feststationen

Im Rahmen des Gesamtstädtischen Klimagutachtens wurden insgesamt 13 Stationen betrieben (siehe Abb. 11 im Anhang und Tab. 5). Vom Büro für Umweltmeteorologie, Paderborn, wurden zehn meteorologische Meßstationen aufgebaut und gewartet, bei denen die Parameter Temperatur und Feuchte in 2 m Höhe erfaßt wurden, davon an sieben Stationen zusätzlich Windgeschwindigkeit und -richtung in 3,5 m Höhe. Das Umweltamt der Stadt Aachen hat eine weitere Station zur Verfügung gestellt (Aachen-Mitte; Temperatur, Feuchte, Wind). Das Geographische Institut der RWTH war mit einer Feststation (Hörn) und einer Temporärstation (Oppenhoffallee) beteiligt; an beiden wurden die Parameter Temperatur, Feuchte und Wind gemessen. Die Auswahl der Standorte erfolgte auf Vorschlag der RWTH in Absprache mit dem Umweltamt der Stadt Aachen.



Station	Höhe ü.NN	Lage (Gauß-Krüger Koordinaten)		Ausstattung
Hörn	198	2504,420	5627,030	TT, UU, FF, DD
Aachen-Mitte	166	2506,500	5626,490	TT, UU, FF, DD
Burtscheid	169	2506,690	5625,400	TT, UU, FF, DD
Oppenhoffallee	166	2507,730	5626,120	TT, UU, FF, DD
Recyclinghof	146	2507,990	5628,580	TT, UU, FF, DD
Eilendorf	195	2511,080	5627,100	TT, UU
Richterich	182	2504,340	5630,770	TT, UU, FF, DD
Brand	266	2511,940	5623,390	TT, UU
Vetschau	189	2502,490	5631,500	TT, UU, FF, DD
Kornelimünster	222	2512,880	5621,560	TT, UU, FF, DD
Sief	270	2510,080	5618,230	TT, UU, FF, DD
Tour Baudouin	370	2501,530	5624,330	TT, UU, FF, DD
Kronprinzenrast	336	2503,990	5623,550	TT, UU

(TT - Lufttemperatur, UU - relative Feuchte, FF - Windgeschwindigkeit, DD - Windrichtung)

Tabelle 5: Stationsnetz

Am 30.03.98 wurde der Aufbau der Temporärstationen beendet, so daß ab dem 1. April 1998 Meßwerte von allen Standorten vorliegen. Vorgesehenes Ende des Meßprogrammes war der 31.03.1999; da aufgrund des ungünstigen Witterungsverlaufs nicht alle Untersuchungen im vorgesehen Zeitraum abgeschlossen werden konnten, wurde eine Verlängerung für einzelne Standorte abgesprochen, so daß die Meßkampagne am 11.6.99 endgültig beendet wurde. Angaben zum Betrieb des Stationsnetzes finden sich im Anhang.

Das Datenmaterial der Stationen wurde der RWTH zur Bearbeitung jeweils in Form von 10min-Werten auf Datenträger übergeben. Die Daten wurden für die verschiedenen Fragestellungen unterschiedlich aufbereitet, insbesondere wurden Stundenwerte und hieraus Mittel- und Extremwerte berechnet (siehe Tabellen 7, 11, 13 und 16 im Anhang). Dort und an anderer Stelle wird auch auf Daten anderer, nicht unmittelbar zur Untersuchung gehörender Stationen Bezug genommen. Die Meßergebnisse werden nicht allerdings explizit diskutiert; sie finden - soweit jeweils erforderlich und sinnvoll - bei der Analyse in den entsprechenden Kapiteln Berücksichtigung.

### **3.1.2. Meßfahrten**

Insgesamt wurden drei Meßfahrtenkampagnen durchgeführt (8./9.8.98, 23./24.9.98 und 31.3./1.4.99). Dabei wurden vom Büro für Umweltmeteorologie, Paderborn, jeweils mehrere Meßfahrten in den Abend-, Nacht- und frühen Morgenstunden durchgeführt; gemessen wurde dabei die Lufttemperatur und die Luftfeuchte aus zwei Meßfahrzeugen. Zusätzlich wurden von der RWTH Aachen am 23./24.9.98 (Termin der Thermalbefliegung) an zusätzlichen Meßpunkten Windmessungen vorgenommen.

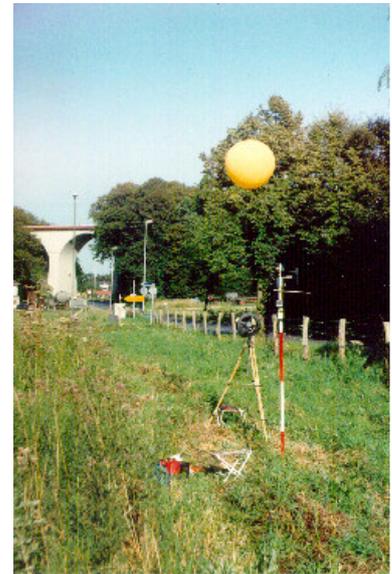
Die Auswahl der beiden Haupttrouten erfolgte auf Vorschlag der RWTH Aachen und des Umweltamtes. Dabei waren die Meßrouten möglichst so festzulegen, daß ihr Verlauf die Form einer "acht" haben sollte. Zudem war darauf zu achten, daß die geplanten Routenlängen sowie die Anzahl der Meßpunkte in der vorgegebenen Zeit zu realisieren waren. Für die Nordtour wurden 94 Meßpunkte und für die Südtour 107 Meßpunkte festgelegt. Lage und Numerierung der Meßpunkte zeigt Abbildung 11 (im Anhang).

Für die zusätzlichen Windmessungen wurden zwei weitere Meßrouten mit jeweils 9 Meßpunkten ausgesucht; an diesen Punkten wurden im Laufe der Nacht mehrmals jeweils 10-minütige Windmessungen durchgeführt. Zusammen mit den Meßergebnissen an den temporären Feststationen lagen somit für diese Meßkampagne Winddaten von 28 Standorten ergänzend zu den 201 Meßpunkten der mobilen und 13 der stationären Temperatur- und Feuchtemessungen vor.

Nähere Angaben zu den Meßrouten sind dem Anhang zu entnehmen.

### 3.1.3. Vertikalsondierungen

Vertikalsondierungen wurden an drei Terminen (8./9.8.98, 31.3./1.4.99 und 26./27.5.99) jeweils mit einer Sonde an den Haupt-Standorten Sief und Elisengarten (durch die Universität Trier, Abteilung Klimatologie, bzw. die Universität-Gesamthochschule Essen, Abteilung Landschaftsökologie) sowie mit einer mobilen Meßvorrichtung an wechselnden Standorten (Wildbachtal, Dorbachtal, Kopernikusstraße und Haarbachtal; durch die RWTH Aachen, Lehr- und Forschungsgebiet Physische Geographie) durchgeführt. An den Standorten Sief und Elisengarten wurden jeweils während der Nachtstunden in stündlichem Abstand Sondierungen durchgeführt; gleiches gilt für die Messungen im Wildbachtal am 8./9.8.98. An den anderen Standorten wurde in kürzeren Intervallen und nur für den Zeitraum der parallel in diesen Bereichen durchgeführten Rauchgasversuche gemessen.



An den Haupt-Standorten kamen Großsonden in Zeppelinform mit Meßgeräten für Temperatur, Feuchte (bzw. Feuchttemperatur), Windrichtung und -geschwindigkeit zum Einsatz. Bei den anderen Messungen wurde ein mobiles Kleinsondensystem (direkte Messung von Temperatur und Windrichtung, Berechnung der Windgeschwindigkeit) verwendet. Nähere technische Angaben sind dem Anhang zu entnehmen.

### 3.1.4. Rauchgasversuche

Während aus-tauscharmer Wetter-lagen wurden an mehreren Stand-orten durch das Bü-ro für Umweltme-teorologie, Pader-born, Rauchgas-



experimente jeweils ca. 2 Stunden nach Sonnenuntergang bzw. vor Sonnenaufgang des Folgetages durchgeführt. Diese Untersuchungen dienen dem Nachweis boden-naher Kaltluftabflüsse. Die Auswahl der Detailflächen erfolgte auf Vorschlag der RWTH Aachen und des Umweltamtes. Die genauen Zündpunkte wurden mit dem Umweltamt abgestimmt; das Umweltamt übernahm auch die notwendige Abstimmung mit betroffenen städtischen Dienststellen.

Rauchgasversuche wurden an insgesamt 7 Standorten durchgeführt (Erläuterungen und Dokumentation s. Anhang). Mittels Rauchgasversuchen können geringste Luft-strömungen nachgewiesen werden, und es ergibt sich gleichzeitig ein detailliertes

Bild der räumlichen Struktur von Kaltluftströmungen. Als Standorte wurden solche Bereiche ausgewählt, für die noch keine Ergebnisse von anderen Untersuchungen vorlagen, für die aber eine genauere Analyse bodennahe Kaltluftströmungen gewünscht wurde.

### 3.1.5. Thermalbefliegung

In der Nacht vom 23./24.9.98 wurden zwei Thermalscannerbefliegungen durchgeführt. Die Ergebnisse bilden einen wichtigen Baustein für die Klimauntersuchung Aachen, da sie - im Gegensatz zu den punktuellen meteorologischen Meßergebnissen - flächendeckende Informationen für das gesamte Untersuchungsgebiet mit seiner klimarelevanten Umgebung liefern. Allerdings können solche Messungen nur an Einzelterminen durchgeführt werden; zudem besteht zwischen Oberflächen- und Lufttemperaturen kein direkter Zusammenhang. Einzelheiten zu den System- und Aufnahmeparametern der Thermalscannerbefliegung Aachen sind dem Anhang zu entnehmen (siehe auch: Kap. 3.2.5.).



Die Aufnahmen erfolgten während einer frühherbstlichen windschwachen Strahlungswetterlage (Altweibersommer) nach Sonnenuntergang bzw. vor Sonnenaufgang, um das Abkühlungsverhalten der Landschaftsoberflächen zu erfassen. Es wurden jeweils 7 Flugstreifen geflogen, wobei die Reihenfolge und Flugrichtung der einzelnen Streifen bei beiden Flügen identisch sind. Begonnen wurde immer mit dem westlichsten Streifen.

Die Rohdaten wurden geometrischen Korrekturen unterzogen. Durch eine ausreichende Querüberlappung der benachbarten Flugstreifen ist eine Flächendeckung gewährleistet.

### 3.1.6. Radarbefliegung

Die Radarbefliegung ist Teil eines vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Forschungsprojektes mit dem Titel "3D - Stadtklima" und daher nicht unmittelbar Bestandteil des Gesamtstädtischen Klimagutachtens Aachen. Sie diente der Beschaffung von Daten zur Oberflächenbeschaffenheit des Untersuchungsgebiets.

Prinzipiell arbeitet das hier verwendete System wie ein normales Seitensicht-Radar. Mikrowellenpulse werden vom Flugzeug aus zur Seite und schräg nach unten abgestrahlt. An der Erdoberfläche reflektierte Radar-Echos werden entlang des Flugweges - beim "Synthetic Aperture Radar (SAR)" als Doppler-Signale - empfangen und als SAR-Rohdaten aufgezeichnet. Ein Radarbild wird als schwarz-weißes "Intensitätsbild" digital erzeugt und gespeichert.

Beim interferometrischen SAR wird nun eine zweite Empfangsantenne für die Radarechos installiert. Sie ist quer zur Flugrichtung gegenüber der ersten Antenne um etwa 1 - 1,5 m versetzt am Flugzeugrumpf angeordnet. Durch den unterschiedlichen Abstand beider Antennen zur Erdoberfläche entsteht eine minimale Laufzeitdifferenz der Radar-Echos. Dieser Versatz ist als Phasenverschiebung der Signale meßbar, welche bei der Datenverarbeitung in Höhenunterschiede der Oberfläche umgerechnet wird.



Die "interferometrische" Datenverarbeitung erzeugt ein hochauflösendes dreidimensionales Rasterbild. Für jeden Bildpunkt wird die exakt berechnete Höhe angegeben. Ein flächendeckendes digitales Höhenmodell zeigt feinste Details von Relief, Gebäuden und Baumbewuchs. Die Genauigkeit der Höheninformation wird von der Signalqualität des Radar-Echos bestimmt und reicht von wenigen Dezimetern (Gebäude, Straßen, Felder) bis zu ca. 1,5 Metern (Baumkronen). Nähere Angaben sind dem Anhang zu entnehmen.

### 3.1.7. Lufthygienische Untersuchungen

#### Meßprogramm "Talkessel"

Im Zeitraum 1998/1999 wurde im Auftrag des Umweltamts der Stadt Aachen ein Immissionsmeßprogramm innerhalb des Aachener Kessels durchgeführt, das in bezug auf die Lage der ausgewählten Meßpunkte und die Untersuchungssystematik dem Meßprogramm nach TA-Luft aus den Jahren 1986-1988 (damals allerdings für das gesamte Stadtgebiet) entsprach.



Die Messungen sind im Umweltbericht Luft '99 des Umweltamts der Stadt Aachen (STADT AACHEN, 2000) dokumentiert.

Teilweise im Rahmen anderer Aufgabenstellungen wurden im Untersuchungszeitraum weitere Immissionsmessungen durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Detailmessungen werden in dieser Arbeit nicht insgesamt dokumentiert bzw. behandelt.

### **3.1.8. Screening**

Im Zuge der Umsetzung der 23. Verordnung nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz (23. BImSchV) wurden von der Stadt Aachen Untersuchungen in Auftrag gegeben, die klären sollten, an welchen Straßenabschnitten im Stadtgebiet von Aachen erhöhte Konzentrationen der Luftschadstoffe NO<sub>2</sub>, Ruß und / oder Benzol zu erwarten sind. Diese Untersuchungen basieren i.w. auf Modellrechnungen auf Grundlage von gemessenem Verkehrsaufkommen und Annahmen zum Emissionsverhalten verschiedener Fahrzeugtypen auf Straßenabschnitten mit bestimmten Eigenschaften (Einzelheiten zum Vorgehen: siehe HEUSCH/BOESEFELD, 1999).

## 3.2. Ergebnisse der Meßprogramme

### 3.2.1. Temporäre Feststationen

#### Temperatur

##### Mittelwerte

Die nachfolgende Darstellung basiert auf den Registrierungen der Lufttemperatur an der RWTH-Station auf der Hörn als Referenzstation. Die Korrespondenzwerte der einzelnen Temporären Feststationen sind in Form von Differenzwerten in Tabelle 6 sowie in Abbildung 12 dargestellt.

##### Jahresmitteltemperatur

Gegenüber der Referenzstation Hörn ist es im Aachener Kessel um bis zu 0,5 K (Aachen-Mitte) wärmer. In der Soers (Recyclinghof) und in Eilendorf sind die Temperaturunterschiede mit höchstens 0,1 K sehr gering. Deutlich niedrigere Jahresmitteltemperaturen sind im bebauten Bereich in Richterich, Brand und insbesondere in Kornelimünster ( $\Delta T = 0,8$  K) zu verzeichnen. Die Freilandstationen Vetschau, Sief und Tour Baudouin (hier auch absolut und relativ höhenbedingt) sind allgemein kälter als das bebaute Areal. Hinzuweisen ist auf zwei Tatbestände :

1. Die Jahresmitteltemperaturen der Stationen in bebauten Arealen sind ausnahmslos höher als diejenigen im ‚Freiland‘.
2. Trotz etwa gleicher Höhenlage ist die Freilandstation Sief im Jahresmittel um 0,7 K kälter als die Station Vetschau.
3. Die Station Kornelimünster weist eine um 0,3 K niedrigere Jahresmitteltemperatur auf als diejenige im benachbarten Brand.

##### Mittleres tägliches Maximum

Gegenüber der Hörn liegen die durchschnittlichen Tageshöchsttemperaturen im Aachener Kessel sowie in Eilendorf höher, in Richterich und Kornelimünster etwa gleich hoch. Mehr oder weniger deutlich niedrigere mittlere Maxima weisen die vorgenannten Freilandstationen auf, wobei die um mehr als 2 K tiefere Temperatur auf dem Tour Baudouin wiederum auf die absolute und relative Höhe der Station zurückzuführen ist.

##### Mittleres tägliches Minimum

Im Vergleich zur Referenzstation Hörn weist nur die Temporärstation Aachen-Mitte einen höheren Wert auf. Die innerstädtische Differenzierung ist nur zum geringen Teil durch den ‚Wärmeineffekt‘ bedingt (z.B. kein Unterschied zwischen Richterich und Vetschau), sondern im wesentlichen auf die jeweilige topographische Lage zurückzuführen. So ist es z.B. am Recyclinghof – trotz gewerbe-/industriebedingter Überwärmung – wegen der Lage der Station am Rande der Soers um 0,8 K kälter als auf der Hörn, in Kornelimünster um 0,9 K kälter als in Brand und auf dem Tour Baudouin – aus den o.e. Gründen – um 0,6 K wärmer als z.B. in Sief. Bemerkenswert ist auch, daß das mittlere tägliche Minimum am Recyclinghof lediglich um 0,3 K höher liegt als auf dem Tour Baudouin.

Station	TT	$\Delta T$	T <sub>x</sub>	$\Delta T$	T <sub>N</sub>	$\Delta T$
Hörn	10,3		13,5		7,3	
Aachen-Mitte	10,8	0,5	14,2	0,7	7,7	0,4
Burtscheid	10,6	0,3	14,1	0,6	7,3	0
Oppenhoffallee	10,5	0,2	13,9	0,4	7,1	-0,2
Recyclinghof	10,3	0	14,2	0,7	6,5	-0,8
Eilendorf	10,2	-0,1	13,9	0,4	6,7	-0,6
Richterich	10	-0,3	13,5	0	6,6	-0,7
Brand	9,8	-0,5	13,3	-0,2	6,5	-0,8
Vetschau	9,7	-0,6	13	-0,5	6,6	-0,7
Kornelimünster	9,5	-0,8	13,4	-0,1	5,6	-1,7
Sief	9	-1,3	12,7	-0,8	5,3	-2
Tour Baudouin	8,8	-1,5	11,4	-2,1	6,2	-1,1
Kronprinzenrast	8,5	-1,8	11,3	-2,2	5,9	-1,4

TT=Mitteltemperatur (°C)

T<sub>x</sub>=Mittleres tägliches Maximum (°C)

T<sub>N</sub>=Mittleres tägliches Minimum (°C)

$\Delta T$ =Abweichung von Referenzstation Hörn (K)

Tabelle 6: Temperaturverhältnisse im Stadtgebiet von Aachen 04/98 bis 03/99

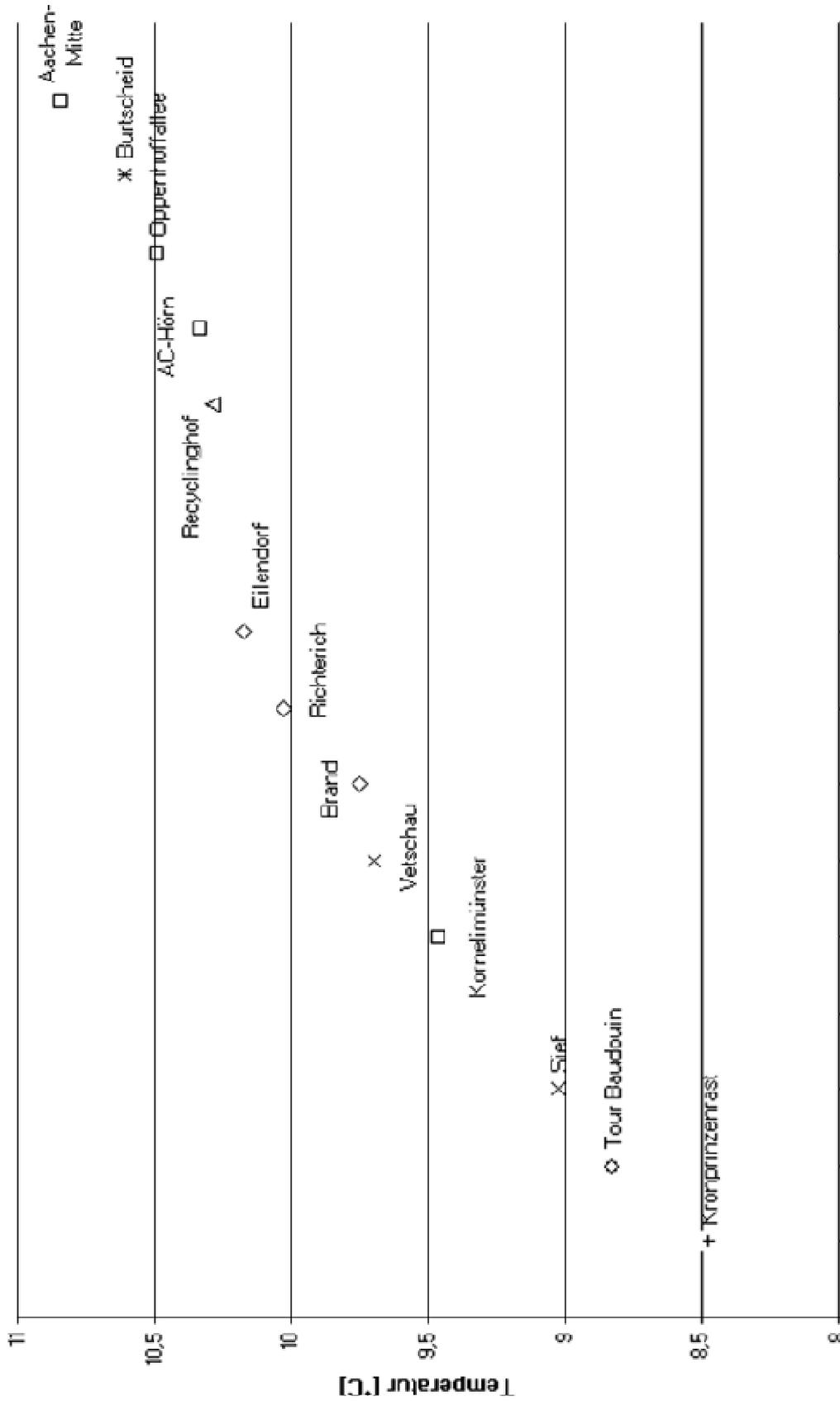


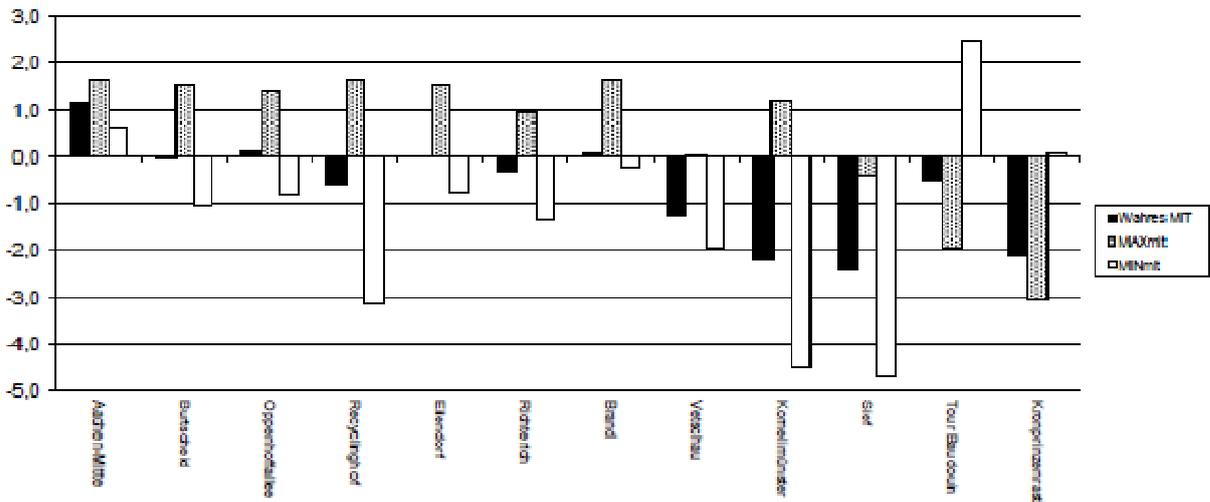
Abbildung 12. Temperaturmittel der Meßstationen

### **Antizyklonale und zyklonale Witterung**

Die regionale Temperaturdifferenzierung im Stadtgebiet von Aachen hängt u.a. ab vom Grad der Versiegelung, insbesondere der Art der Bebauung und der topographischen Lage des jeweiligen Areals im Umfeld der betreffenden Station. Die Auswirkungen dieser Einflußgrößen sind ihrerseits abhängig von der jeweils vorherrschenden Witterung. Dieser Tatbestand soll im folgenden am Beispiel von jeweils 4 Tage andauernden Witterungsabschnitten mit antizyklonaler bzw. zyklonaler Witterung in jeweils gleicher Jahreszeit dargestellt werden (Abb. 13 bis 15). Den Abbildungen ist u.a. folgendes zu entnehmen :

1. Unabhängig von der Jahreszeit und den aufgeführten Parametern ist die innerstädtische Differenzierung der Lufttemperatur bei Hochdruckwitterung wesentlich größer als bei zyklonal geprägtem Witterungsgeschehen. Mit Ausnahme der Stationen Tour Baudouin und Kronprinzenrast betragen die Temperaturunterschiede bei zyklonaler Witterung – unabhängig von der jeweiligen Kenngröße – kaum mehr als 1 K. Bei Hochdruckwitterung werden demgegenüber Werte von bis zu 4 – 5 K erreicht.
2. Bei antizyklonaler Witterung ist insbesondere auf die sehr tiefen mittleren Minima an den Stationen Sief, Kornelimünster und Recyclinghof hinzuweisen. Weiterhin fällt auf, daß der gleiche Parameter an der Freilandstation Sief jeweils markant tiefer liegt als an der – in vergleichbarer Höhe gelegenen – Station Vetschau. Das ist auf die genannte geringere Durchlüftung sowie auf die vorliegende Grünlandnutzung im Bereich der Vennfußfläche zurückzuführen.
3. Bei antizyklonaler Witterung liegt an der Station Tour Baudouin das mittlere Minimum meist höher als an den übrigen Referenzstationen (Ausnahme Aachen-Mitte), das mittlere tägliche Maximum dagegen in der Regel deutlich niedriger. Dieser Tatbestand wird unten näher analysiert. Ähnliches gilt auch für die Stationenpaare Brand-Kornelimünster sowie Hörn-Recyclinghof/Soers.
4. Insbesondere bei Hochdruckwitterung weist die im Aachener Wald gelegene Station Kronprinzenrast deutlich tiefere Minimumtemperaturen auf als die in 20 m oberhalb des Kronenniveaus gelegene Station Tour Baudouin. Weiter unten wird nachgewiesen, daß die Temperaturwerte auf dem Tour Baudouin in nicht unerheblichem Maße bereits diejenigen der freien Atmosphäre über dem Aachener Kessel repräsentieren. Dem steht nicht entgegen, daß das Kronendach des Aachener Waldes auf dem Thermalbild vergleichsweise hohe Oberflächentemperaturen zur Nachtzeit aufweist. Bezüglich einer Begründung wird auf Kapitel 3.2.5. verwiesen. Festzuhalten bleibt, daß die Lufttemperaturen im Bestand vor allem zur Nachtzeit vergleichsweise niedrig sind.

Antizyklonale Witterung 08.-11.Aug.98



Zyklonale Witterung 21.-24.Aug.98

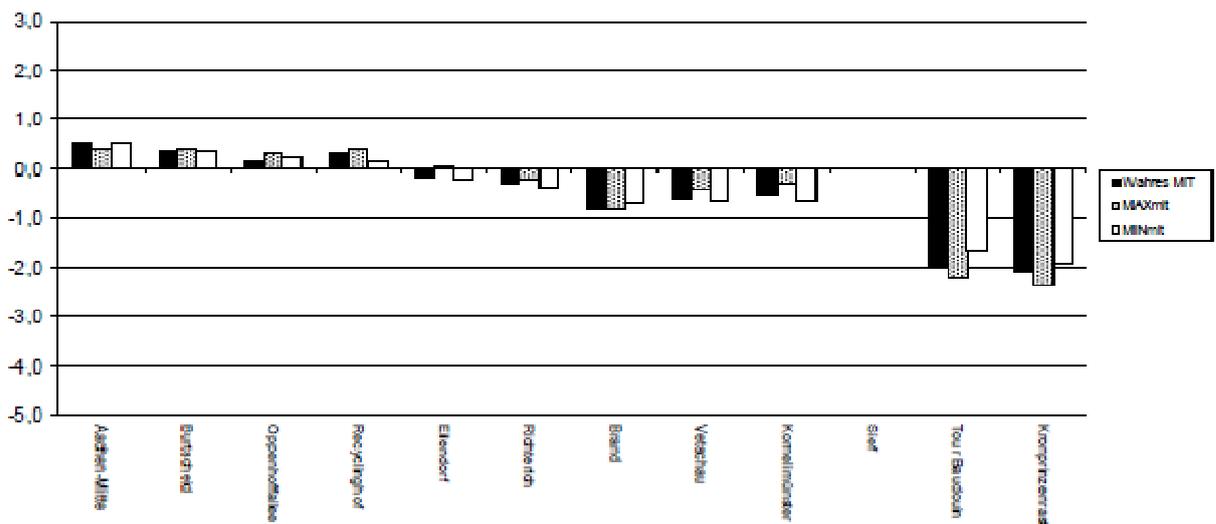


Abbildung 13: Temperaturabweichungen [K] von der Referenzstation Hörn (Sommer)

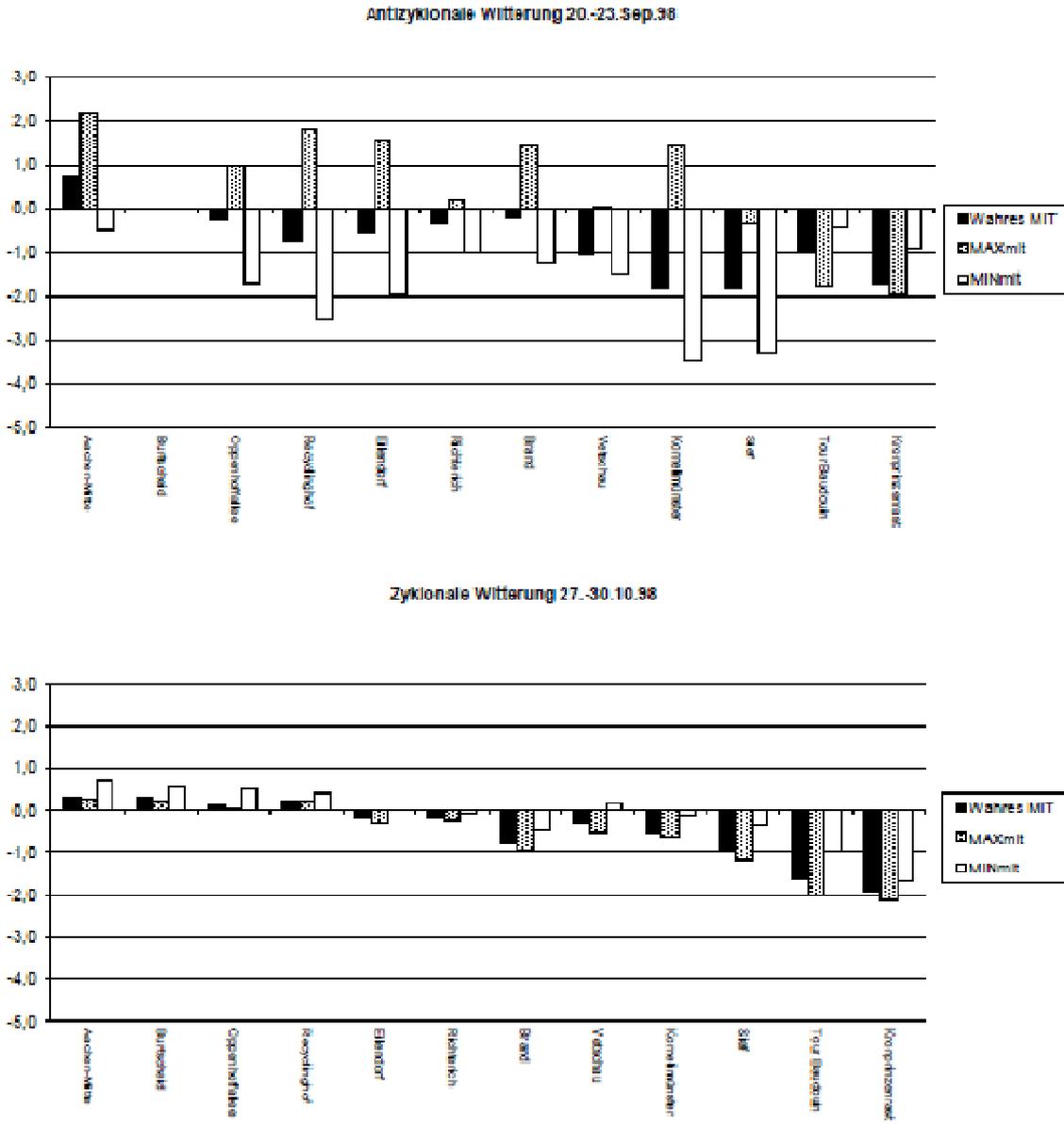


Abbildung 14: Temperaturabweichungen [K] von der Referenzstation Hörn (Herbst)

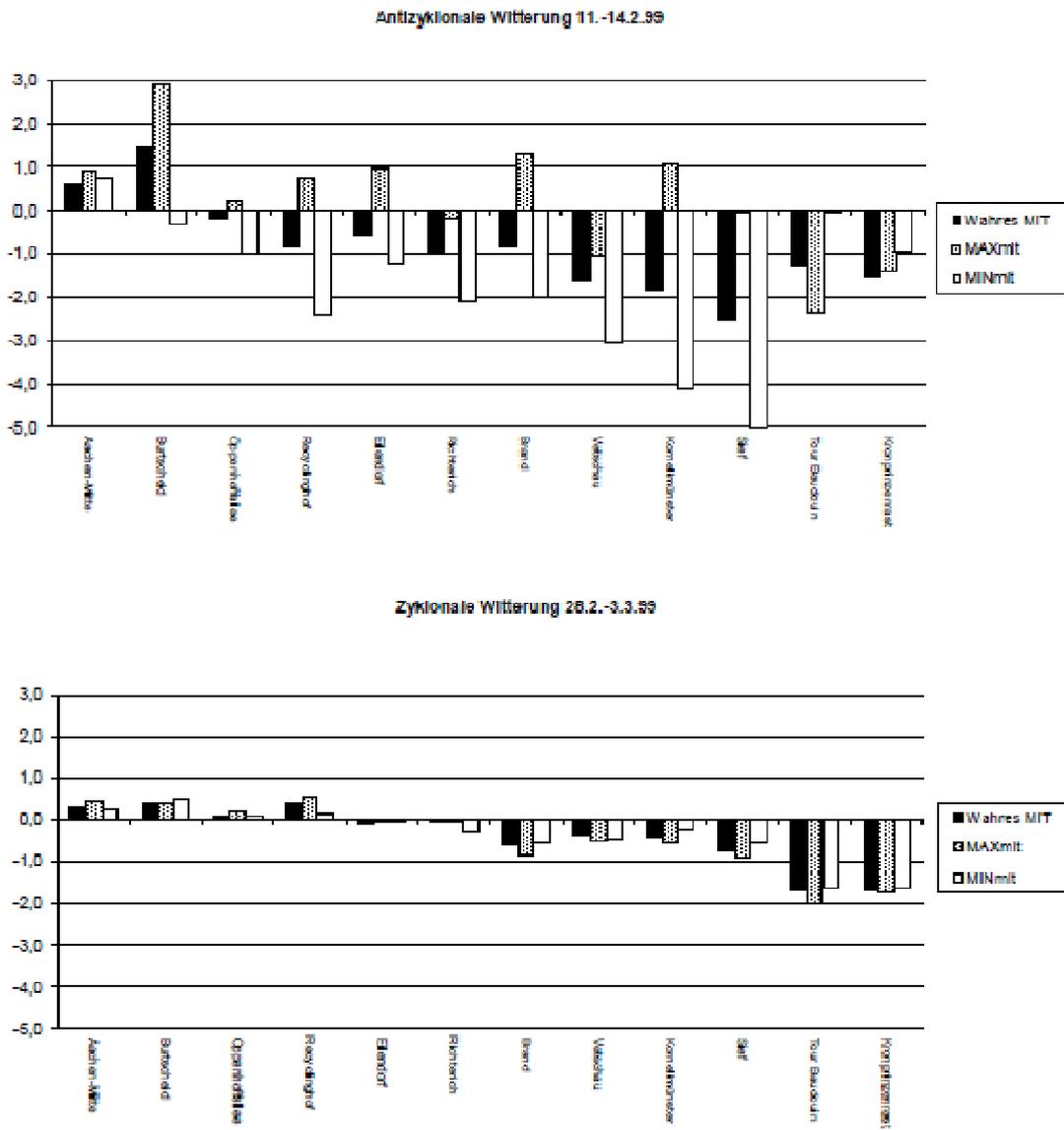


Abbildung 15: Temperaturabweichungen [K] von der Referenzstation Hörn (Winter)



### Besondere Tage

Die Analyse der thermischen Differenzierung eines Areals erfolgt in der Klimatologie nicht nur an Hand der Mittelwertbildung, sondern auch über die Zahl der Tage (im Monat bzw. im Jahr), an denen ein definierter Schwellenwert der Lufttemperatur über- bzw. unterschritten wird. Zu solchen ‚besonderen Tagen‘ gehören z.B.

Station	Eistage	Frosttage	Sommertage	heiße Tage	Grillparty- Abende
Hörn	9	28	18	6	17
Aachen-Mitte	5	32	30	9	28
Burtscheid	(7)	(36)	29	9	19
Oppenhoffallee	7	36	27	8	16
Recyclinghof	4	48	29	8	13
Eilendorf	5	43	28	9	9
Richterich	8	46	24	7	(10)
Brand	6	48	22	8	10
Vetschau	11	44	(18)	(5)	9
Kornelimünster	6	(60)	(22)	(8)	(6)
Sief	14	64	(17)	(4)	(7)
Tour Baudouin	23	(59)	(16)	(3)	(15)
Kronprinzenrast	20	(58)	11	1	12

( ) Werte wegen Meßausfall z.T. extrapoliert

Tabelle 8: Zahl der Besonderen Tage im Zeitraum 04/98- 03/99

### Frosttage

Der Tiefstwert der Lufttemperatur beträgt weniger als 0° C. Im Untersuchungszeitraum trat Frost am seltensten an den Stationen Aachen-Mitte, Oppenhoffallee und Hörn mit weniger als 40 Tagen auf. In den Stadtteilen Eilendorf, Richterich und Brand waren es 40 – 50 Tage, während die Freilandstationen Tour Baudouin (58 d) und Sief (64 d) eine deutlich größere Frosthäufigkeit verzeichneten. Auffallend ist der ungewöhnlich häufige Frost in der Soers (Recyclinghof), in Kornelimünster, aber auch an der Station Kronprinzenrast im Aachener Wald.

### Eistage

Ganztägig Frost, d.h. auch die Tageshöchsttemperatur liegt unter 0° C, trat am seltensten am Recyclinghof auf (4 d). 5 – 7 Eistage wurden an den Stationen Aachen-Mitte, Eilendorf, Brand und Oppenhoffallee verzeichnet. An den Freilandstationen Vetschau und Sief waren es 11 bzw. 14 Tage, während in den höchsten Lagen des Aachener Waldes 20 bzw. 23 Eistage verzeichnet wurden.

### **Sommertage**

treten auf, wenn die Tageshöchsttemperatur mindestens + 25° C beträgt. Bedingt durch die in Kapitel 3.1. erwähnten Meßausfälle ist der Datensatz für die Stationen Kornelimünster, Sief und Tour Baudouin unvollständig. Das gilt auch für die Heißen Tage sowie die sog. Grillparty-Abende.

Eine Lufttemperatur von  $\geq + 25^{\circ} \text{C}$  wurde im Bereich des Aachener Kessels einschließlich Burtscheid und in Eilendorf an mehr als 25 Tagen erreicht (Aachen-Mitte an 30 Tagen). An den Stationen Brand und Richterich waren es mit 20 – 24 Tagen etwas weniger, während auf der Hörn nur 18 Sommertage verzeichnet wurden. Im Aachener Wald traten - höhenbedingt - nur 10 bzw. 11 Sommertage auf.

### **Heiße Tage**

weisen ein Temperaturmaximum von mindestens + 30° C auf. 8 – 9 solcher Ereignisse wurden im Aachener Kessel sowie in Burtscheid, Eilendorf und Brand verzeichnet. In Richterich und auf der Hörn waren es 7 bzw. 6 Tage, während heiße Tage im Bereich des Aachener Waldes ausgesprochen selten auftraten.

### **Grillparty-Abende**

In neueren Stadtklimaanalysen wird auch das Maß der abendlichen Abkühlung in der warmen Jahreszeit ausgezählt. Beträgt die Lufttemperatur um 21 MESZ noch mindestens + 20° C, dann spricht man von einem ‚Grillparty‘-, bzw. in Bayern von einem ‚Biergarten-Abend‘.

Bei diesem Parameter ist die innerstädtische Differenzierung besonders markant. An der Station Aachen-Mitte wurden insgesamt 28 solcher Fälle registriert, gegenüber nur 19 in Burtscheid bzw. 16 an der Oppenhoffallee. In den Ortsteilen Brand, Eilendorf und Richterich gab es gar nur 9 bzw. 10 solcher Grillparty-Abende und damit weniger als an der Kronprinzenrast und ebenso viele wie an den Freilandstationen Vetschau und Tour Baudouin.

### **Fazit**

1. Das Temperaturfeld im Aachener Stadtgebiet ist bei Hochdruckwitterung – unabhängig von der Jahreszeit und damit von den Absolutwerten – wesentlich differenzierter als bei zyklonaler Witterung. Von daher wurden Detailuntersuchungen (vgl. z.B. Kap. 3.2. sowie Abb. 13 bis 15) nur bei vorherrschend antizyklonaler Witterung durchgeführt.
2. Im Untersuchungszeitraum herrschte überdurchschnittlich häufige und intensive zyklonale Witterung. Die innerstädtische Differenzierung der Lufttemperatur und bzw. die Ausprägung des Wärmeinselarchipels dürfte – auf Jahresbasis – somit am unteren Ende dessen liegen, was im langjährigen Mittel für Aachen tatsächlich als charakteristisch anzusehen ist.

### **Temperaturinversionen über dem Aachener Kessel**

Der Aachener Kessel liegt etwa 100 bis 200 Höhenmeter tiefer als seine Umgebung (vgl. Kap. 2.1.). Die Luftqualität in dieser quasi geschlossenen Hohlform hängt – bei

als konstant anzunehmenden Emissionen – insbesondere vom Grad der Durchmischung ab. Diese erfolgt in horizontaler Richtung (in Abhängigkeit von der jeweiligen Windgeschwindigkeit), aber auch in vertikaler Richtung (in Abhängigkeit vom jeweiligen vertikalen Temperaturgradienten). Letzterer kann aus den Registrierungen der temporären Feststationen mit sehr guter Näherung durch die Temperaturunterschiede zwischen den Stationen Aachen-Mitte (in 160 m Höhe ü. NN) und Tour Baudouin (in 370 m Höhe ü.M) bestimmt werden. Eine solche Vorgehensweise ist nicht zuletzt dadurch zu rechtfertigen, daß die Fesselballonaufstiege über dem Eilsenbrunnen zu jeweils gleichen Uhrzeiten in 370 m Höhe in der freien Atmosphäre sehr ähnliche Temperaturwerte zeigen wie die Station Tour Baudouin (vgl. Abb. 19). Die Station Aachen-Mitte wurde herangezogen, weil hier die jeweils höchsten Temperaturen im gesamten Stadtgebiet auftreten.

Im Durchschnitt sämtlicher 8760 Einzelmessungen liegt die Mitteltemperatur an der Station Aachen-Mitte bei + 10,8° C und am Tour Baudouin bei + 8,8° C. Die rechnerische Differenz von –1 K/100 m entspricht numerisch dem bei kondensationsfreien Vertikalbewegungen auftretenden trockenadiabatischen Temperaturgradienten und liegt somit erheblich höher als die normale, d.h. ohne Vertikalbewegungen herrschende Temperaturabnahme mit der Höhe von – 0,65 K/100 m. Allein aus diesem Tatbestand geht hervor, daß die vertikale Luftdurchmischung über der Aachener Innenstadt – im weiteren Sinne über dem gesamten Aachener Talkessel – im Jahresmittel infolge der stadtbedingten Überwärmung in sehr ausreichendem Maße gewährleistet ist. Bezogen auf das Jahresmittel des vertikalen Temperaturgradienten bestehen daher keine Voraussetzungen für eine nennenswerte Anreicherung der unteren Luftschichten mit Luftschadstoffen.

Dieser Tatbestand ist tageszeitlich und witterungsmäßig allerdings zu modifizieren. An 95 der insgesamt 365 Tage des Untersuchungszeitraumes war es auf dem Tour Baudouin an mindestens einer der 24 Tagesmessungen wärmer als in der Innenstadt, dies überwiegend bei antizyklonaler Witterung. In der Luftschicht bis etwa 200 m über dem Talkessel herrschte also eine Temperaturinversion. Nähere Einzelheiten dazu sind Tab. 9a zu entnehmen.

Temperaturinversionen über dem Aachener Talkessel treten – bei im einzelnen unterschiedlicher Andauer – stets zur Nachtzeit auf. Die Luft über dem Aachener Wald bzw. der Vennfußfläche kühlt sich – höhenbedingt – stärker ab als in der Innenstadt, wird dadurch spezifisch schwerer, strömt hangabwärts und sammelt sich in der Innenstadt unter weiterer – strahlungsbedingter – Abkühlung. Die maximale Stärke der Inversion betrug im Untersuchungszeitraum 5,5 K (auf Stundenbasis), im Sechsstundenmittel (22 – 04 Uhr) lag der entsprechende Wert bei maximal 3,7 K.

Zahl der Tage mit Temperaturinversion	95
Zahl der Tage mit maximalem Temperaturgradienten $\geq +2$ K	35
Zahl der Tage mit maximalem Temperaturgradienten $\geq +5$ K	5
Zahl der Tage mit Temperaturinversion von $\geq 8$ h Dauer	29
Zahl der Tage mit maximalem Temperaturgradienten von $\geq +5$ K und $\geq 8$ h Andauer	5
Maximaler Temperaturgradient (12.03.1999/ 25.03.1999)	5,5 K
Maximaler durchschnittlicher Temperaturgradient zwischen 22 und 04 Uhr (20.07.1998/ 25.03.1999)	3,7 K
Maximale Andauer (12.03.1999)	15 h

Tabelle 9a: Temperaturinversionen zwischen den temporären Feststationen Aachen-Mitte (165m ü.NN) und Tour Baudouin (368m ü.NN) im Untersuchungszeitraum

(insgesamt 365 Tage)

Zwischen Aachen-Mitte und Tour Baudouin betrug die größte Andauer einer Inversion 15 Stunden. Ist es in 370 m Höhe wärmer als in 160 m ü. NN, ist eine vertikale Luftdurchmischung über dem gesamten Höhenbereich nicht möglich und von daher eine der o.e. Voraussetzungen für mögliche Schadstoffanreicherung gegeben. In solchen Fällen ist wegen der nur geringen Windgeschwindigkeit auch die horizontale Luftdurchmischung stark eingeschränkt. So betrug an der Meßstation Hörn an den insgesamt 29 Tagen mit einer Inversionsandauer von mindestens 8 Stunden die durchschnittliche maximale Windgeschwindigkeit etwa 1,5 m/s (= Bft. 1 ‚fast Windstille‘) und erreichte nur in einem Falle knapp 3 m/s (= Bft. 2) als absolutem Spitzenwert. Die entsprechenden Windgeschwindigkeiten in der Innenstadt waren noch geringer.

Die längste registrierte Andauer einer Inversion lag bei 15 Stunden (am 12. Mrz.1999), am darauffolgenden Tage nochmals bei 12 Stunden. Dazwischen stellte sich für wenige Stunden jedoch ein vertikaler Temperaturgradient von mehr als - 2 K/100 m ein, so daß auch bei dieser Extremsituation zwischenzeitlich eine ausreichende vertikale Luftdurchmischung gewährleistet war.

Das Auftreten kleinräumig ausgebildeter Temperaturinversionen im Stadtgebiet von Aachen ist z.B. aus Untersuchungen im Kannengießerbachtal (BRAUERS und KETZLER, 1988), in der Soers (KETZLER, 1989), im Gillesbachtal (HAVLIK und KETZLER, 1993) und im Ponellbachtal (HAVLIK und KETZLER, 1995) durch Vertikalsondierungen seit längerem bekannt. Für einen Untersuchungszeitraum von 12 Monaten sind in Tab. 9b und 9c die Zahl der Tage aufgelistet, an denen es an der jeweils höher gelegenen temporären Feststation (Brand bzw. Hörn) an mindestens einer Stunde wärmer war als an der betreffenden tiefer gelegenen Vergleichsstation (Kornelimünster bzw. Recyclinghof).

Zahl der Tage mit Temperaturinversion	319
Zahl der Tage mit maximalem Temperaturgradienten $\geq +2$ K	100
Zahl der Tage mit maximalem Temperaturgradienten $\geq +5$ K	11
Zahl der Tage mit Temperaturinversion von $\geq 8$ h Dauer	97
Zahl der Tage mit maximalem Temperaturgradienten von $\geq +5$ K und $\geq 8$ h Andauer	11
Maximaler Temperaturgradient (25.03.1999)	8,8 K
Maximaler durchschnittlicher Temperaturgradient zwischen 22 und 04 Uhr (11.05.1998)	6,4 K
Maximale Andauer (23.11.1998)	23 h

Tabelle 9b: Temperaturinversionen zwischen der temporären Feststation Recyclinghof (150m ü.NN) und der Station Hörn (198m ü. NN) im Untersuchungszeitraum (insgesamt 365 Tage)

Zahl der Tage mit Temperaturinversion	301
Zahl der Tage mit maximalem Temperaturgradienten $\geq +2$ K	122
Zahl der Tage mit maximalem Temperaturgradienten $\geq +5$ K	38
Zahl der Tage mit Temperaturinversion von $\geq 8$ h Dauer	97
Zahl der Tage mit maximalem Temperaturgradienten von $\geq +5$ K und $\geq 8$ h Andauer	34
Maximaler Temperaturgradient (29.03.1999)	8,2 K
Maximaler durchschnittlicher Temperaturgradient zwischen 22 und 04 Uhr (11.05.1998)	6,4 K
Maximale Andauer (21.09.1998/07.11.1998)	21 h

Tabelle 9c: Temperaturinversionen zwischen den temporären Feststationen Kornelimünster ( 240m ü.NN) und Brand (265m ü.NN) im Untersuchungszeitraum (insgesamt 321 Tage)

Den Übersichten ist zu entnehmen, daß sich Temperaturinversionen zwischen Stationen mit einem Höhenunterschied von nur bis zu 50 Metern häufiger und intensiver ausbilden als solche über dem gesamten Talkessel. Die häufig stabile Luftschichtung zwischen den beiden herangezogenen Stationspaaren war bereits bei den durchschnittlichen täglichen Minimumtemperaturen (Tab. 6) sowie bei der höheren Anzahl von Frosttagen (Tab. 8) zu erkennen.

Insgesamt ist den Auszählungen zu entnehmen, daß im Indetal (Kornelimünster) und in der Soers (Recyclinghof) sehr häufig schlechte Luftaustauschbedingungen vorherrschen.

## Abweichungen der Extremwerte vom Mittel

Aus der Analyse der Extremwerte der Lufttemperatur (hier: Abweichung der mittleren Minima und Maxima vom Mittel aller Stationen) lassen sich erste Ansatzpunkte für eine Zuordnung von Stationen zu Klimatopen ableiten (STOCK, 1992). Städtisch beeinflusste Standorte sind generell dadurch gekennzeichnet, daß bei ihnen deutlich erhöhte Minima, aber auch erhöhte Maxima vorliegen, bei Freilandstandorten sind dagegen relativ niedrige Minima und Maxima zu erwarten; Tallagen weisen oft etwas erhöhte Maxima bei niedrigen Minima auf, Kuppenlagen dagegen etwas reduzierte Maxima bei höheren Minima.

Nach Abbildung 16 weisen v.a. die Stationen Aachen-Mitte, Burtscheid und Oppenhoffallee deutlich erhöhte Minima und Maxima auf; aus den Ergebnissen einer anderen Untersuchung in den Jahren 1993/94 (KETZLER, 1997) geht hervor, daß dies in ähnlicher Form auch für die damalige Station Augustinerplatz (westliche Innenstadt) gilt. Diese Standorte wären demnach als deutlich städtisch beeinflusst einzuordnen.

In guter Übereinstimmung mit den genannten Kriterien ergeben sich für die in freier Lage befindliche Station Sief überdurchschnittlich niedrige Extremwerte (ebenso für den Standort Nachrichtentechnische Zentrale / Melaten bei der o.g. Untersuchung).

Die Extremwerte der außerhalb der Kernstadt gelegenen Stationen Brand, Eilendorf und Richterich liegen in der Nähe des Gebietsmittels, was für Standorte im nicht verdichteten Siedlungsbereich typisch ist.

Für einige Stationen liefert diese Methode unerwartete Ergebnisse. Bei der in der Innenstadt gelegene Station Fakultät IV (Meßprogramm 1993/94; vergl. Tab. 10) ergaben sich bei den damaligen Untersuchungen sehr niedrige Werte; hier konnte nachgewiesen werden, daß die enge Bebauungssituation in Verbindung mit hohem Baumbestand eine Abschirmung der Grünfläche am Standort und damit eine die Stadtwirkung verschleiernde deutliche Absenkung der Extremwerte verursacht.

Die Station Hörn erscheint stärker städtisch beeinflusst, als es nach der Lage und der Bebauungssituation zunächst zu erwarten wäre; hier wirkt sich vermutlich die Kuppen- bzw. Hanglage (durch Abfluß von Kaltluft und dadurch erhöhten Minima) aus. Da die Station Kastanienweg (auch in Kuppenlage im Bezirk Hörn, allerdings unmittelbar am Rand der Bebauung gelegen) während der Messungen 1993/94 aber deutlich niedrigere Extremwerte aufwies, kann die Kuppen- bzw. Hanglage allein hierfür nicht verantwortlich gemacht werden. Vermutlich wirkt sich die Lage am der Innenstadt zugewandten Hang des Königshügels in Richtung auf stadtypische Verhältnisse aus.

Der Standort Kornelimünster weicht - im Gegensatz zu anderen Stationen in vergleichbarer Bebauungssituation - deutlich in Richtung zu niedriger Minima ab; da auch leicht erhöhte Maxima festzustellen sind, treten somit insgesamt die für Tallagen typischen Merkmale in Erscheinung.

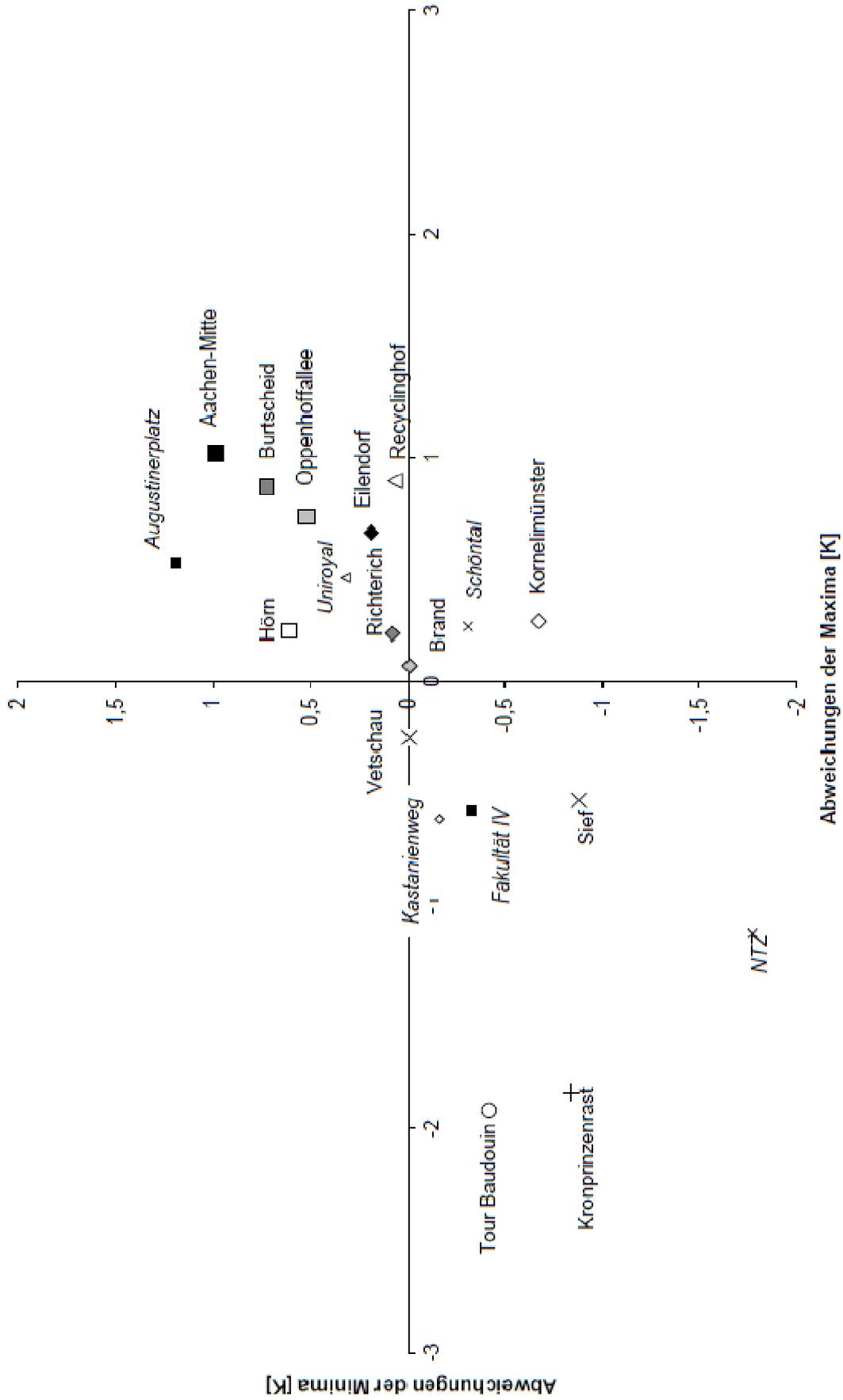


Abbildung 16: Abweichungen der Extremwerte vom Mittel (aus mittleren Tagesgängen)

Bei den Standorten in Industriegebieten wurden relativ niedrige (aber dennoch positive) Abweichungen der Extremwerte festgestellt, während in solchen Gebieten eigentlich stärker städtische Verhältnisse - im Form höherer Extremwerte - bemerkbar werden sollten. Für die Station Recyclinghof sind die sehr niedrigen Minima offensichtlich auf den Kaltlufteinfluß aus der Soers zurückzuführen (siehe oben); die Maxima entsprechen hier in etwa den für Industriestandorte zu erwartenden Werten. Im Fall des Standortes Uniroyal (Messungen 1993/94) sind Minima und Maxima in gleicher Weise, wenn auch weniger intensiv, betroffen; hier dürfte die relativ gute Ventilation des Standorts (außerordentlich breite Zwischenräume zwischen den Gebäuden) ausschlaggebend sein.

Die Station Kronprinzenrast im Aachener Wald gibt sich nicht als typische Waldstation zu erkennen, denn die Minima sind (trotz Kuppenlage!) niedrig und nicht nur - wie für eine Waldstation zu erwarten - die Maxima; hier ist die Höhenlage zu berücksichtigen, denn bei einer Lage von ca. 150 m über der Innenstadt muss allein aus diesem Grund von einer höhenbedingten Temperaturabnahme in einer Größenordnung von 1 K (bei 0,65 K / 100 m) ausgegangen werden. Bei der Station Tour Baudouin spielt dies - bei etwas größerer Höhendifferenz - ebenfalls eine Rolle; hier würde eine entsprechende Korrektur die für Kuppenlagen typische Kombination aus relativ geringen Maxima und relativ hohen Minima erbringen.

Der Freilandstandort Vetschau weist Extremwerte nahe dem Gebietsmittel auf und erweist sich damit als völlig untypisch, da deutlich niedrigere Extremwerte zu erwarten waren. Wie unten näher erläutert wird, spielt hier die selbst für Freilandstandorte ungewöhnlich starke Ventilation eine Rolle.

### **Temperaturänderungsraten**

Anhand der Extremwerte lassen sich markante Punkte mittlerer Tagesgänge beschreiben, wodurch bestimmte Merkmale verschiedener Standorttypen herausgearbeitet werden können (s.o.). Weitere Informationen über den Temperaturtagesgang können über eine Analyse der Temperaturänderungsraten (KETZLER, 1997) gewonnen werden. Die Analyse des zeitlichen Verlaufs der Temperaturänderung ermöglicht Rückschlüsse auf die Steuerung des Energieumsatzes am jeweiligen Standort, v.a. auf die Wechselwirkung zwischen Energieinput (Strahlung) und - output (Abtransport von Wärme). Dies erlaubt u.a. eine gute Differenzierung verschiedener innerstädtischer Standorte.

Bei den Temperaturänderungsraten können verschiedene auf den Gesamtzeitraum bezogene Größen zur Beurteilung herangezogen werden. Einerseits können - vergleichbar den Extremwerten des Tagesgangs der Lufttemperatur - Extremwerte der Temperaturänderungen im Tagesgang bestimmt werden (als mittlere Extremwerte oder - für manche Fragestellungen günstiger - als über eine Regressionsanalyse theoretisch bestimmte Jahreshöchstwerte, "Grenzwerte stündlicher Temperaturänderungen").

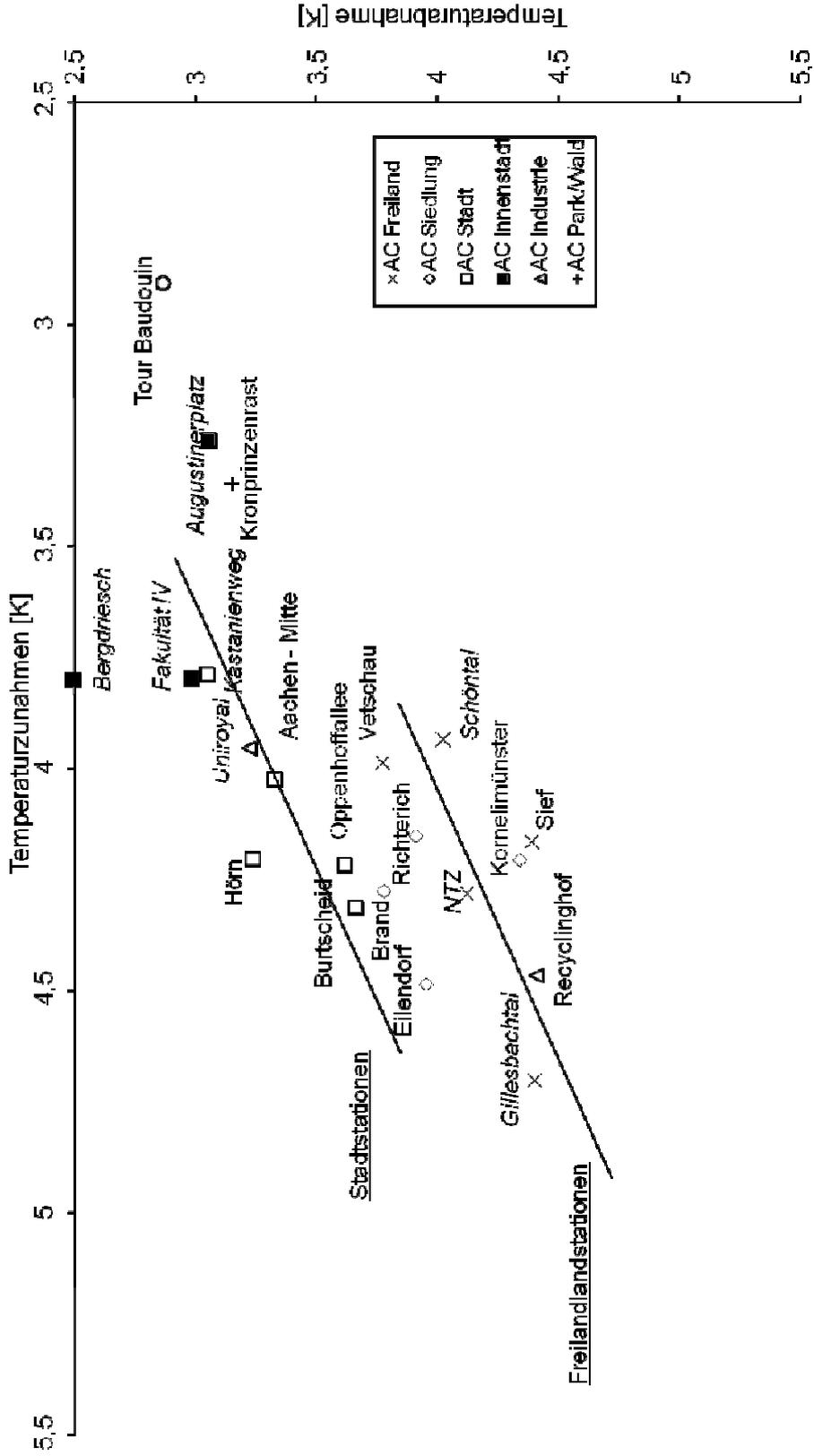


Abbildung 17: Temperaturänderungsraten an Aachener Stationen (Grenzwerte stündlicher Temperaturänderungen)

Grundsätzlich besteht bei den Temperaturänderungsraten (hier: Grenzwerte stündlicher Temperaturänderungen) ein Zusammenhang zu Lagefaktoren in einer Stadt in der Form, daß innerstädtische Standorte zu generell niedrigen Änderungsraten tendieren, während Freilandstandorte höhere Werte aufweisen. Besonders wichtig ist dabei, daß in der Stadt eine auffällige Asymmetrie des Tagesgangs in Form deutlich reduzierter stündlicher Temperaturabnahmen vorliegt. Die Temperaturänderungsraten sind vom Temperaturniveau eines Standortes weitgehend unabhängig und reagieren daher wenig auf den konkreten Witterungsverlauf in einem Meßzeitraum; daher ist auch ein direkter Vergleich von Meßergebnissen aus verschiedenen Meßzeiträumen möglich. Aus verschiedenen Gründen können Meßergebnisse von bestimmten Standorttypen (v.a. in Wald- und parkartigen Strukturen) für die vorliegende Aufgabenstellung mit dieser Methode nicht sinnvoll bearbeitet werden.

In Ergänzung der Analyse mittlerer Extremwerte kann anhand der Analyse der Temperaturänderungsraten folgende zusammenfassende Einordnung vorgenommen werden (siehe auch Abb. 17).

Bei den Stationen Aachen-Mitte, Burtscheid und Oppenhoffallee bestätigt sich der städtische Einfluß; auch die Station Uniroyal (aus dem Meßprogramm 93/94) ist entsprechend einzuordnen. Gleiches gilt für die Station Klimameßstation Hörn, wobei sich allerdings die Kombination aus Kuppenlage und Lage zwischen relativ großen Baukörpern (ehem. PH) insofern bemerkbar machen dürfte, daß der städtische Charakter stärker erscheint, als er tatsächlich ist (bei der Station Kastanienweg aus dem Meßprogramm 93/94 liegen die Verhältnisse vermutlich ähnlich).

Die Stationen Augustinerplatz und Fakultät IV, beide aus dem Meßprogramm 93/94, weisen noch geringere Änderungsraten auf (bei Fakultät IV sogar trotz der Lage auf einer Grünfläche, und in beiden Fällen trotz der Tal- statt einer Kuppenlage); ähnlich liegen die Verhältnisse bei der Station Bergdriesch (Sondermeßprogramm 1996; HAVLIK und KETZLER, 1996). Diese Stationen repräsentieren offensichtlich innenstadttypische Verhältnisse (alle Standorte liegen in der für die Altstadt üblichen sehr engen Bebauungsstruktur).

Anhand der Analyse der Extremwerte und Änderungsraten mehr oder weniger deutlich abzugrenzen sind die Standorte in den Kernbereichen der Bezirke am Stadtrand (Brand, Eilendorf und Richterich), die nach beiden Methoden Werte im "Mittelfeld" aufweisen.

Anhand der Temperaturänderungsraten lassen sich als Standorte mit Freilandeigenschaften bestätigen: Sief, sowie die Standorte Schöntal, Melaten-Nachrichtentechnische Zentrale (NTZ; beide aus dem Meßprogramm 93/94) und Gillesbachtal.

Bei der Analyse der Temperaturänderungsraten zeigen zwei städtische Stationen Auffälligkeiten: Sowohl der Standort Recyclinghof im Industriegebiet als auch Kornelimünster in recht dichter Bebauung weisen unerwartet hohe Änderungsraten auf; in beiden Fällen zeichnet sich dabei die Wirkung starker nächtlicher Kaltluftzuflüsse (aus der Soers bzw. dem Indetal) ab.

<u>Station</u>	<u>Meßperiode</u>	<u>thermische Klimatopzuordnung</u>
Augustinerplatz	1993/94	Innenstadtklima
Fakultät IV	1993/94	Innenstadtklima <sup>1</sup>
Bergdriesch	1995/96	Innenstadtklima <sup>1</sup>
Aachen-Mitte	1998/99	Stadtklima
Burtscheid	1998/99	Stadtklima
Oppenhoffallee	1998/99	Stadtklima
Uniroyal	1993/94	Stadtklima <sup>5</sup>
Recyclinghof	1998/99	Stadtklima <sup>7</sup>
Klimameßstation Hörn	alle	Stadtklima <sup>3</sup>
Brand	1998/99	Siedlungsklima
Eilendorf	1998/99	Siedlungsklima
Richterich	1998/99	Siedlungsklima
Kornelimünster	1998/99	Siedlungsklima <sup>7</sup>
Kastanienweg	1993/94	Siedlungsklima <sup>9</sup>
Sief	1998/99	Freilandklima
Vetschau	1998/99	Freilandklima <sup>8</sup>
Gillesbachtal	1992/93	Freilandklima <sup>2</sup>
Nachrichtentechnische Zentrale	1993/94	Freilandklima <sup>4</sup>
Schöntal	1993/94	Freilandklima <sup>6</sup>
Kronprinzenrast	1998/99	Wald <sup>10</sup>
Tour Baudouin	1998/99	keine Zuordnung <sup>10</sup>

### Anmerkungen

- 1 Standort durch Grünflächen beeinflusst und daher moderat innerstädtisch;
- 2 Standort durch die Belüftungswirkung der Freiflächen im Bereich Gillesbachtal bzw. Moltkebahnhof/Beverbachtal beeinflusst;
- 3 durch große Baukörper in der Nahumgebung und auch wegen der Lage zur Innenstadt stärker städtisch geprägt;
- 4 Standort liegt in bezug auf die Hauptwindrichtung im Luv der Stadt und ist daher stark durch die benachbarten Freiflächen beeinflusst;
- 5 Standort liegt in einem Industriegebiet; Unterschiede zwischen 'Stadtklima' und 'Klima der Industriegebiete' ergeben sich weniger bei den Temperaturverhältnissen als vielmehr bei der Luftfeuchtigkeit und den Emissionen;
- 6 Standort liegt bei westlichen bis nördlichen Winden im Lee der Stadt und kann dann von der Stadt beeinflusst werden;
- 7 Standort steht unter massivem Einfluß größerer Kaltluftansammlungen;
- 8 Standort durch besonders windexponierte Lage beeinflusst;
- 9 Standort trotz großer Baukörper wegen der Lage am Siedlungsrand wenig städtisch beeinflusst;
- 10 eine sinnvolle Klimatopzuordnung ist nach den zugrunde gelegten quantitativen Kriterien nicht möglich.

Tabelle 10: Klimatopzuordnung nach Temperaturverhältnissen

Bei den Stationen Vetschau und Tour Baudouin liefert die Analyse der Temperaturänderungsraten unplausible Ergebnisse. Bei Tour Baudouin ist dies leicht nachvollziehbar, da der Temperaturgeber hier nicht im 2 m über Grund sondern in großer Höhe auf dem Turm angebracht war; eine große Höhe über Grund bedingt automatisch eine geringere Temperaturamplitude und entsprechend geringere Temperaturänderungsraten. Für Vetschau muß angenommen werden, daß sowohl die unerwartet geringen Änderungsraten als auch die unauffälligen Extremwerte durch die - selbst für Freilandstationen - ungewöhnlich hohen Windgeschwindigkeiten bedingt sind; immerhin liegt auf der Hand, daß hohe - horizontale - Windgeschwindigkeiten auch mit stärkerem vertikalen Luftaustausch verbunden sind, wodurch der für die bodennahe Luftschicht des Freilands ansonsten typische kräftige Tagesgang der Lufttemperatur deutlich gedämpft werden muß.

### **Klimatopzuordnung nach Temperaturverhältnissen**

Aus den Ergebnissen der Analyse der mittleren Extremwerte und der Temperaturänderungsraten kann in bezug auf die thermischen Verhältnisse insgesamt die oben in Tabelle 10 angegebene Zuordnung der Stationen zu Klimatopen vorgenommen werden.

## **Windverhältnisse**

### **Windgeschwindigkeit**

Bei der Darstellung der regionalen Differenzierung der Windgeschwindigkeit kann das bei den anderen Klimaelementen angewandte Verfahren der Abweichung gegenüber der Referenzstation Hörn nicht angewendet werden. Das Meßgerät auf der Hörn ist in einer Höhe von 22 m über der Erdoberfläche bzw. 10 m über Grund (Flachdach) installiert, diejenigen an den temporären Feststationen dagegen in 3,5 m Höhe über der Erdoberfläche. Da die Windgeschwindigkeit wegen des vertikal abnehmenden Einflusses der Bodenreibung mit wachsender Höhe zunimmt, sind die Registrierungen auf der Hörn nur bedingt mit denen der übrigen Stationen vergleichbar.

### **Jahresmittel**

Im Aachener Kessel sowie im Ortsteil Richterich ist die mittlere Windgeschwindigkeit deutlich niedriger als an den Freilandstationen Sief und insbesondere Vetschau. Auffallend ist die vergleichsweise hohe mittlere Windgeschwindigkeit an der Station Aachen-Mitte, die am Rand einer größeren Freifläche (Parkplatz) gelegen war. Dies und die Tatsache, daß die Werte z.B. von Recyclinghof (innerhalb des Talkessels) und Richterich (außerhalb des Talkessels) annähernd gleich sind, sowie der Befund, daß an der Station Vetschau in 3,5 m Höhe eine deutlich höhere Windgeschwindigkeit herrscht als an der insgesamt 22 m über der Erdoberfläche gelegenen Station Hörn in bebautem Areal, läßt darauf schließen, daß die Windge-

schwindigkeit in erster Linie durch den jeweiligen Grad der Bebauung beeinflusst wird und weniger durch die Geländebeziehungen.

### antizyklonale Witterung

Die beispielhaft herangezogene Hochdruckperiode während des Altweibersommers zeigt an allen Stationen gegenüber dem Jahresmittel deutlich geringere Windgeschwindigkeiten. Die innerstädtische Differenzierung bleibt jedoch prinzipiell die gleiche wie beim o.e. Jahresmittel. Hinzuweisen ist auf die Tatsache, daß gegenüber dem Jahresmittel an den Stationen im Aachener Talkessel die Windgeschwindigkeit fast um 50 % geringer ist, während es an den Freilandstationen Sief und Vetschau nur ca. 30 % sind.

### zyklonale Witterung

Die Windgeschwindigkeiten an den Stationen sind sowohl im Vergleich zum Jahresmittel als auch insbesondere gegenüber antizyklonaler Witterung erheblich höher. Auffallend sind insbesondere die hohen Werte von Vetschau, die geringfügig über denen der Hörn, wesentlich jedoch über denen der Freilandstation Sief gelegen sind. Vergleichsweise geringe Windgeschwindigkeiten herrschen an den Stationen Kornelimünster und Burtscheid.

Station	Jahresmittel	Mittelwert 20.-	Mittelwert
		23.09.1998	27.-30.10.1998
		antizyklonale	zyklonale
		Witterung	Witterung
Hörn	3,6	2,6	7,9
Aachen-Mitte	2,2	1,1	3,8
Burtscheid	1,6		2,5
Oppenhoffallee	1,7	0,9	3
Recyclinghof	1,8	1	3,3
Richterich	1,6	1,2	2,9
Vetschau	4,5	3	8,9
Kornelimünster	1,3	0,9	2,1
Sief	2,8	2	4,9
Tour Baudouin	6,5	5,8	9,5
Spitzenböen Hörn		12	27,7

Tabelle 12: Mittlere Windgeschwindigkeiten im Stadtgebiet Aachen ( $\text{m sec}^{-1}$ ) nach Wetterlagen im Untersuchungszeitraum 04/1998 bis 03/1999

## Windrichtung

Auf Grund der großklimatischen Lage überwiegt in Aachen eine Windrichtung aus dem Quadranten Süd bis West. An den Stationen Hörn, Tour Baudouin, Sief und Vetschau weht der Wind in meist über 70 % aller Fälle aus diesen Richtungen. Signifikante Abweichungen von dieser Häufigkeitsverteilung sind baukörper- und/oder topographisch bedingt.

Eindeutig baukörperbedingt ist der hohe Anteil an Nord- und Südwind an der Ortsteilstation Richterich. Hier wirkt sich der kanalisierende Einfluß der Nord-Süd verlaufenden Roermonder Straße aus. Der im Stadtvergleich äußerst geringe Anteil an SW-Winden (7,4 % gegenüber 45,3 % auf dem Tour Baudouin) ist durch die windabschirmende Wirkung stationsnaher Gebäude bedingt. Die Windrichtungsverteilung an dieser Station ist somit keineswegs repräsentativ für den gesamten Ortsteil Richterich, vielmehr ein gutes Beispiel für eine baukörperbedingte lokale Deformation des Windfeldes.

Das Windfeld an der Station Oppenhoffallee kann als Beispiel für baukörper – und topographiebedingte Deformation herangezogen werden. Der überdurchschnittlich hohe Anteil aus dem Sektor West ist bedingt durch die kanalisierende Wirkung des annähernd West-Ost verlaufenden Straßenzuges Zollernstraße-Oppenhoffallee-Goerdelerstraße. Das tritt insbesondere während der Tageshelligkeit in Erscheinung (27,5 % aller Fälle). Nachts, bei allgemein abnehmender Windgeschwindigkeit, sinkt der Anteil des Westwindes auf etwa 20 %, dafür dominiert der Südwind mit 36,8 % aller Fälle. Hier macht sich über die rechtwinklig verlaufende Viktoriaallee (vgl. hierzu auch KLIMCZAK, 2000) der aus dem Beverbachtal herrührende ‚Bachtälervind‘ bemerkbar. Dieser Umstand läßt sich auch an Hand der – vor allem bei Hochdruckwitterung – verbreitet auftretenden tiefen nächtlichen Minima der Lufttemperatur (s.o.) belegen.

In Kornelimünster ist das Windfeld dagegen durch die Topographie deformiert. Es überwiegen Luftströmungen aus Süd bis Südost (im Mittel 44,2 %, nachts dagegen > 50 % aller Fälle). Hier macht sich der nächtliche Kaltluftabfluß entlang des Indetales deutlich bemerkbar mit der Folge tiefer nächtlicher Minimumtemperaturen sowie häufiger Inversionen gegenüber der höhergelegenen Nachbarstation Brand (s.o.).

## Geschwindigkeitsfaktoren

Um möglichst alle in den letzten Jahren bemessenen Stationen in einer Gesamtauswertung berücksichtigen zu können, wurden alle Meßwerte dieser Standorte auf Tagesbasis in Geschwindigkeitsfaktoren zur Referenzstation Hörn umgerechnet (siehe Tab. 14). Die Daten für die Stationen der verschiedenen Einzelmeßkampagnen wurden dabei so aufbereitet, daß für jeden Meßtag der unterschiedlichen Meßzeiträume Tagesmittel sowie -minima und -maxima der Windgeschwindigkeit sowohl für den betreffenden Standort als auch für die Klimameßstation Hörn berechnet wurden. Aus diesen Daten wurden tageweise Geschwindigkeitsfaktoren berechnet, die dann - meist als Mittelwerte - für die Beurteilung herangezogen wurden. Ein Geschwindigkeitsfaktor von 1 bedeutet dabei, daß die Windgeschwindigkeit

keit an der jeweiligen Station zum gegebenen Zeitpunkt gleich der Windgeschwindigkeit an der Station Hörn war, ein Faktor 0,5 dementsprechend, daß die Windgeschwindigkeit am betreffenden Standort halb so groß wie an der Referenzstation war.

Die Stationen wurden für die Bearbeitung wegen der unterschiedlichen Meßhöhen in zwei Gruppen aufgeteilt. Der größere Teil aller Einzelmessungen erfolgte in Bodennähe (3,5 m ü. Grund); die hierfür berechneten Windgeschwindigkeitsfaktoren repräsentieren somit die Windverhältnisse im Einflußbereich reibungsverursachender Hindernisse (im Canopy). An 8 Stationen wurden Windmessungen in größerer Höhe durchgeführt (meist 10 m über Grund bzw. über Dach), so daß sie die Verhältnisse am oberen Rand des Canopy abbilden.

Die Bezugsstation Hörn, an der in 10 m Höhe über Dach gemessen wird, ist auch deshalb für einen solchen Vergleich nach diesem Verfahren geeignet, weil die dort über Dach gemessenen Windgeschwindigkeiten größenordnungsmäßig den mittleren Freiland-Verhältnissen außerhalb der Stadt in 3,5 m ü. Grund entsprechen (Geschwindigkeitsfaktoren Vetschau: 1,33, Sief: 0,83; siehe Tab. 14). Die berechneten Geschwindigkeitsfaktoren können somit zugleich annähernd als Relativwerte zur Freilandsituation interpretiert werden.

Die Gesamtzahl aller berücksichtigten Standorte ist für eine derartige Untersuchung zwar relativ groß. Da die Einzeluntersuchungen jeweils aber speziellen Aufgabenstellungen dienten, ist durch diese Messungen keineswegs die Gesamtheit aller im Untersuchungsgebiet zu erwartenden Situationen abgedeckt. Es verbleiben also Bereiche, für die eine Beurteilung auf Grundlage auf Analogieschlüsse zurückgreifen muß. Die Aussagekraft dieser Analyse ist auch deshalb eingeschränkt, weil die Länge der Meßzeiträume unterschiedlich war, teilweise handelt es sich um Ergebnisse von weniger als einjährigen Messungen.

Standorte im Canopy mit extrem geringen Geschwindigkeitsfaktoren ( $< 0,25$ ; Bergdriesch, Fakultät IV und Gillesbachtal) sind anscheinend an die tieferen Lagen innerhalb des Kessels bei besonders enger Bebauungssituation ("Altstadt") und die engeren Bachtäler (bei einer von der Hauptwindrichtung abgewandten Längserstreckung) gebunden. Bei den betreffenden Bachtälern sind die geringen Windgeschwindigkeiten - im Gegensatz zur Innenstadt - allerdings meist mit einem Zustrom wenig schadstoffbelasteter Luft verbunden und daher wenig problematisch.

Die Gruppe von Stationen mit Geschwindigkeitsfaktoren  $\geq 0,25$  bis  $< 0,5$  ist - mit Ausnahme der Stationen Kornelimünster und Richterich (Lage der Station durch das Gelände bzw. durch Gebäude in der Nahumgebung beeinflusst) - ebenfalls nur im Bereich des Aachener Kessels vertreten (Augustinerplatz, Verkehrswacht, Burtscheid, Moltkebahnhof), wobei die Stationen Hörn (hier: Meßwiese) und Salvatorberg auf der der Stadt zugewandten Seite der den Kessel begrenzenden Höhenzüge in parkähnlicher Umgebung liegen. Diese und die vorher genannten Stationen sind in der Spalte "MIT  $< 0,5$ " der Tabelle besonders gekennzeichnet.

	Methöhe [m ü. Gr. / Dach]	Geschwindigkeitsfaktor (im Methöhe)	Tagessmittel		alle	Red. MIN > 25 %	MIT < 0,5	mittl. Geschwindigkeitsfaktor (im Methöhe)		Red. MIN > 25 %	MIT < 0,5
			-minimum	-maximum				-minimum	-maximum		
<b>Innenstadt (Altstadt / enge Baustruktur)</b>											
Augustinerplatz	3,5	0,28	0,10	0,38	0,25	j	j	0,25	0,31	j	j
Fakultät IV	3,5	0,24	0,12	0,31	0,24	j	j				
Bergdresch	3,5	0,23	0,08	0,29	0,23	j	j				
<b>Stadt (Grün-/Freiflächen)</b>											
Verkehrswacht	7	0,35	0,15	0,42	0,34	j	j	0,38	0,25	j	j
Salvatorberg	3,5	0,30	0,17	0,33	0,29	j	j				
Hörn (Messwiese)	3,5	0,51	0,43	0,48	0,48	n	j				
Gillesbach (Molkereibahnhof)	3,5	0,35	0,28	0,42	0,38	j	j				
<b>Stadt (Industrie)</b>											
Unifoyal	3,5	0,49	0,30	0,78	0,55	j	n	0,53	0,35	j	n
Reyclinghof	3,5	0,57	0,40	0,81	0,54	j	n	0,55	0,53	n	n
<b>Stadt (offene Baustruktur)</b>											
Oppenhofallee	3,5	0,55	0,51	0,51	0,53	n	n				
Aachen-Mitte	3,5	0,72	0,77	0,64	0,70	n	n				
Burtscheid	3,5	0,47	0,41	0,46	0,45	n	j				
Eisenbrunnen	8	0,45	0,42	0,47	0,45	n	j	0,41	0,33	n	j
<b>Stadttrand (Wohnbebauung / Grünflächen)</b>											
Kastanienweg	3,5	0,49	0,44	0,56	0,50	n	n	0,41	0,33	n	j
Gillesbach (Brandtloferweg)	3,5	0,24	0,17	0,29	0,24	j	j				
Kompostanlage Brand	3,5	0,51	0,39	0,58	0,51	n	n	0,92	0,93	n	n
<b>Stadttrand (exponierte Lagen)</b>											
Burtscheid (LUA-Station)	10	0,88	0,80	0,88	0,85	n	n				
Aachen (Weiterstation) / DWD	10	0,91	1,02	0,88	0,93	n	n				
Fachhochschule (Dach)	10	1,18	1,08	1,12	1,13	n	n				
Rothle Erde	10	0,81	0,83	0,78	0,80	n	n				
Hörn (Dach)	10	1,00	1,00	1,00	1,00	n	n				
Gillesbach (Bahndamm)	10	1,01	1,06	0,98	1,01	n	n	0,52	0,43	n	j
<b>Ortslagen außerhalb</b>											
Richterich	3,5	0,50	0,44	0,48	0,48	n	j				
Kornellmünster	3,5	0,42	0,24	0,40	0,37	j	j				
Mausbach	3,5	0,84	0,80	0,59	0,81	n	n	1,08	1,10	n	n
<b>Freiland</b>											
Veschnau	3,5	1,33	1,50	1,24	1,34	n	n				
Sief	3,5	0,88	0,70	0,90	0,83	n	n				
<b>Besonders exponierte Lage</b>											
Tour Bauouin	20	2,07	2,82	1,81	2,14	n	n	2,07	2,82	n	n

Tabella 14: Geschwindigkeitsfaktoren zur Station Aachen-Hörn für verschiedene Messstationen in Aachen

Geschwindigkeitsfaktoren zwischen 0,5 und 0,75 ergaben sich für Stationen innerhalb des Aachener Kessels nur dort, wo entweder aufgrund der Bebauungssituation Düsenwirkungen, also kleinräumige Windfeldverstärkungen (Oppenhoffallee und Aachen-Mitte), oder großräumig offenere Bebauungsstrukturen (Recyclinghof und Uniroyal) vorliegen. Die anderen Stationen dieser Gruppe befinden sich am Kesselrand (Kastanienweg, Brand-Kompostanlage).

Die Stationen Sief und Vetschau repräsentieren mit Geschwindigkeitsfaktoren um 1 Freilandverhältnisse. Hierbei ist anzumerken, daß die Station Sief (0,83) mit ihrem etwas geringeren Wert die im Aachener Süden typische Situation der Heckenlandschaft mit höherer Bodenreibung abbildet. Außerdem muß vermutet werden, daß der Wert für Vetschau (1,33) wegen der Lage der Station, die möglicherweise noch durch Gehölze im Umfeld des Vetschauer Bergs beeinflusst wird, nicht die maximalen Freilandverhältnisse darstellt; diese wären auf den sehr offenen Flächen bei Horbach und Orsbach bei Werten um 1,5 zu erwarten.

In der Gruppe der Stationen, die die Situation am oberen Rand des Canopy wiedergeben sollen, wird nur für die Station Elisenbrunnen ein Wert  $< 0,5$  berechnet; die LUA-Station Burtscheid weist ebenfalls noch einen recht geringen Wert auf (0,65). An der Station Rothe Erde wird mit 0,8 ein deutlich höherer Wert berechnet. Trotz Hindernissen in der Nahumgebung (Baumbestand) ergibt sich auch für die Station Gillesbach-Bahndamm ein relativ hoher Wert von ca. 1,0 (der allerdings durch die exponierte Lage 10 m über Bahndammkronen verursacht sein dürfte). Die Station Fachhochschule weist als einzige Station innerhalb des Talkessels Werte deutlich  $> 1$  auf; dies ist offensichtlich auf die effektive Wirkung des in Hauptwindrichtung orientierten Ponellbachtals als Belüftungsschneise zurückzuführen.

Alle Stationen am Kesselrand oder außerhalb, weisen im Bereich der Oberkante des Canopy Werte um 1 oder höher auf. Die Meßergebnisse an der Station Tour Baudouin sind mit ihrer Lage deutlich oberhalb des Baumkronenniveaus über dem exponierten Höhenzug des Aachener Waldes als Maximalwert dessen aufzufassen, was in Aachen und der näheren Umgebung in vergleichbaren Höhen über Grund oder darunter zu erwarten ist.

Für die räumliche Beurteilung der Windverhältnisse sind neben den Mittelwerten vor allem auch die Verhältnisse bei geringen Windgeschwindigkeiten von Bedeutung.

Aus Tabelle 14 ist zu entnehmen, daß bei allen Innenstadtstationen in enger Bebauungssituation ("Altstadt") die aus den - i.d.R. nächtlichen - Windgeschwindigkeits-Minima errechneten Geschwindigkeitsfaktoren gegenüber den - für diese Stationen sowieso meist niedrigen Faktoren für die Mittelwerte - nochmals deutlich abgesenkt sind (um mehr als 25 %; siehe Spalte "Red. MIN  $> 25\%$ " in der Tabelle). Dies gilt auch für die im Bereich des Kessels gelegenen Stationen in parkähnlicher Lage (außer Hörn) und in den Gewerbe- bzw. Industriegebieten sowie für die Station Gillesbachtal (wo die Kaltluftabflüsse die Situation zwar verbessern, aufgrund der dabei auftretenden geringen Windgeschwindigkeiten dennoch nur ein numerisch geringer Wert erreicht wird). Ansonsten treten solche Verhältnisse noch in Kornelimünster auf (bei gleicher Ursache wie im Gillesbachtal).

Innerhalb des Aachener Kessels treten Überschreitungen dieser 25 %-Grenze nur an Stationen in besonders offener Lage nicht auf (Aachen-Mitte).

Werden die Stationen entsprechend der wesentlichen Lagefaktoren zu Gruppen zusammengefaßt, so ergibt sich folgendes Bild (Tab. 14, rechter Tabellenteil; vergl. a. Abb. 18).

Die in der Innenstadt gelegenen Stationen mit altstadttypischer Bebauung weisen im Mittel sehr niedrige Geschwindigkeitsfaktoren (0,25) auf, wobei zudem die extrem geringen Faktoren bei den Wingschwindigkeitsminima auffallen (0,1!). Bei den innenstadtnah gelegenen Grünflächen liegen die Verhältnisse bei höheren Werten ähnlich (0,38 bzw. 0,25).

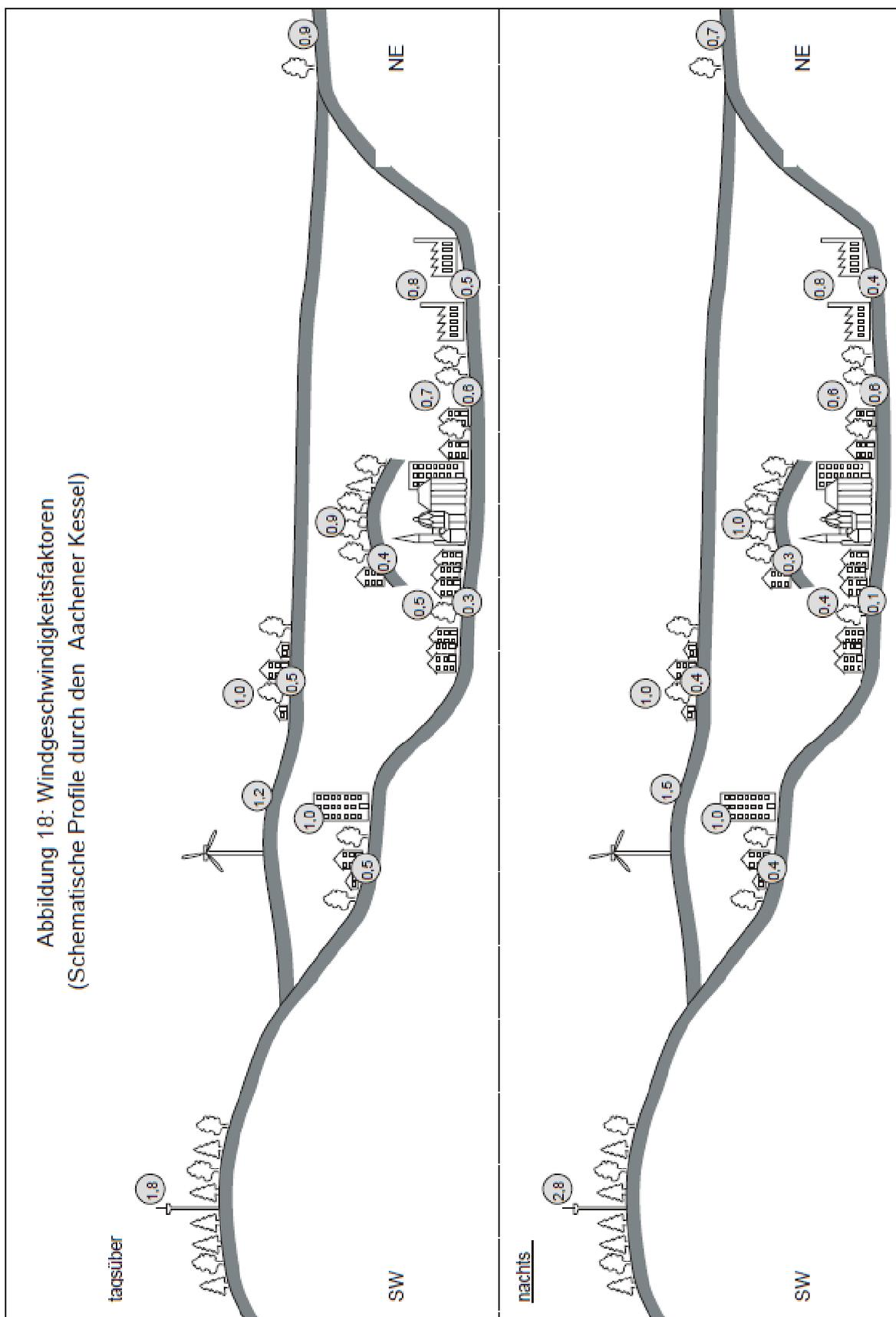
Bei den offener bebauten Bereichen in Stadtrandlage (Wohnbebauung bzw. Gewerbe) ergaben sich etwas höhere Mittelwerte (0,4-0,5), bei erkennbar höheren Minima (um 0,35). Hier sind allerdings bereits deutlich günstigere Verhältnisse am Tage (Windgeschwindigkeitsmaxima deutlich erhöht) zu verzeichnen.

Die Stationen in den offener bebauten Teilen des inneren Stadtbereichs weisen bei im Mittel noch etwas höheren Geschwindigkeitsfaktoren (um 0,5) im Gegensatz zu den o.g. Stationen keine Reduzierung der Faktoren in den windschwachen (Nacht-) Stunden auf.

Bei den Ortslagen außerhalb stellen sich die Verhältnisse je nach konkreter Lage unterschiedlich dar.

Durch die Ergebnisse der Ballonsondierungen können die Aussagen zur vertikalen Struktur des Windfeldes ergänzt werden. In gleicher Weise wie bei den Stationsdaten wurden beispielhaft die Daten der Sondierungen am 8.8.98 in Geschwindigkeitsfaktoren bezogen auf die Meßwerte der Station Hörn umgerechnet; für den Meßzeitraum (späte Abend-, Nacht- und frühe Morgenstunden) wurden mittlere Faktoren für verschiedene Meßhöhen berechnet. Die Ergebnisse sind in Abb. 19 dargestellt. Bei den Vergleichsstationen (Sief, Aachen-Mitte und Tour Baudouin) ergaben sich für den Meßtag überwiegend etwas höhere Geschwindigkeitsfaktoren als bei den Mittelwerten für die nächtlichen Minima nach Tabelle 14 (3,5 / 2,8, 0,7 / 0,7 und 1,1 / 0,8).

"Ungestörte Freilandverhältnisse" (= Geschwindigkeitsfaktor 1) stellen sich in beiden Fällen erst oberhalb des Canopy ein. Beim Standort Elisenbrunnen handelt es sich zwar - wie bei der Station Aachen-Mitte - um eine größere innerstädtische Freifläche, doch fehlt wegen der eher rundlichen Form hier der Düseneffekt, der sich am Standort Aachen-Mitte bei Winden aus NE am Meßtag anscheinend genauso bemerkbar macht, wie bei der Hauptwindrichtung SW. Die Station Sief stand zu diesem Zeitpunkt noch im Bereich einer frei gelegenen Kuppe (später wurde nach einem Diebstahl eine Stationsverlegung erforderlich), während der Ballonaufstieg ca. 200 m entfernt in weniger exponierter Lage in der Nähe von Gebäuden und Hecken stattfand.



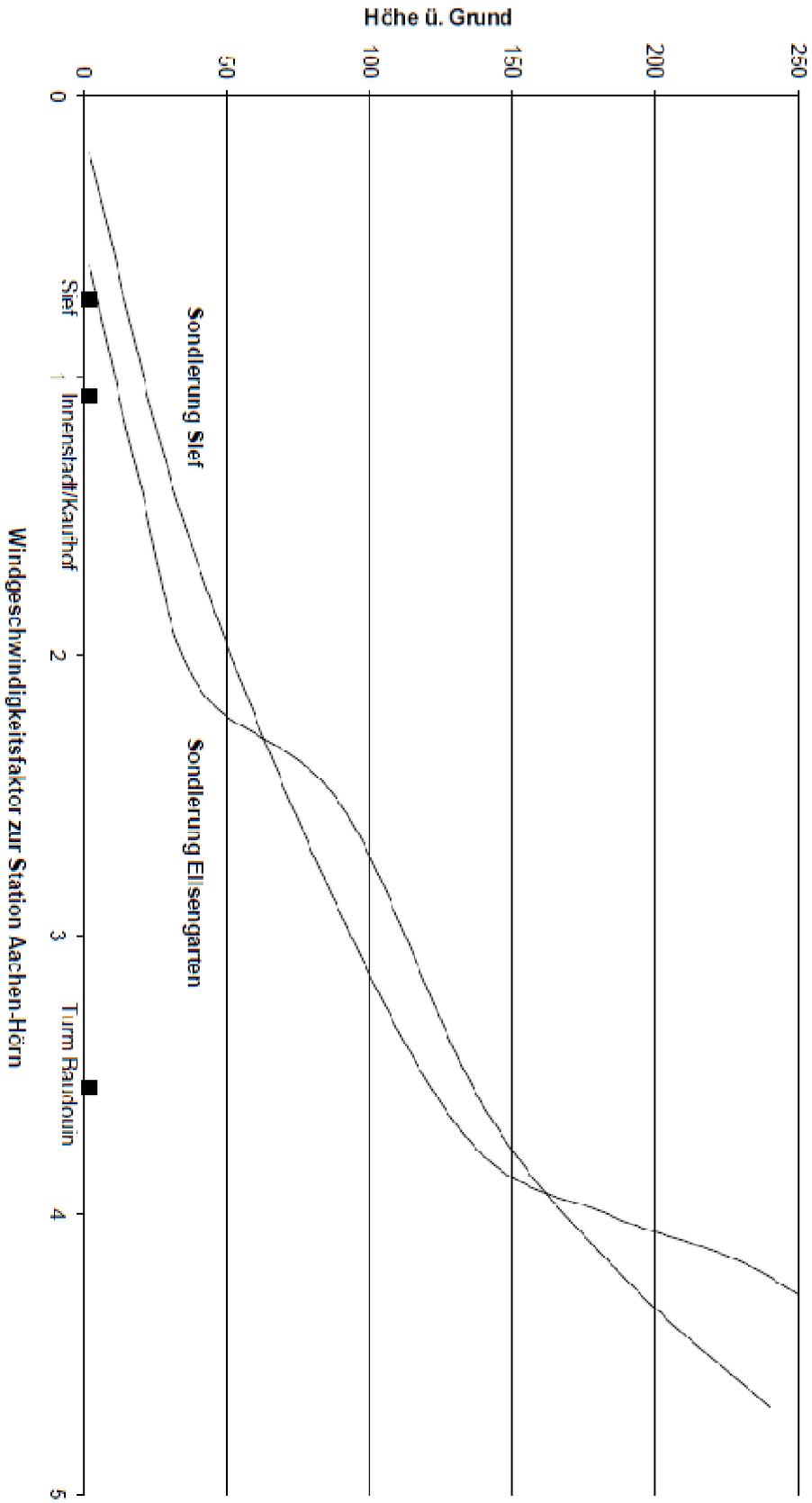


Abbildung 19: Mittlere Windgeschwindigkeitsfaktoren während der Ballonsondierungen am 8./9. 8. 1998

Verhältnisse wie am Tour Baudouin (50 m ü. Grund) liegen über der Innenstadt erst in 140 m ü. Grund, in Sief hingegen schon etwa in 120 m ü. Grund vor. Für den Standort Elisengarten ergab sich (ähnlich auch bei den anderen Vertikalsondierungen), daß die Windgeschwindigkeit in Höhen um 250 m ü. NN, also bei etwa 80 m ü. Grund, sprunghaft zunimmt (ein Geschwindigkeitsfaktor von 2,5 wird hier erst in 80 m ü. Grund erreicht, während dies in Sief schon in etwa 60 m ü. Grund der Fall ist). Dies bedeutet gleichzeitig, daß über der Innenstadt einer zunächst relativ schnellen Zunahme der Windgeschwindigkeit mit der Höhe (bis knapp 40 m ü. Grund) zunächst keine weitere Zunahme mehr folgt (bis etwa 80 m ü. Grund). Es ist davon auszugehen, daß hier eine Sperrschicht vorliegt, die vermutlich durch die Hohlform des Aachener Kessels bedingt ist (siehe Kap. 3.2.1.). Bei der am Meßtag gegebenen Anströmrichtung (NE) ist die Lage des nördlichen Kesselrands maßgeblich, der in Höhen um 60 m über der Innenstadt, also genau im fraglichen Höhenbereich, liegt.

Den relativ günstig erscheinenden Windverhältnissen an den offenen oder exponierten Standorten im Aachener Kessels innerhalb der städtischen Bebauung oder an der Oberkante des Canopy steht also in einer gewissen Höhe oberhalb des Canopy ein Bereich relativ ungünstiger Windverhältnisse gegenüber.

Unter Berücksichtigung der oben erläuterten Tatsache, daß die an der Station Hörn in 10 m über Dach gemessenen Windgeschwindigkeiten größenordnungsmäßig die für die Umgebung von Aachen typischen Freilandverhältnisse in 3,5 m über Grund repräsentieren, können diese Ergebnisse zusammenfassend folgendermaßen interpretiert werden (wobei von Wirkungen der unmittelbaren Nahumgebung, v.a. bei den Stationen Richterich [Windabschirmung] sowie Aachen-Mitte und Oppenhoffallee [Düseneffekte], abgesehen wird).

1. Standorte auf den besonders exponierten Höhenzügen bzw. Kuppen am Stadtrand weisen teilweise besonders hohe und auch für Freilandverhältnisse ungewöhnlich hohe Windgeschwindigkeiten auf.
2. Über der Innenstadt (im Aachener Kessel) treten hohe Windgeschwindigkeiten erst in deutlich größeren Höhen über Grund auf, als dies in der Umgebung der Fall ist.
3. Windverhältnisse, die der Freilandsituation entsprechen und die für den Luftaustausch als günstig einzustufen sind, kommen - bei den Stationen, von denen Daten vorliegen - in den bebauten Flächen im Stadtgebiet nur am oberen Rand des Canopy vor. Im Einflußbereich des Aachener Kessels ist dies anscheinend nur ausnahmsweise und nur dort der Fall, wo stärkere Kanalisierungseffekte gegeben sind (Station "Fachhochschule Dach" in der Belüftungsschneise Ponellbachtal) oder wo die Stationen besonders exponiert liegen (Hörn, Aachen-Wetterstation, Gillesbach-Bahndamm). Es kann angenommen werden, daß solche Windverhältnisse in den außerhalb gelegenen Ortslagen - außer denen in Tallage - an der Oberkante des Canopy generell gegeben sind.
4. Innerhalb des Aachener Kessels und in den markanteren Tallagen werden an der Oberkante des Canopy solche Verhältnisse zwar nicht mehr erreicht, die Belüftungssituation kann hier aber noch als ausreichend bezeichnet werden. Gleiches gilt - je nach konkreter Umgebung - für Standorte innerhalb des Canopy in

den Ortslagen (und auch ansonsten am Stadtrand) und auch noch an z.B. durch Düseneffekte begünstigten Sonderstandorten innerhalb des Aachener Kessels.

5. Generell ungünstige Windverhältnisse liegen im Canopy überall dort innerhalb des Aachener Kessels oder den markanten Tallagen vor, wo eine typisch städtische Bebauungsstruktur gegeben ist. Dies gilt auch für Bereiche mit lockerer Bebauung in ungünstigen Lagen.
6. Extrem ungünstig sind die Verhältnisse dort, wo die Kessellage mit der engen, altstadttypischen Bebauungsstruktur zusammenfällt. Dies betrifft i.w. das am westlichen Rand der Innenstadt zwischen Königshügel und Lousberg gelegene Gebiet.

## Feuchteverhältnisse

### Luftfeuchte

Als Maß für den – in gasförmigem Aggregatzustand – in der Luft enthaltenen Wasseranteil, also die sog. 'Luftfeuchte' wird üblicherweise der Dampfdruck herangezogen. Es ist dies der Partialdruck des in der Luft gasförmig enthaltenen Wassers am gesamten Luftdruck. Im Gegensatz beispielsweise zu denjenigen der 'Relativen Feuchte' sind die Absolutwerte des Dampfdruckes nicht direkt von der jeweiligen Lufttemperatur abhängig. Der Dampfdruck wird nicht gemessen, sondern aus Lufttemperatur und Relativer Feuchte nach der Magnus'schen Formel berechnet als

$$e = 1/100 \times E \times RF \quad /hPa/$$

mit

- e = Dampfdruck /hPa/
- E = Sättigungsdampfdruck /hPa/
- RF = Relative Feuchte /%/.

### Jahresmittel

Mit einer maximalen Spannweite von 1,4 hPa ist die Differenzierung des Dampfdruckes im Stadtgebiet von Aachen vergleichsweise gering. Am "feuchtesten" ist die Luft an den im Talkessel gelegenen Stationen. Hohe Dampfdruckwerte treten auch auf der Hörn auf. "Trockener" ist die Luft im Jahresmittel insbesondere an den Freilandstationen Vetschau, Sief und Tour Baudouin, aber auch an der im Aachener Wald gelegenen Kronprinzenrast. Die Tatsache, daß im Bestandsinneren die gleichen Feuchteverhältnisse herrschen wie auf dem 20m oberhalb des Kronenniveaus gelegenen Tour Baudouin ist sehr wahrscheinlich mit der überwiegenden zyklonalen

Witterung im Untersuchungszeitraum zu erklären (vergl. hierzu Spalte „zyklonale Witterung“ in Tab. 15). Den geringsten Dampfdruck verzeichnet die Station Brand (Kuppenlage).

Station	antizyklonale Witterung		zyklonale Witterung
	Jahresmittel	08.-11.08.98	21.-24.8.98
Hörn	9,6	16,5	13,5
Aachen-Mitte	9,9	16,5	13,6
Burtscheid	9,6	16,4	13,5
Oppenhoffallee	9,6	16,5	13,6
Recyclinghof	9,5	15,9	13,5
Eilendorf	9,2	15,6	12,8
Richterich	9,3	16,0	13,1
Brand	8,5	15,0	12,0
Vetschau	9,1	15,1	12,6
Kornelimünster	9,2	15,5	13,0
Sief	8,8	15,2	-
Tour Baudouin	8,8	14,2	12,3
Kronprinzenrast	8,8	14,5	12,3

Tabelle 15: Dampfdruck im Stadtgebiet von Aachen [hPa] im Untersuchungszeitraum 04/1998 bis 03/1999

### Dampfdruck in Abhängigkeit vom Witterungsgeschehen

Über den Parameter ‚Sättigungsdampfdruck‘ ist der Dampfdruck – indirekt – von der jeweiligen Lufttemperatur abhängig. Die Absolutwerte und damit auch die innerstädtische Differenzierung des Dampfdruckes ist daher im Sommer größer als im Winter. Aus diesem Grunde genügt es, bezüglich der Witterungsabhängigkeit jeweils ein Fallbeispiel aus dem Monat August heranzuziehen.

#### Antizyklonale Witterung

Die innerstädtische Differenzierung ist mit maximal 2,3 hPa erheblich größer als diejenige im Jahresmittel. Die höchsten Dampfdruckwerte treten wiederum an den Stationen im Aachener Kessel und auf der Hörn auf. Hoch ist der Dampfdruck auch in Richterich (um 0,1 hPa höher als in Vetschau). Am „trockensten“ ist die Luft auf dem Tour Baudouin. Hier liegt der Wert um 0,3 hPa unter demjenigen von Kronprinzenrast.

#### Zyklonale Witterung

Infolge der verstärkten horizontalen Durchmischung ist die innerstädtische Differenzierung mit maximal 1,6 hPa deutlich geringer als bei Hochdruckwitterung. Sie liegt jedoch geringfügig über derjenigen im Jahresmittel. Das hängt damit zusammen, daß die Fallbeispiele aus den Sommerhalbjahr herangezogen wurden. Die höchsten Werte treten wiederum im Aachener Kessel und auf der Hörn auf. Am „trockensten“

ist die Luft an der in Kuppenlage befindlichen Station Brand. Im Aachener Wald gibt es keine vertikale Differenzierung des Dampfdrucks (siehe auch: Jahresmittel).

### Schwüle

Unter Schwüle versteht man den Sammelbegriff für Witterungssituationen, die eine ungenügende Wärmeabgabe des menschlichen Körpers hervorrufen. Das ist bei gleichzeitig auftretender hoher Lufttemperatur und Luftfeuchte sowie geringer Windgeschwindigkeit der Fall. Solche Zustände werden in den letzten Jahren über das im DEUTSCHEN WETTERDIENST entwickelte ‚Klima-Michel-Modell‘ quantitativ simuliert (vgl. JENDRITZKY et al., 1990). Aus verschiedenen Gründen ist hier auf die Anwendung dieses Verfahrens verzichtet worden. Stattdessen dient in Anlehnung an die Arbeiten von SCHARLAU (1950) z.B. als quantitative Abgrenzung der Schwüle ein Dampfdruck von mindestens 18,8 hPa. Die innerstädtische Differenzierung der so definierten Tage mit Schwüle ist für den Untersuchungszeitraum in Tabelle 17 dargestellt.

Station	Zahl der Tage mit Schwüle	maximaler Dampfdruck /hPa
Hörn	12	24,4
Aachen-Mitte	12	25,4
Burtscheid	12	25,5
Oppenhoffallee	10	26,6
Recyclinghof	12	24,7
Eilendorf	6	24,4
Richterich	8	25,7
Brand	4	22,3
Vetschau	(7)	[21,7]
Kornelimünster	(8)	[23,4]
Sief	(6)	[22,4]
Tour Baudouin	(4)	[20,7]

( ) Datensatz extrapoliert [ ] Datensatz unvollständig

Tabelle 17: Zahl der Tage mit Schwüle (Kriterium Dampfdruck  $\geq$  18,8 hPa) im Stadtgebiet von Aachen April 1998 bis März 1999

Am häufigsten tritt Schwülebelastung im Aachener Kessel einschließlich der Station Hörn mit bis zu 12 Tagen auf. Deutlich geringer ist die Schwülehäufigkeit in den Außenbezirken Richterich, Kornelimünster und Eilendorf mit 6 bis 8 Tagen. Die gleiche Häufigkeit ist auch an den Freilandstationen Vetschau und Sief zu verzeichnen. Am seltensten ist mit Schwüle auf dem Tour Baudouin sowie in Brand (Kuppenlage) zu rechnen.

Auch die – für einen längeren Zeitraum sicher wenig repräsentativen – Maximalwerte des Dampfdrucks sind im Aachener Kessel, aber auch in Richterich, höher als in den Außenbezirken sowie insbesondere an den Freilandstationen.

### 3.2.2. Meßfahrten

Die Ergebnisse der Meßfahrten wurden in mehreren Schritten aufbereitet. Die Ergebnisse der Windmessungen wurden unmittelbar kartographisch dargestellt und sind im Zwischenbericht dokumentiert; sie werden hier nicht mehr weiter behandelt (HAVLIK und KETZLER, 1999). Die auf den Meßfahrten gemessenen Temperaturen wurden vom Büro für Umweltmeteorologie Paderborn korrigiert und kartographisch dargestellt (BANGERT, 1999). Des Weiteren wurden diese Ergebnisse in Temperaturdifferenzen zur Klimameßstation Aachen-Hörn umgerechnet und hieraus wiederum Mittelwerte für die Abendtermine berechnet (siehe Abb. 20 im Anhang, "Meßwerte an den Meßpunkten"). Unter Einbeziehung von Ergebnissen früherer Temperaturmeßfahrten in einigen weiteren Gebieten wurden die Temperaturverhältnisse flächig interpoliert, so daß nunmehr für etwa 50 % des Stadtgebiets eine Aussage über die abendliche Lufttemperaturverteilung bei Strahlungswetterlagen möglich ist. Für die restlichen Flächen ist nach dem derzeitigen Kenntnisstand keine flächige Darstellung möglich.

Aus Abbildung 20 (im Anhang) lassen sich in bezug auf die Lufttemperatur folgende für den hier zu diskutierenden Zusammenhang wichtige Informationen ableiten:

1. Das Gesamtbild der Verteilung der Lufttemperatur mit höheren Werten im - östlichen - Innenstadtbereich und niedrigeren Werten im Bereich der großen Kaltluftzugsgebiete (Soers, Indetal) stimmt mit der Verteilung der Oberflächenstrahlungstemperaturen - im folgenden: Oberflächentemperaturen - im Thermalbild (Abendbefliegung; Thermalkarte I) weitgehend überein. Großräumige Abweichungen ergeben sich v.a. für die größeren Waldgebiete (hier erfaßt das Thermalbild nur den - warmen - Kronenraum, während die Messung der Lufttemperatur bei 2 m ü. Gr. im - kalten - Stammraum erfolgt).
2. Die Spannweite der gemessenen Lufttemperaturen ist mit ca. 7,3 K deutlich kleiner als die der Oberflächentemperaturen mit mehr als 12 K; d.h. die räumliche Variabilität der Lufttemperatur ist deutlich geringer als die der Oberflächentemperaturen. Für den überwiegenden Teil aller Flächen liegen die Lufttemperaturen sogar in einem engeren Bereich (bezogen auf die Referenzstation Aachen-Hörn zwischen -2K und +2K). Die dargestellten mittleren Lufttemperaturen (aus mehreren Meßtagen) entsprechen in dieser Hinsicht auch sehr genau der Situation zum Zeitpunkt der Thermalbefliegung, wo auf der entsprechenden Meßfahrt bei einem Maximum von 17,4°C und einem Minimum von 9,9°C Differenzen der Lufttemperatur von 7,5 K zu verzeichnen waren. Die Lufttemperaturen sind zum Zeitpunkt der Abendbefliegung überwiegend höher als die entsprechenden Oberflächentemperaturen (insbesondere fehlen Lufttemperaturwerte unter 10°C zum Befliegungszeitpunkt fast völlig), was auf den physikalischen Ablauf zurückzuführen ist, da die nächtliche Abkühlung der Luft das Er-

gebnis des vorgehenden Energieverlusts der Erdoberfläche infolge der negativen Strahlungsbilanz ist und daher zeitlich verzögert eintritt.

3. Sowohl im Thermalbild als auch in der Darstellung der Lufttemperaturen befinden sich die wärmsten Bereiche - abgesehen von den genannten Waldflächen - in der Aachener Innenstadt, wobei die höchsten Temperaturen in beiden Fällen im östlichen Randbereich auftreten (in der bodennahen Luftschicht ist es nur in besonderen Fällen möglich, daß - abweichend von dieser Übereinstimmung bei hohen Oberflächen- und Lufttemperaturen - unmittelbar über sehr warmen Oberflächen niedrige Lufttemperaturen herrschen).
4. Die zentrale Wärmeinsel im östlichen Innenstadtbereich weist Ausläufer in die Bereiche Süsterfeld / Hörn, Jülicher Straße / Grüner Weg, Ostviertel / Rothe Erde sowie entlang der Höhenrücken im Bereich Burtscheid bzw. Schanz auf. Außerdem liegen mehr oder weniger markante lokale Wärmeinseln in den folgenden Gebieten vor: Alt-Forst / Forst / Brand, Oberforstbach / Schleckheim, Walheim, Eilendorf ("Mitte"), Eilendorf (Bayerhaus) / Verlautenheide / Haaren, Berensberg, Richterich, Vaals, Kullen, Kronenberg. Lediglich die zentrale Wärmeinsel mit ihren Ausläufern in den Bereichen Süsterfeld, Jülicher Straße / Grüner Weg und Ostviertel / Rothe Erde befindet sich in relativer Tieflage, alle anderen Wärmeinseln sind am Kuppenlagen gebunden. Nur im ersten Fall kann daher von einer reinen städtischen Wärmeinsel ausgegangen werden; bei den anderen sind reliefbedingte Effekte in jedem Fall mitbeteiligt.
5. Die zentrale Wärmeinsel steht erkennbar unter dem Einfluß von Kaltluft aus dem Stadtrandbereich. Im Süden ragen im Verlauf der Bachtäler Gebiete kalter Luft keilförmig bis in die Innenstadt hinein; im Norden wird der durchgehend relativ dicht bebaute Bereich entlang von Jülicher Straße und Grünem Weg im Verlauf von Wurm und Haarbach von einer Zone mit relativ niedrigen Temperaturen unterbrochen. Offensichtlich wird die Wärmeinsel dadurch deformiert, daß einerseits aus den Bachtälern - aus südlicher Richtung - einströmende Kaltluft die städtische Warmluft zurückdrängt, während andererseits im Norden Kaltluft - v.a. aus dem Haarbachtal und dem Bereich um Gut Kalkofen - eine Erwärmung verhindert (im letzten Fall ist eine regelrechte Überflutung der betroffenen Gebiete mit Kaltluft anzunehmen).
6. Die jeweils absolut kältesten Bereiche sind - im Gegensatz zu den wärmsten - bei Thermalbild und Temperaturkarte nur teilweise deckungsgleich. Im Thermalbild weisen zwar auch Teile der Täler sehr niedrige Temperaturen auf, flächenhaft relativ niedrige Oberflächentemperaturen treten aber auch bevorzugt auf den ebenen Wiesenflächen oberhalb der Täler auf (v.a. im Aachener Süden). Demgegenüber befinden sich die in bezug auf die Lufttemperatur absolut kältesten Bereiche ausschließlich in den Tieflagen der Kaltlufteinzugsgebiete (insbesondere in den Bachtälern, der Soers und - mit dem absolut niedrigsten Wert - das Indetal im Bereich von Kornelimünster und unterhalb, wobei der niedrigste Wert im Nordteil des Stadtgebiets am Westrand von Horbach auftritt). Die Ursache hierfür ist darin zu suchen, daß sich bei kalten - im Gegensatz zur Situation über warmen - Oberflächen die von der Oberfläche ausgehende Abkühlung über großen ebenen Flächen bei fehlender Luftbewegung in

der Bodeninversion bereits in geringer Höhe nicht mehr stark bemerkbar machen muß (relativ "hohe" Lufttemperatur), während im Einflußbereich von Kaltluftströmen von den Hängen her die kältesten Luftpakete zusammenströmen (relativ niedrige Lufttemperatur).

7. Dementsprechend treten die Kaltlufteinzugsgebiete in der Thermalkarte bzw. der Karte der Lufttemperatur unterschiedlich in Erscheinung. Im Thermalbild fallen v.a. die Bereiche mit geringer Luftbewegung (bodennaher Kaltluftstau) durch niedrige Temperaturen auf, während in der Darstellung der Lufttemperaturen v.a. die Kaltluftströme und die Kaltluftsammlgebiete als besonders kalte Gebiete hervortreten. Es sind dies in erster Linie die Bachtäler im Südviertel, die Einzugsgebiete von Senserbach, Wildbach, Amstelbach, Haarbach und Inde (v.a. des Iterbachs) sowie die Soers.

### 3.2.3. Vertikalsondierungen

Wie in Kapitel 3.1.3. erläutert, wurden an insgesamt drei Terminen Vertikalsondierungen in stündlichem Abstand von zwei Standorten aus durchgeführt. Der Standort *Elisenbrunnen* wurde gewählt, um die Vertikalverteilung von Lufttemperatur und Windgeschwindigkeit im Einflußbereich des Aachener Kessels - erstmals - zu untersuchen, die Registrierungen vom Standort *Sief* sollten ergeben, wie sich die Vertikalverteilung dieser beiden Klimaelemente außerhalb / oberhalb des Kessels jeweils zeitgleich darstellt. Wie den als Anhang beigefügten Erläuterungen zu entnehmen ist, kamen unterschiedliche Sondentypen zum Einsatz. Aus verschiedenen Gründen wurde ein Sondenabgleich nicht durchgeführt. Von daher soll bei den nachfolgenden Interpretationen der Ergebnisse auch darauf verzichtet werden, die jeweiligen Ergebnisse von ihren Absolutwerten her miteinander zu vergleichen. Außerdem waren die meteorologischen Bedingungen während der Sondierungskampagnen - trotz jeweils antizyklonaler Witterung - im Detail doch sehr unterschiedlich. Deshalb wurden nur einige stadtklimatologisch relevante Ergebnisse herausgestellt (die Detailergebnisse liegen als Einzelberichte bereits vor).

#### Vertikale Temperaturverteilung

Über dem *Elisenbrunnen* als Typlokalität für die Aachener Innenstadt herrscht am *frühen Abend* (20 Uhr bzw. Mittelwert (18-20 Uhr); vergl. Abb. 21 im Anhang) in der untersten Troposphäre eine schwache Temperaturinversion (deutlich am 08.08.), die unterhalb des Canopy-Layers durch die lokale bodennahe Abkühlung der Rasenfläche bedingt ist. In größeren Höhen nimmt die Temperatur mit zunehmender Höhe etwa trockenadiabatisch (-1K/100m) ab. Hier macht sich die thermische Konvektion über der städtischen Wärmeinsel bemerkbar. Im weiteren Tages-/Nachtverlauf sind die Temperaturverhältnisse über dem Aachener Kessel in den einzelnen Jahreszeiten recht unterschiedlich. Zwischen 21 und 03 Uhr erfolgt die Temperaturabnahme mit der Höhe im Sommer (August) bis mehr als 100m über

Grund trockenadiabatisch, während sich im Frühjahr und Frühsommer zur gleichen Zeit im sechsstündigen Mittel (!) bis in Höhenlagen von 180m über der Stadt eine bzw. mehrere Temperaturinversionen (am 31.03./01.04.: mit „blättriger Struktur“) entwickelt haben. Die relative Höhe von 150 - 180 m entspricht etwa derjenigen des Aachener Waldes (Baumkronenniveau). Zumindest der untere Bereich des Aachener Kessels hat sich mit Kaltluft gefüllt.

Über **Sief** reicht die im übrigen wesentlich markanter entwickelte Temperaturinversion dagegen nur bis in eine Höhe von ca. 80 m über Grund, d.h. wiederum bis zur Obergrenze des Aachener Waldes.

Hinzuweisen ist insbesondere auf die Tatsache, daß die Temperaturen in ca. 200 m über dem Elisenbrunnen bzw. ca. 80 m über Sief denen an der temporären Feststation Tour Baudouin registrierten entsprechen. Dieser Umstand wurde in Kapitel 3.2.1. berücksichtigt.

### **Vertikale Windverteilung**

Deutlicher als bei der Lufttemperatur ist der Einfluß des Aachener Kessels und seiner Bebauungsstruktur bei der vertikalen Windverteilung zu erkennen (Abb. 22 im Anhang). So ist in jeweils 100 m über Grund, d.h. in einem Niveau, in dem der Einfluß der Bodenreibung - bei antizyklonaler Witterung - jedenfalls keine entscheidende Rolle mehr spielt, die mittlere Windgeschwindigkeit zwischen 21 und 03 Uhr über dem Elisenbrunnen (August 2,9 m/sec, Mai 1,4 m/sec) jeweils deutlich niedriger als diejenige über Sief (August 4,3 m/sec, Mai 2,7 m/sec). Wegen der jeweils unterschiedlichen Anströmrichtung während der einzelnen Meßkampagnen ist der Einfluß des Aachener Waldes auf die Windverhältnisse über Sief nur schwer nachzuweisen. Der Aachener Kessel wirkt sich auf Grund seiner Topographie auf jeden Fall windabschwächend aus. Dies im Zusammenhang mit der geschilderten häufig auftretenden Temperaturschichtung bewirkt insgesamt ungünstige Luftaustauschverhältnisse über dem Aachener Kessel, zumindest bei austauscharmer Hochdruckwitterung.

### **3.2.4. Rauchgasversuche**

Für die insgesamt 7 Standorte der Rauchgasversuche wurden zusammenfassend folgende wesentliche Ergebnisse gewonnen (Einzelergebnisse und Kartenskizzen: s. Anhang).

Im Bereich *Dorbachtal / Steppenber* wurden zwei Versuchsreihen durchgeführt (beide bei nicht optimaler Witterung, davon einmal bei talaufwärts gerichteter Oberströmung). Für das Dorbachtal auf der Höhe Steppenber zeichnet sich ab, daß die aus dem oberen Bereich des Dorbachtals einströmende Kaltluft bei in diesem Abschnitt relativ geringem Längsgefälle und einer relativ offenen Lage des Tals leicht durch Bebauung und Gehölzbestände gestört und unter dem Einfluß ggf. vorhandener ungünstiger Oberströmung verwirbelt werden kann. Den Bereich Vaalser Straße / Uniklinikum erreicht die Kaltluft dann anscheinend nur langsam und in reduzierten Mengen (aber immerhin noch bei entgegengerichteter Oberströmung!). Bodennahe

Kaltluft von den Freiflächen westlich der Bahnstrecke (unterhalb des Friedrichwaldes) sammelt sich unter günstigen Bedingungen östlich des Bahndamms und strömt von dort aus durch die Talmulde am Kloster Marienheim vorbei entlang des Gemmenicher Wegs in Richtung Vaalser Straße, wobei ein Zustrom aus dem Dorbachtal über den niedrigen Bahndamm zu erwarten ist.

In *Burtscheid* wurden bei vorherrschenden Windrichtungen um NW (Hörn) Kaltluftabflüsse entlang der Malmedyer Straße bzw. auf diese zu (jeweils etwa aus südlichen bis südöstlichen Richtungen) festgestellt, deren Intensität in Richtung Burtscheid-Zentrum anscheinend abnahm. Nahe der Kapellenstraße war die Kaltluft offenbar bereits teilweise unter dem Einfluß der Oberströmung (also teilweise aufgelöst).

Im Bereich *Eilendorf-Ost* wurde an den Hängen des Wolfsbergs an zwei Terminen bodennaher Kaltluftabfluß in Richtung Haarbachtal festgestellt, wobei unterhalb von Eilendorf-Markt unmittelbar am Haarbach ein Einlenken in die Talrichtung in Verbindung mit zunehmenden Rauchmächtigkeiten stattfand. Direkt unterhalb der Ortslage Eilendorf-Markt war in einem Fall nicht klar zu identifizieren, ob es sich um Kaltluftabfluß in talabwärtige Richtung oder um eine Rauchverfrachtung unter Einfluß der Oberströmung (Hörn: E) handelte.

Im Bereich *Haaren-Nord / Kreuzstraße* ergaben sich keine eindeutigen Hinweise auf erhebliche Kaltluftabflüsse in Form eines Kaltluftstroms. Hier konnte nicht eindeutig geklärt werden, ob dies durch ungünstige Witterung (mit-) verursacht wurde. Es ist nach den Ergebnissen aber wahrscheinlich, daß Hangkaltluft aus dem Bereich Haarbach zumindest Teile des Siedlungsbereiches beeinflusst.

Im Bereich *Lousberg / Purweider Feld* wurde bodennaher Kaltluftabfluß - auch bei nahezu entgegengerichteter Oberströmung - einerseits in Richtung Champier / Gärtnerei (dort dann auch in einigen Metern ü. Gr.) und andererseits westlich der Siedlung Talbothof in Richtung des Weihers am Kloster St. Raphael festgestellt; nach den Ergebnissen der Rauchversuche staut sich die Kaltluft zwar etwas am Rand der Bebauung, zieht jedoch in die Bebauung hinein.

In der Talmulde im Bereich *Westbahnhof / Kopernikusstraße* wurde an zwei Terminen bodennaher Kaltluftabfluß in Richtung Westbahnhof beobachtet. Teilweise kam es im Bereich Seffenter Weg zu Kaltluftstau, teilweise konnte aber anhand der Rauchbewegung - trotz mehr oder weniger entgegengerichteter Oberströmung - ein Durchströmen zwischen den dortigen Gebäuden und Gehölzbeständen in Richtung Bahnhofsgelände nachgewiesen werden.

Im *Wildbachtal / Schurzelter Mühle* ergab sich, daß die aus dem oberen Talbereich einströmende Kaltluft den Bahndamm teilweise durchströmt, dann in Talrichtung (nach E) weiterströmt und sich an der Bebauung im Bereich Gewerbegebiet Schurzelter Straße auffächert; teilweise wird der Bahndamm unter Richtungsänderung (nach NE) überströmt. Im Bereich Rathausstraße ergaben Hinweise für ein Durchströmen der Bahnunterführung entlang der Rathausstraße. Am Durchstich durch den alten Bahndamm im Bereich Schloßparkstraße wurde keine gerichtete Kaltluftströmung festgestellt.

### 3.2.5. Thermalbefliegung

Vom Flugzeug aus kann flächenhaft die Temperatur der Erdoberfläche dargestellt werden. Kurzgefaßt liegt diesem Verfahren folgendes physikalische Prinzip zugrunde :

Die Erdoberfläche absorbiert in im einzelnen unterschiedlichem Maße die auf sie treffende kurzwellige elektromagnetische Sonnenstrahlung und wird dadurch erwärmt. Nach dem Kirchhoff'schen Gesetz bedeutet hohe Absorption = hohe Oberflächentemperatur auch hohe Emission = Abstrahlung. Das heißt, je höher die Oberflächentemperatur, desto intensiver ist die Abstrahlung (Strahlungsflußdichte) und umgekehrt.

Wegen ihrer vergleichsweise niedrigen Temperatur strahlt die Erdoberfläche im langwelligen Bereich ab. Nach dem Planck'schen Strahlungsgesetz liegt das Maximum der Erdstrahlung in einem Wellenlängenbereich von etwa 8.000 bis 14.000 nm und damit im thermischen Infrarot. In diesem Spektralbereich befindet sich das sog. Große Atmosphärische Fenster. Dieser Umstand hat zur Folge, daß die Erdstrahlung in nur sehr geringem Maße durch atmosphärische Spurengase absorbiert wird und deshalb nahezu ungehindert zum Meßgerät gelangen kann. Die bei ca. 10.000 nm gelegene schmale Absorptionsbande des Ozons ist für die vorliegende Problemstellung dabei unerheblich, da die Thermalbefliegungen zu Beginn bzw. Ende der Nachtdunkelheit durchgeführt wurden, d.h. zu Tageszeiten mit vergleichsweise geringer Ozonkonzentration in der unteren Troposphäre.

Nach dem geschilderten Prinzip wird durch einen am Rumpf eines Flugzeuges angebrachten Thermalscanner (hier : Typ DAEDALUS AADS 1250; Erläuterungen: s. Anhang) aus einer Flughöhe von ca. 3.000 m über Grund die jeweilige Strahlungsflußdichte und damit die jeweilige Temperatur der Erdoberfläche für eine Fläche von jeweils ca. 7,5 x 7,5 m mit einer Auflösung von ca. 0,1 K digital aufgezeichnet. Die entsprechenden Datensätze werden anschließend farbcodiert und graphisch zur Darstellung gebracht.

Die Befliegungen fanden bei wolkenloser windschwacher Witterung statt am 23. Sep. 1998 zwischen 19.55 und 21.02 MESZ (Abendaufnahme) sowie am 24. Sep. 1998 zwischen 05.27 und 06.47 MESZ (Morgenaufnahme).

Die dargestellten Oberflächenstrahlungstemperaturen sind nicht mit den - normalerweise in 2 m Höhe gemessenen - Lufttemperaturen gleichzusetzen, jedoch gibt es zwischen beiden einen Zusammenhang. Ist eine Fläche wärmer als die sie umgebende Luft, kommt es zu einem Wärmefluß von der Fläche zur Luft hin, wodurch sich die Lufttemperatur der Oberflächentemperatur anpaßt. Ist umgekehrt die Luft wärmer als die Oberfläche, so werden sich - entsprechend dem durch den Temperaturgradienten hervorgerufenen Wärmefluß von der Luft zur Oberfläche hin - beide Temperaturen ebenfalls angleichen. Der kleinräumige Wechsel verschiedener Oberflächen mit unterschiedlichem Wärmeverhalten ruft in den Thermalbildern ein Mosaik aus warmen und weniger warmen Flächen hervor. Aufgrund von Mischungsvorgängen in der Luft sind die räumlichen Unterschiede der Lufttemperatur jedoch nicht so groß wie die der Oberflächenstrahlungstemperaturen. Während Lufttempe-

raturmessungen nur punktuell durchgeführt werden können, ermöglichen Thermalscanneraufnahmen eine flächenhafte Darstellung der thermischen Verhältnisse.

Neben der Darstellung der Oberflächenstrahlungstemperaturen werden in den Thermalkarten zusätzlich zwei Oberflächenarten besonders gekennzeichnet, um eine Fehlinterpretation der Thermalkarten zu vermeiden:

- Oberflächen aus einem Material mit einem geringen Emissionsvermögen - wie beispielsweise Metall- und Glasdächer - erscheinen in einer Thermalaufnahme deutlich kälter als sie es in Wirklichkeit sind. Solche Flächen sind in den Karten daher in Grau dargestellt.
- Wälder und dichte Gehölzbestände stellen einen weiteren Sonderfall dar, der bei der Interpretation von Oberflächenstrahlungstemperaturen beachtet werden muß. Der Thermalscanner tastet das Kronendach ab, wo sich auch die Hauptenergieumsatzfläche der Wälder befindet. Hierdurch erscheinen Wälder in Thermalaufnahmen häufig relativ warm, obwohl die Stammraumtemperatur i.d.R. deutlich niedriger ist. In den Karten sind daher Waldflächen mit einer besonderen Signatur gekennzeichnet.

### **Thermalkarte „Abendsituation“**

Die Thermalkarte „Abendsituation“ (siehe Anlage) zeigt den Zustand kurz nach Sonnenuntergang, nachdem sich die unterschiedlichen Oberflächen im Laufe des Tages aufgrund der Sonneneinstrahlung erwärmen konnten.

Siedlungsflächen wie das Stadtzentrum (im folgenden ist jeweils das Gebiet "Aachen-Mitte" in der Thermalkarte gemeint und nicht die gleichnamige Innenstadt-Station) und die bebauten Flächen im Außenbereich sind durch hohe Temperaturen (Gelb- und Rottöne) gekennzeichnet, während die landwirtschaftlich genutzten Gebiete niedrigere Temperaturen aufweisen (Grün- bis Blautöne). Neben den Siedlungsbereichen besitzen jedoch auch die Waldgebiete hohe Oberflächentemperaturen, da nicht der kühle Stammraum sondern das Kronendach dargestellt ist.

„Aachen-Mitte“ weist insgesamt die höchsten Temperaturen auf. Hierbei handelt es sich jedoch nicht um eine geschlossene Wärmeinsel, sondern um ein Nebeneinander von sehr warmen und weniger warmen Flächen, entsprechend der räumlichen Variabilität der unterschiedlichen Oberflächenarten im Stadtbereich. Besonders stark überwärmt sind die größeren Hauptverkehrsstraßen sowie einzelne Plätze, die in die höchste Temperaturklasse von „über 17 °C“ fallen. Größere Grün- und Parkanlagen heben sich durch ihre niedrigen Temperaturen deutlich von den bebauten und versiegelten Flächen des Aachener Stadtzentrums ab. Solche nichtbebauten Freiflächen nehmen innerhalb des insgesamt überwärmten Innenstadtbereiches eine wichtige thermische Ausgleichsfunktion wahr. Zwar ist die Wirkung solcher Grünflächen über ihren Bereich hinaus in die bebaute Umgebung nur gering, jedoch stellen sie, u. a. durch die beschattende Wirkung von Bäumen, bioklimatisch günstige Aufenthaltsbereiche für die Stadtbevölkerung dar.

Mit zunehmender Entfernung und vom Stadtzentrum zum Stadtrand hin nehmen die Oberflächentemperaturen ab, was auf die stärkere Durchgrünung der weniger dicht bebauten Randbereiche zurückzuführen ist. Innerhalb der locker bebauten Randbereiche heben sich die versiegelten Straßenzüge wiederum durch höhere Temperaturen ab.

Außerhalb von „Aachen-Mitte“ werden die höchsten Temperaturen in den Vororten sowie in den nordöstlich und östlich anschließenden Industrie- und Gewerbegebieten erreicht. So kommen beispielsweise in Eilendorf und Richterich Temperaturen der höchsten Klasse „über 17°C“ vor. Insgesamt sind die Vororte im Vergleich zu „Aachen-Mitte“ jedoch weniger stark überwärmt und eher vergleichbar mit den locker bebauten Siedlungsbereichen am Rand von „Aachen-Mitte“. In den Vororten heben sich die überwärmten versiegelten Straßenzüge und Häuserzeilen (meist über 14°C) von den durch mehr Vegetation geprägten und somit kühleren Flächen ab. Das dichte räumliche nebeneinander von stark überwärmten und weniger warmen Flächen ist auch in den Industrie- und Gewerbegebieten sichtbar, wobei hier jedoch Flächen mit höheren Temperaturen überwiegen.

Neben den Siedlungsbereichen besitzen auch die Autobahnen und andere Straßen hohe Temperaturen, so daß sie als rote Linien im landwirtschaftlich genutzten Bereich hervorstechen.

Die unbebauten Freiflächen innerhalb der Stadtgrenze Aachens werden - abgesehen von kleineren Wasserflächen - von landwirtschaftlichen sowie forstwirtschaftlichen Flächen eingenommen.

Die Wälder erscheinen auf der Thermalkarte mit relativ hohen Temperaturen zwischen ca. 12°C und 17°C. Hierbei muß jedoch beachtet werden, daß durch den Thermalscanner nur die Oberfläche des Kronendachs erfaßt wird, nicht jedoch die Verhältnisse im Stammraum, wo weitaus niedrigere Temperaturen herrschen. Die in Rottönen erscheinenden Waldflächen sind also nicht mit der überwärmten Innenstadt zu vergleichen sondern besitzen thermisch günstigere Verhältnisse.

Das Temperaturniveau der landwirtschaftlich genutzten Flächen liegt deutlich unter dem der bebauten Flächen, weist jedoch eine relativ starke Streuung auf. Entsprechend der Landnutzung und dem Zustand der Äcker bzw. des Grünlandes liegen die Oberflächentemperaturen in der Klasse „unter 5°C“, erreichen aber auch Werte bis hin zu 14°C. Die kältesten landwirtschaftlichen Flächen liegen südöstlich von Brand. Dieses als Grünland genutzte Gebiet hat überwiegend Oberflächentemperaturen von 6°C bis 10°C. Deutlich wärmer sind die ackerbaulich genutzten Flächen im Norden und Westen, die Temperaturen von meist 10°C bis 13°C aufweisen. Während dem Grünland durch die Evapotranspiration von Vegetation und Boden Energie entzogen wird und es dadurch abkühlt, ist die Evapotranspiration auf den abgeernteten und somit vegetationsfreien Ackerflächen insgesamt geringer, so daß diese sich tagsüber relativ stark erwärmen können. Die in dem ackerbaulich genutzten Bereich erkennbaren thermischen Grenzen fallen mit den Parzellengrenzen zusammen, da sich entsprechend dem Zustand der Ackerflächen (z. B. abgeerntetes Stoppelfeld oder bereits umgebrochene Bodenoberfläche) unterschiedliche Oberflächentemperaturen ausbilden. Das thermische Muster der Ackerflächen kann daher zu einem anderen Zeitpunkt anders aussehen.

### **Thermalkarte „Morgensituation“**

In der Thermalkarte "Morgensituation" (siehe Anlage) ist der Zustand der maximalen Abkühlung kurz vor Sonnenaufgang dargestellt, so daß allgemein die in blauen und grünen Farbtönen dargestellten niedrigen Temperaturen dominieren.

Trotz des insgesamt niedrigeren Temperaturniveaus heben sich die Siedlungsflächen durch ihre höhere Temperatur von den sie umgebenden Flächen ab, wobei jedoch auch die Waldgebiete durch hohe Temperaturen auffallen. Ähnlich wie in der Abend- ist auch in der Morgenaufnahme ein räumliches Nebeneinander von erwärmten Straßenzügen (bis ca. 14°C) und weniger warmen Siedlungsbereichen erkennbar. Die Straßen und Gebäude erwärmen sich tagsüber stark, und geben die Energie in Form von langwelliger Strahlungsenergie nachts wieder an ihre Umgebung ab. Aufgrund der Horizonteinschränkung ist dabei die Abkühlung innerhalb Straßenschluchten geringer als im Dachniveau.

Die wärmsten Flächen sind jedoch nicht die Siedlungsbereiche sondern die kleinen Seen im Umland. Wasser besitzt ein äußerst hohes Wärmespeichervermögen und reagiert nur sehr langsam auf Temperaturänderungen. Das sich tagsüber erwärmende Wasser gibt daher auch noch in den Morgenstunden Wärme an die kühlere Umgebung ab und erscheint somit in der Thermalaufnahme als warme Fläche, meist in der Klasse „14°C bis 15°C“. Die extrem warme Wasserfläche nördlich von „Aachen-Mitte“ (an der Stadtgrenze von Aachen gelegen) ist die Zentralkläranlage an der Wolfsfurth und weist Temperaturen der höchsten Klasse „über 17°C“ auf.

Auffallend ist auch die starke Abkühlung der Freiflächen bis unter 5°C, die das Stadtgebiet fast ringförmig umgeben. Diese Kalt- und Frischluft produzierenden Flächen stehen damit im Kontrast zu den überwärmten Straßenschluchten im Siedlungsbereich. Durch die ungehinderte Ausstrahlung langwelliger Strahlungsenergie kühlt sich die Bodenoberfläche ab, was wiederum eine Abkühlung der den Flächen aufliegenden Luftschichten verursacht. Bei einer entsprechenden Windbewegung oder wenn das Relief ein Abfließen der Kaltluft ermöglicht, kann diese kalte Luft in bebaute Gebiete vordringen und dort die negativen Auswirkungen der städtischen Wärmeinsel mildern. Besonders hervorzuheben ist die kalte Fläche zwischen den nordöstlich an "Aachen-Mitte" anschließenden Industrie- und Gewerbegebieten, da sie in unmittelbarer Nähe dieser überwärmten Gebiete liegt.

Während die hohen Temperaturen der Wälder zu Beginn der nächtlichen Abkühlungsphase (vgl. Aufnahme "Abendsituation") durch die in der Astholzmasse gespeicherten Wärme - die ein schnelles Abkühlen der zwischen den Blättern und Ästen befindlichen Luft und auch der Blätter verhindert - erklärt werden kann, erwartet man in den Morgenstunden aufgrund der langen nächtlichen Ausstrahlungsphase jedoch eine viel stärkere Abkühlung. Auf der Thermalaufnahme „Morgensituation“ erscheinen die Wälder jedoch als relativ warme Flächen. Dies ist dadurch zu erklären, dass die sich aufgrund von Ausstrahlungsverlusten am Kronendach abkühlende Luft nach unten in den Stammraum absinkt und somit warme Luft in den Kronenraum nachströmen kann. Aus dem Stammraum erfolgt bei entsprechendem Relief ein Abfließen der Kaltluft, so daß Wälder Kaltluftproduzenten darstellen können, obwohl sie in der Thermalaufnahme warm erscheinen.

## Differenzkarte Abend / Morgen

Aus der Abend- und Morgenaufnahme wurde eine Temperaturdifferenzkarte (siehe Anlage) erstellt. Die meisten Flächen zeigen eine erwartete Abkühlung, die Werte bis über 7 K annimmt (grüne und blaue Farbtöne). Besonders auffällig sind Gleisanlagen und breite Straßen. Zu den Flächen mit geringer Abkühlung oder nahezu konstanter Temperatur zählen meist Wiesen im Umland. Die konstante Temperatur auf niedrigem Niveau deutet auf Feuchte hin. Kommt es bei Einstrahlung durch Verdunstung zu einem Energieentzug und damit zur Abkühlung, ist unter Ausstrahlungsbedingungen unmittelbar an der Erdoberfläche mit Kondensation zu rechnen, was Wärme freisetzt. Daher kann es in besonderen Fällen auch zu einer geringen Temperaturerhöhung kommen. Dies ist an Freiflächen im Südraum von Aachen sichtbar (gelbe Flächen; hier kommt die Wirkung einer in dieser Nacht zu beobachtenden Warmluftadvektion hinzu, die für die Aufgabenstellung allerdings keine konkrete Bedeutung hat). Die niedrige abendliche Temperatur sinkt aufgrund des feuchten Wiesenbodens, der eine hohe „thermische Trägheit“ besitzt, nicht weiter ab. Die bodennahe Luft gibt in den Morgenstunden Kondensationswärme an den Boden ab, der diese als Wärmestrahlung gleich wieder abgibt und daraufhin eine erhöhte Oberflächenstrahlungstemperatur aufweist. Dieser Effekt ist bereits von anderen Aufnahmen bekannt und tritt besonders in frühherbstlichen (aber noch nebfreien) Situationen auf. Bodennebel, der auf den Aufnahmen aber nicht zu sehen ist, würde diesen Effekt verwischen.

Waldflächen kühlen je nach Dichte und Lage verschieden stark ab. Dichte Wälder speichern die Wärme. Wälder auf Kuppen (z.B. Karlshöhe) profitieren von der Warmluftzirkulation und kühlen daher kaum ab. Die Luft kühlt besonders in den Hangbereichen ab und kann bei dichten, tief gelegenen Wäldern über das Kronendach abfließen. Dieser Kaltluftabfluß bewirkt im unteren Hangbereich einen Abkühlungseffekt.

Einzelne Flächen (meist in Industriegebieten) zeigen ein anomales Temperaturverhalten und sind grau gekennzeichnet (s. Diskussion im Kapitel „Klassifizierte Thermalkarte“).

## Klassifizierte Thermalkarte

In einer windschwachen Strahlungswetterlage zeigen Oberflächen während der nächtlichen Abkühlungsperiode ein charakteristisches nahezu lineares Abkühlungsverhalten. Sind  $T_1$  und  $T_2$  die Temperaturwerte eines Oberflächenelements in der Abend- bzw. Morgenaufnahme, so läßt sich das Oberflächentemperaturverhalten durch die Parameter

Abkühlung	$\Delta T = T_1 - T_2$ und	
mittlere Temperatur	$T_m = \frac{1}{2} (T_1 + T_2)$	beschreiben.

Auf dieser Beziehung beruht die Herstellung der Klassifizierten Thermalkarte (auch als „Klimatopkarte“ bezeichnet), bei der die Bildverbände der Abend- und Morgens-

tuation 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) so verhalten, daß sie charakteristische Werte der mittleren Temperatur und Abkühlung zeigt. Um die aus den Thermalaufnahmen gewonnenen, individuellen  $T-T_m$ -Werte mit den theoretischen Idealwerten vergleichen zu 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 Oberflächentemperaturverhaltens in 13 Klimatopklassen. Dabei werden die festen Landoberflächen durch die 12 Klassen B bis M, Wasserflächen durch die Klasse A 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.

Die Klassifizierte Thermalkarte (siehe Anlage) läßt typische Zusammenhänge zwischen Nutzung und Klimatopklasse erkennen. Am auffälligsten sind neben den klassischen „roten“ Wärmeinseln (bebaute Gebiete von "Aachen-Mitte" und den umliegenden Ortschaften) die roten Flächen südlich von Aachen. Dabei handelt es sich nicht um Wärmeinseln, sondern um Waldflächen (punktierte Darstellung). Das besondere Verhalten von Wäldern auf Thermalaufnahmen wurde bereits mehrfach erläutert. Im Umland herrschen die gelben, grünen und blauen Klassen vor, die mit lockerer Bebauung bzw. Freiland zusammenhängen. Die grünen und insbesondere blauen Klassen hängen mit Kaltluftflächen zusammen.

Bei genauerem Hinsehen läßt sich eine feinere Zuordnung zwischen Nutzung und Klimatopklasse erkennen (s. Tab. 18). Dabei zeigt sich, daß es keine allgemeingültige Korrelation zwischen Nutzungsart und Klimatopklasse gibt. So können Straßen z.B. sowohl in den roten als auch in den gelben Klassen liegen, je nachdem ob sie in dicht besiedeltem Gebiet liegen oder übers Land führen. Bei Landwirtschafts- und Waldflächen ist die Schwankungsbreite noch größer: von blau über grün bis gelb und rot sind alle Klassen vertreten. Hier sind es vor allem die Faktoren Vegetation, Bodenfeuchte und Geländeform, die das Erscheinungsbild beeinflussen. Damit wird klar, daß man sehr genaue Kenntnisse über das Untersuchungsgebiet benötigt, um keine falschen Aussagen aus Thermalaufnahmen abzuleiten.

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

Klimatop- klasse	Farbcodie- rung	Vorkommen
A	sehr helles blau	Wasserflächen mit konstanter Temperatur (hier nur in wenigen Pixeln vorhanden)
B	dunkelrot	kleine Gewässer (Teiche)
C	rot	Verdichtete Bebauung; Straßenzüge in Siedlungen; kleinere versiegelte Flächen; Wälder am Oberhang und auf Kuppen
D	hellrot	Straßenzüge in Siedlungen; größere versiegelte Flächen, bevorzugt in Gewerbe- und Industriegebieten; Wälder am Oberhang und auf Kuppen
E	dunkles gelb	vereinzelte landwirtschaftliche Flächen und Wege
F	gelb	Siedlungsflächen; große Überlandstraßen und Straßen in locker bebauten Siedlungen; Wälder im mittleren bis unteren Hangbereich; Gleisanlagen
G	helles gelb	Siedlungsflächen; innerstädtische Parks und sonstige baumbestandene Freiflächen; innerstädtische Gleisanlagen; große Überlandstraßen und Straßen in locker bebauten Siedlungen; Wälder im mittleren bis unteren Hangbereich
H	dunkelgrün	Landwirtschaftliche Flächen mit höherer Feuchte (vor allem im Südraum)
I	grün	Landwirtschaftliche Flächen, z.T. in leicht erhöhten Lagen; innerstädtische Grünflächen mit niedriger Vegetation (z.B. Sportplätze, Hausgärten); Wälder am Unterhang
J	hellgrün	punktuell in Ackerflächen; innerstädtische Grünflächen mit niedriger Vegetation (z.B. Sportplätze, Hausgärten); Wälder am Unterhang
K	dunkelblau	Feuchte Wiesenflächen und z.T. Ackerflächen in Geländesenken
L	blau	Acker- und Wiesenflächen, bevorzugt in Geländesenken und Flußauen; größere innerstädtische Freiflächen; Sportplätze; hochgelegene Rodungsinseln
M	hellblau	Acker- und Wiesenflächen, bevorzugt in Geländesenken und Flußauen; punktuell in größeren innerstädtischen Freiflächen;
--	grau	nicht klassifizierte oder fehlklassifizierte Bereiche (künstliche Oberflächen mit verfälschendem Ausstrahlungsverhalten)

Tabelle 18: Zusammenhang Nutzung - Klimatopklassen

## **Gewässer**

Freie Wasserflächen unterscheiden sich in ihrem thermischen Verhalten deutlich vom Erdboden. Wichtigstes Kennzeichen ist ihr ausgeglichener Temperaturgang, d.h. die Schwankungen zwischen Tag und Nacht und auch zwischen den Jahreszeiten sind sehr viel kleiner als beim festen Boden. Verantwortlich dafür sind die folgenden drei physikalischen Besonderheiten von Wasser:

- Kurzwellige Strahlung kann - insbesondere bei klaren Gewässern - bis in große Tiefen vordringen, und die Energiezufuhr bleibt nicht auf die Oberfläche beschränkt.
- Wasser kann durch Strömungen und Wind durchmischt werden, so daß die aufgenommene Energie auf ein größeres Volumen verteilt wird.
- 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.

Die Folge dieser Eigenschaften ist, daß Seen und Flüsse an heißen Sommertagen kühler sind als das viel stärker erhitzte Land, in der Nacht jedoch wärmer. Auf der Klassifizierten Thermalkarte, die das nächtliche Oberflächentemperaturverhalten darstellt, sind die Wasserflächen somit die wärmsten Oberflächen und erscheinen in der dunkelroten Klasse B und vereinzelt in sehr hellem Blau. Manche Gewässer, v.a. kleinere Flüsse und Teiche sind aufgrund der geringen Wassertiefe und erhöhte Trübung etwas kühler.

## **Landwirtschaftsflächen**

Wie eben beschrieben sind Wärmeaufnahme- und -speicherfähigkeit beim festen Boden ganz anders als beim Wasser. Die Energieumsätze bleiben auf die obersten Bodenschichten 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 wesentlich von der Wärmeleitfähigkeit des Bodens ab. Diese wiederum wird von der Bodenart, der Bodenfeuchte und dem Luftgehalt des Bodens bestimmt. So leitet z.B. Lehm besser als Sand oder Torf, nasser Boden besser als trockener, verdichteter Boden besser als lockerer. Je größer die Wärmeleitfähigkeit, um so kleiner sind die Temperaturschwankungen an der Bodenoberfläche und umgekehrt.

Neben den Bodeneigenschaften an sich hat das Vorhandensein einer Vegetationsdecke einen großen Einfluß auf das thermische Verhalten von Landwirtschaftsflächen. Da Pflanzenbestände im allgemeinen ein lockeres Gefüge mit einem hohen Luftanteil besitzen, sind sie ausgesprochen schlechte Wärmeleiter und können auch selbst kaum Wärme aufnehmen. Damit wird bewachsenem Boden wesentlich weniger Wärme zugeführt als unbewachsenem. Wiesen und mit Ackerfrüchten bestandene Felder sind daher sowohl tagsüber als auch nachts kühler als vegetationsfreier Boden. Insbesondere Wiesen kühlen nach Sonnenuntergang sehr rasch aus. Sichtbares Zeichen dafür ist die Entstehung von Nebelschwaden über den Wiesen. Aus

den genannten Gründen weisen landwirtschaftliche Flächen auf der Klassifizierten Thermalkarte ein recht breites Spektrum an Klimatopklassen auf.

## Wälder

Wälder stellen die höchste und dichteste Form einer Vegetationsdecke dar. Wie bei einer Wiese oder einem Weizenfeld findet auch hier der Energieumsatz nicht mehr am Boden, sondern an der Oberfläche der Vegetation, also am Kronendach statt. Der Bereich unterhalb der Baumkronen, der sog. Stammraum, wird somit von Ein- und Ausstrahlung weitgehend abgeschirmt, so daß sich hier ein eigenes Bestandsklima ausbilden kann. Wichtigstes Merkmal dieses Bestandsklimas ist - ähnlich wie beim Wasser - der ausgeglichene 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 die höhere Verdunstung.

Auch 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 - zusammen mit einer Filterwirkung an den Blattoberflächen - die gesamte Konzentration an Luftschadstoffen in der bodennahen Luftschicht herabgesetzt wird. Wälder besitzen also eine hohe klimatische Gunstfunktion für den Menschen.

Auf der Klassifizierten Thermalkarte erscheinen Wälder meist in den gelben oder sogar in den roten, also relativ warmen Klimatopklassen. 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 und auf Kuppen 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. Die Tatsache, daß auch bewaldete Talsohlen in den blauen Klimatopklassen liegen, spricht außerdem dafür, daß über das Kronendach hinweg ein Kaltluftabfluß stattfindet.

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.

## **Straßen und Gleisanlagen**

Straßen und sonstige asphaltierte Flächen gehören zu den wärmsten Landoberflächen an einem heißen Sommertag und zwar sowohl tags als auch nachts. Durch ihre dunkle Farbe und die fehlende Verdunstung heizen sie sich tagsüber stark auf. Nachts wird die gespeicherte Wärme dann wieder an die Luft abgegeben. Besonders in dicht bebauten Gebieten bleiben die Straßen die ganze Nacht hindurch relativ warm und erscheinen daher auf der Klassifizierten Thermalkarte als rote Bänder. Im Freiland kühlen sie etwas stärker ab und sind dort überwiegend den gelben Klassen zugeordnet.

Bei Bahnanlagen liegen die Verhältnisse etwas anders. Der dunkle Schotterkörper heizt sich zwar tagsüber an der Oberfläche genauso stark auf wie eine Straße, er kann jedoch durch die zwischen den Schottern eingeschlossene Luft die Wärme schlechter weiterleiten und speichern als der Asphalt. Daher kühlen Gleisanlagen wesentlich rascher aus als Straßen und erscheinen auf der Klassifizierten Thermalkarte im Stadtbereich in den gelben Farben, wie beispielsweise die Gleisanlagen am Hauptbahnhof. Im Umland sind Bahngleise im Gegensatz zu Straßen auf Thermalaufnahmen oft kaum noch zu erkennen.

## **Wohngebiete**

Bei bebauten Gebieten hängt das thermische Erscheinungsbild stark von der Dichte, Höhe und Anordnung der Häuser, von der Durchgrünung und von der Lage des Gebietes 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.

Einen guten Eindruck von der thermischen Variabilität der Wohngebiete in Aachen erhält man, wenn man von der intensiv überwärmten und dementsprechend rot gefärbten Innenstadt nach Süden geht. Die roten Farben gehen allmählich in die gelben und grünen Farbtöne über, was auf eine gute nächtliche Abkühlung schließen läßt (Wirkung der "Bachtäler").

## **Gewerbe- und Industriegebiete**

Für Gewerbe- und Industriegebiete gilt prinzipiell das gleiche wie für die Wohngebiete. Allerdings sind hier die 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 Flächen mit verfälschtem Ausstrahlungsverhalten (grau dargestellt). Dabei handelt es sich um Hallendächer mit besonderen Strahlungseigenschaften, z.B. aus Metall.

Für solche Dächer kann die Thermographie keine verlässlichen Werte der Oberflächenstrahlungstemperatur liefern. Daher sind diese Flächen in der Klassifizierten Thermalkarte fehlklassifiziert.

### **3.2.6. Lufthygienische Untersuchungen**

#### **Meßprogramm "Talkessel"**

Ergebnisse von Schadstoffmessungen sind im Rahmen der gegebenen stadtklimatologisch-lufthygienischen Aufgabenstellung unter zwei Aspekten von Interesse. Sie geben Hinweise auf das Vorhandensein konkreter Belastungsfälle in bezug auf bestimmte Luftschadstoffe (unter Berücksichtigung ihrer Lage zu Emittenten und empfindlichen Nutzungen), die dann ggf. durch geeignete technische Maßnahmen kurz- oder mittelfristig zu entschärfen wären. Zweitens können aus der räumlichen Verteilung von Immissionen unter Berücksichtigung der Emissionen Rückschlüsse auf räumliche Unterschiede der Ausbreitungsbedingungen gezogen werden, die vor allem für langfristige Maßnahmen v.a. im Rahmen der Stadtplanung von Bedeutung sind.

Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Luftbelastung in Städten verschiedenen Trends unterliegt. Einerseits läßt sich gegenwärtig für die meisten Luftschadstoffe eine durch entsprechende technische Maßnahmen bedingte mittel- bis langfristige Abnahme der Konzentrationen feststellen, z.B. bei den Schadstoffen, die mit dem „klassischen“ Smog verbunden sind (Ruß, Staub). Andererseits nahmen im gleichen Zeitraum aber die Ozonkonzentrationen („Sommersmog“) zu.

Eine am Vorsorgeprinzip orientierte und langfristig gedachte Planung muß unabhängig von kurz- oder mittelfristigen Trends berücksichtigen, daß Städte immer Quellen von Emissionen sind (Schadstoffe, Gerüche, Lärm etc.), deren Auswirkungen immer auch von den konkreten und durch Struktur und Nutzung der Stadt mitgeprägten Ausbreitungsbedingungen abhängen.

#### **Ergebnisse**

Der konkrete Vergleich der Ergebnisse der neuen und alten Rastermessungen nach TA-Luft für den Bereich des Aachener Talkessels zeigt, daß bei den Standardparametern - nur diese wurden 1986-88 erhoben und auch nur für diese konnte der Vergleich durchgeführt werden - insgesamt eine Abnahme der Schadstoffkonzentrationen zu verzeichnen war (STADT AACHEN, 2000). Bei den einzelnen Luftschadstoffen stellt sich die gegenwärtige Immissionsbelastung im Untersuchungsgebiet allerdings unterschiedlich dar.

Bei SO<sub>2</sub> und CO liegt das Immissionsniveau inzwischen so niedrig, daß fast alle Rasterpunkte die vorgesehenen Grenz- bzw. Richtwerte um 90 % unterschreiten; hier kann nur noch an extrem belasteten Brennpunkten kleinräumig mit besonders hohen Konzentrationen gerechnet werden. (vergl. auch CO<sub>2</sub>-Messungen; s. Kap.

2.2.2.) Dieses niedrige Niveau ist das Resultat einer deutlichen Konzentrationsabnahme in den vergangenen Jahren.

Bei  $\text{NO}_2$  ist die Lage - bei geringerem Abstand zu Grenz- bzw. Richtwerten - grundsätzlich ähnlich, wobei die Abnahme allerdings schon deutlich geringer ausfällt. Hier ist zudem zu beachten, daß Stickoxide Vorläufersubstanzen für das bodennahe Ozon darstellen („Sommersmog“), dessen Konzentration - auch im Untersuchungsgebiet - verbreitet die Nähe von Richt- bzw. Schwellenwerten erreichten. Bei den Stickoxiden ist daher eine genauere Analyse der Ergebnisse angebracht.

Die Stickoxid-Emissionen gingen in Deutschland um insgesamt ca. 45-50 % im Zeitraum 1986-1988 bis 1998/1999, also um etwa 5 % jährlich zurück.

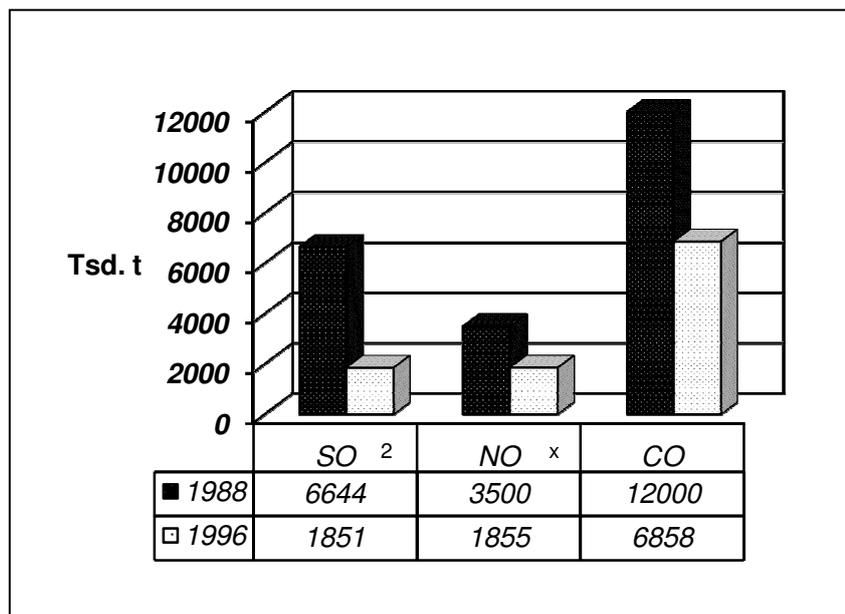


Abbildung 23a: Entwicklung der Emissionen in Deutschland 1988 - 1996

Erläuterung: Rückgang der  $\text{NO}_2$ -Emissionen von etwa 3500 Tsd. t [1988, incl. ehem. DDR, bzw. 1991: 2500 Tsd. t] auf gut 1800 Tsd. t [1996] und damit um insgesamt ca. 45-50 % im Zeitraum 1986-1988 bis 1998/1999, also um etwa 150-200 Tsd. t bzw. ca. 5 % jährlich [vergl. STADT AACHEN, 2000, Abb. 2.2.].

Der Rückgang der  $\text{NO}_2$ -Immissionen betrug in Nordrhein-Westfalen bezogen auf das Jahresmittel an besonders verkehrsreichen Standorten etwa 17 % (von  $63 \mu\text{g}/\text{m}^3$  1989 auf  $52 \mu\text{g}/\text{m}^3$  1998), in Belastungsgebieten (Rhein-Ruhr-Gebiet) etwa 25% (von ca.  $47 \mu\text{g}/\text{m}^3$  1986-1988 auf  $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$  1998) und an Waldstationen etwa 36 % (von ca.  $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$  1986-1988 auf  $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$  1998; Quelle: LANDESUMWELT-AMT, 2000). Im Untersuchungsgebiet betrug der Rückgang zwischen den Untersuchungszeiträumen 1986-1988 (ca.  $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) und 1998/1999 (ca.  $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) etwa 25 % (vergl. Abb. 23b bzw. UMWELTAMT, 2000, Abb. 5.6.; entsprechend ca. 2,5 % jährlich). Die im Aachener Talkessel gewonnenen Ergebnisse bewegen sich somit in dem für Belastungsräume in NRW typischen Rahmen.

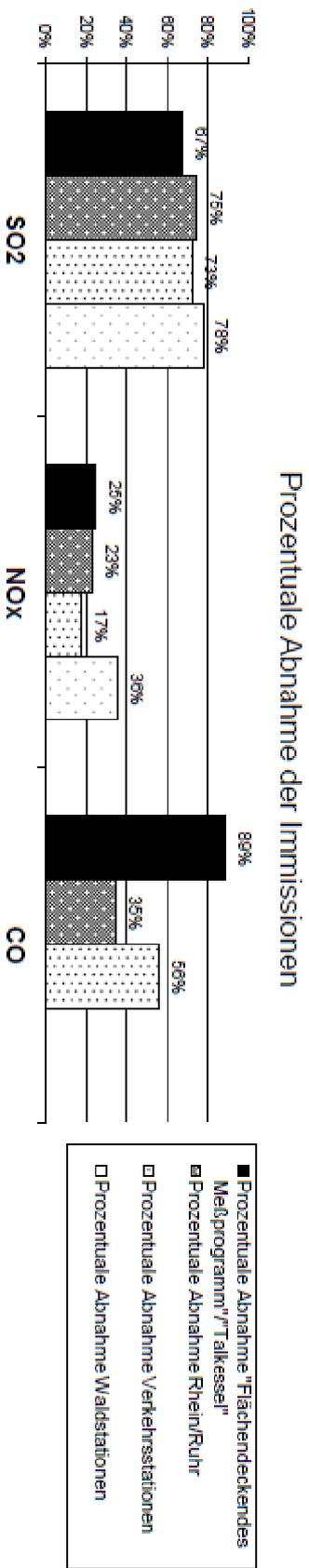
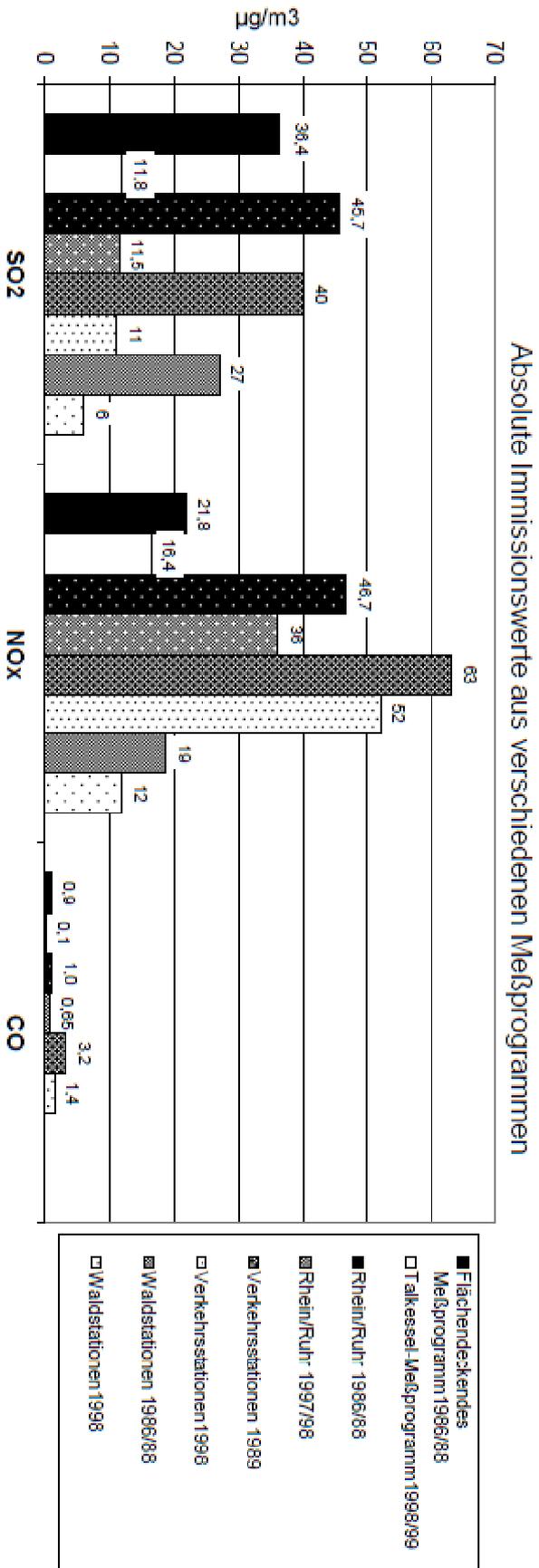


Abbildung 23b: Entwicklung der Immissionen 1988 - 1996

Problematisch ist hierbei, daß Konzentrationsrückgänge vorliegen, die im Verhältnis zur Emissionsentwicklung relativ gering sind. Konkret führte eine - bundesweit - ca. 50-prozentige Abnahme der Stickoxid-Emissionen in Aachen - wie in anderen Belastungsräumen in NRW - nur zu einer 25-prozentigen Reduzierung der Immissionen. Und beim Ozon, für das NO<sub>2</sub> eine Vorläufersubstanz darstellt, ist landesweit derzeit sogar keinerlei Abnahme erkennbar (LANDESUMWELTAMT, 2000). Da bei Stickoxiden / Ozon aufgrund der photochemischen Umwandlungen kein unmittelbarer Zusammenhang mehr zwischen Emission und Immission besteht, kann auch in Zukunft nicht unbedingt mit großen Erfolgen bei der Verbesserung der Immissions-situation gerechnet werden.

Das an sich erfreuliche Gesamtergebnis des Vergleichs 1986-88 und 1998 muß auch in bezug auf den konkreten Witterungsverlauf, auf die allgemeine technische Entwicklung, auf andere Parameter (z.B. Benzol) und auf die räumliche Verteilung differenziert betrachtet werden.

### **Witterungsverlauf**

Wie bereits erläutert (siehe Kap. 2.2.1.) war der Untersuchungszeitraum durch einen hohen Anteil solcher Wetterlagen geprägt, die mit günstigem Luftaustausch verbunden sind. Für alle bei den Rastermessungen erfassten Parameter muß daher von einer Unterschätzung der in durchschnittlichen Jahren erreichten Konzentrationen ausgegangen werden (der hierdurch verursachte Fehler läßt sich allerdings nicht genau eingrenzen).

### **Technische Entwicklung**

Durch die allgemeine Einführung der Katalysator-Technik ist der Ausstoß von Schadstoffen (Standardparameter) insbesondere bei Personenkraftwagen allgemein deutlich zurückgegangen. Schon für KFZ mit G-Kat (vor EURO2) liegt der Ausstoß pro km Fahrstrecke bei den Parametern CO und NO<sub>x</sub> im Mittel und je nach Fahrmodus um 60-90% unter dem von Fahrzeugen ohne Schadstoffminderung. Bei der gesamten Fahrzeugflotte dürfte zwischen den Jahren 1988 und 1999 denn auch ein Rückgang in der gleichen Größenordnung erreicht sein (um 1990 betrug der jährliche Rückgang bei diesen Parametern 5-8 Prozentpunkte); immerhin betrug der Anteil von G-Kat-Fahrzeugen, die überhaupt erst seit 1987 höhere Zulassungszahlen erreichten, 1997 bereits fast 60% aller PKW. Es deutet sich - insbesondere unter Berücksichtigung des konkreten Witterungsverlaufs - an, daß die festgestellte Abnahme der Immissionen hinter der durch technische Veränderungen zu erwartenden Reduzierung der Emissionen zurückgeblieben ist. Gleichzeitig ist zu bedenken, daß die Emissionen nur einiger der relevanten Schadstoffe durch Katalysatoren reduziert werden (z.B. CO), während andere Abgaskomponenten hiervon nicht oder wenig betroffenen sind (z.B. CO<sub>2</sub>). In diesem Zusammenhang ist auch zu erwähnen, daß der Ausstoß chemisch reaktiver Substanzen, die erst über komplizierte Stoffkreisläufe und teilweise unter Einwirkung des Sonnenlichts indirekt die Bildung anderer Luftschadstoffe bewirken ("Sommersmog"), durch die Katalysator-Technik nicht generell unterbunden wird. Hier deutet sich an, daß allgemein reduzierter Schadstoffausstoß über eine Verschiebung von Reaktionsgleichgewichten sogar

durchaus zu erhöhten Konzentrationen bestimmter beteiligter Substanzen führen kann.

### **Andere Parameter**

Im Zuge der Einführung bleifreier Kraftstoffe für Verbrennungsmotoren wurden Benzol-Zusätze im Kraftstoff zugelassen, was eine seit einigen Jahren zunehmende Benzol-Belastung v.a. im Umfeld stark befahrener Straßen zur Folge hat. Die Untersuchungen des Umweltamts der Stadt Aachen in Zusammenhang mit der Umsetzung der 23. BImSchV ("Screening"; s.u.) führten zu dem Ergebnis, daß nicht nur relativ hohe Benzolkonzentrationen zu erwarten sind, sondern daß an einigen Straßenabschnitten sogar Prüfwertüberschreitungen vorliegen. Zu erwähnen ist hier auch die zunehmende Dieselruß-Problematik. Dies bedeutet, daß einer im Mittel und großräumig günstigeren Immissions-Situation bei den Standardparametern (z.B. CO, SO<sub>2</sub>) an bestimmten Straßenabschnitten bei austauscharmer Wetterlage ungünstige Verhältnisse - neben Benzol auch beim Dieselruß - gegenüberstehen.

### **Räumliche Verteilung**

Im Vergleich mit der landesweiten Entwicklung zeigen sich in Aachen Besonderheiten, die nach den vorliegenden Daten nicht abschließend bewertet werden können. Während bei SO<sub>2</sub> allgemein Emissionsrückgänge um ca. 73 % zu verzeichnen sind (Bezugszeiträume: s.o.), haben die Immissionen in Aachen lediglich um 67%, im Landesmittel hingegen um 75% abgenommen; bei CO liegen Emissionsabnahmen um 43% vor, während die Immissionen in Aachen um 89%, landesweit aber nur um 50 % abgenommen haben.

Kleinräumig liegen Differenzierungen vor, die ebenfalls nicht ohne weiteres zu erklären sind. Einer durchschnittlichen Abnahme der NO<sub>2</sub>-Immissionen für den gesamten Talkesselbereich stehen z.B. im Nordwesten der Innenstadt (Bereich Pontviertel, Lousberg, Hörn, Soers, Laurensberg) sogar Zunahmen gegenüber.

### **3.2.7. Screening**

Für die vorliegende Fragestellung ist bei der Bewertung der Ergebnisse des Straßen-Screenings nach Bundes-Immissionsschutzgesetz vorab folgendes zu berücksichtigen. Erstens wurden diese Untersuchungen gemäß der Zielsetzung der 23. BImSchV nur für innerörtliche Straßen durchgeführt (Autobahnen und sonstige Straßen außerhalb der geschlossenen Bebauung wurden nicht untersucht). Zweitens wurden konkrete meteorologische Parameter nur insofern berücksichtigt, daß für Straßenabschnitte innerhalb des Aachener Kessels die Ausbreitungsbedingungen auf Basis der LUA-Messungen am Elisenbrunnen zugrunde gelegt wurden, während ansonsten die Daten der Station Aachen-Wetterstation des Deutschen Wetterdienstes verwendet wurden (die Meßergebnisse des Gesamtstädtischen Klimagutachtens lagen zum Zeitpunkt des Screenings noch nicht vor).

In Zusammenhang mit dieser Arbeit sind die Ergebnisse des Screening insofern von Bedeutung, als sie einerseits die Lage von durch linienhafte Emittenten besonders belasteten Bereichen - zumindest innerhalb der Bebauung - angeben, während andererseits die Ergebnisse des Screening selbst durch die klimatologischen Messungen insoweit konkretisiert werden, als die Luftaustauschbedingungen an den betreffenden Straßenabschnitten besser als oben angegeben differenziert werden können.

Folgende Straßenzüge wurden als besonders belastet ermittelt (HEUSCH/BOESEFELD, März 1999, Abbildungen auf S. 11 ff [Nachtrag Mai 1999]: Maximalwerte von 90% oder mehr des Prüfwertes bei Benzol und/oder Ruß; s.a. Klimafunktionskarte).

- stark verkehrsbelastete und enge Straßenabschnitte in der Innenstadt: Peterstraße, Seilgraben, Jakobstraße, Alexianergraben, Theaterstraße;
- große Teile des Alleenrings (bis auf den Abschnitt Turmstraße / Ludwigsallee);
- einige sonstige stark verkehrsbelastete und/oder enge Straßenabschnitte am Rand der Innenstadt: Turmstraße (zwischen Audimax und Roermonder Straße), Zollernstraße, Kasinostraße, Josef-von-Görres-Straße;
- innenstadtnahe Abschnitte von Ausfallstraßen: Adalbertsteinweg (bis Rothe Erde), Jülicher Straße (bis Blücherplatz), Krefelder Straße (bis Soerser Weg), Krugnofen (bis Eynattenerstraße);
- enge und stark verkehrsbelastete Ortsdurchfahrten: Haaren, Eilendorf.

### **3.3. Untersuchungen zu Kaltluftbildung und -abfluß**

Die Untersuchung von Kaltluftbildung und -abfluß ist für die Analyse der klimatisch-lufthygienischen Verhältnisse in Städten allgemein von großer Bedeutung, weil diese Prozesse - insbesondere bei allgemein austauschschwachen Wetterlagen - zusätzlichen Luftaustausch bewirken können. Je nach konkreten Verhältnissen sind allerdings auch besondere lufthygienische Problemlagen möglich, wenn sich nämlich Emittenten im Wirkungsbereich stagnierender Kaltluft befinden.

Kaltluftbildung bzw. -abfluß kann in verschiedenen Größenordnungen ("Scales") auftreten. Aus praktischen Gründen wird hier unterschieden zwischen einerseits Effekten in Zusammenhang mit bodennahem Kaltluftabfluß an flachen Hängen und in kleinen Mulden (auch Kaltluftansammlungen in kleineren bzw. wenig reliefierten Einzugsgebieten) und andererseits den Gesamtwirkungen von Kaltluftbildungsprozessen in Form von Kaltluftströmen in den größeren Tälern bei insgesamt bewegterem Relief. Eine derartige Kombination ist typisch für das Mittelgebirgsvorland; mittelgebirgstypische Reliefstrukturen mit den noch größeren Tälern liegen im Untersuchungsgebiet nicht vor.

Bei den im Stadtgebiet von Aachen vorliegenden Reliefverhältnissen und der gegebenen Struktur und Lage der Siedlungs- und Freiflächen spielen die Auswirkungen von Kaltluftabflüssen eine besondere Rolle. Die klimatisch-lufthygienischen Auswirkungen von stadttypischen Nutzungen und geländebedingten Phänomenen liegen hier - anders als im Tiefland oder im Bergland - in ähnlichen Größenordnungen, so

daß einerseits erhebliche klimatische Wechselwirkungen bestehen und andererseits Planungsvorhaben in besonderem Maße klimatische Rückwirkungen verursachen können. Aus diesem Grund wird den Phänomenen in Zusammenhang mit Kaltluftbildung bzw. -abfluß besondere Aufmerksamkeit gewidmet.

### **3.3.1. Bodennaher Kaltluftabfluß**

#### **Vorgehensweise**

Die Untersuchung bodennaher Kaltluftabflüsse im Stadtgebiet erfolgte durch Übertragung der Ergebnisse von früheren oder im Rahmen des Gesamtstädtischen Klimagutachtens durchgeführten Detailuntersuchungen (Bodenmessungen, Ballonsondierungen, Rauchgasversuche) auf das gesamte Stadtgebiet mittels der Fernerkundungsdaten (Thermal- und Radarbefliegung) auf Basis einer Auswertung mit einem Geographischen Informationssystem (GIS). Hierzu wurde ein Kriterienkatalog für Flächen mit unterschiedlichen Eigenschaften in bezug auf Kaltluftbildungs- und -abflußverhalten aufgestellt, der die Grundlage dieser Auswertung darstellt.

Grundsätzlich ist hierbei anzumerken, daß dieser Kriterienkatalog bestimmte Einschränkungen in bezug auf die räumliche Anwendbarkeit beinhaltet; insbesondere sei darauf hingewiesen, daß das GIS-Modell möglicherweise vorhandene Kaltluftbildungs- oder -abflußprozesse im bebauten Bereich und in Waldflächen nicht berücksichtigen kann. Dies ist einerseits darauf zurückzuführen, daß die Kaltluft im bebauten Gebiet in Wechselwirkung mit - warmen - Baukörpern steht und sich dabei erwärmt (also, obwohl u.U. immer noch relativ kalt, im Thermalbild nicht mehr erkennbar ist). Andererseits findet Kaltluftentstehung in Waldgebieten im - kalten - Stammraum statt, während das Thermalbild nur die - u.U. deutlich wärmere - Oberfläche des Kronenbereichs erfaßt.

Generell ist zudem anzumerken, daß die Ergebnisse nur so interpretierbar sind, daß auf den Flächen, die nach der verwendeten Methode ausgegrenzt wurden, die genannten Prozeßabläufe mit großer Wahrscheinlichkeit stattfinden. Die Analyse basiert nämlich darauf, daß das Untersuchungsgebiet auf das Zutreffen von Bedingungen untersucht wird, von denen bei anderen Untersuchungen nachgewiesen werden konnte, daß sie beim Vorliegen entsprechender Prozeßabläufe beobachtet werden können (entsprechende Temperatur- und Gefällsverhältnisse). Der exklusive Umkehrschluss, daß diese auf allen anderen Flächen nicht auftreten, ist demgegenüber unzulässig.

Dementsprechend werden die Ergebnisse auch nur so weiterverarbeitet, daß jeweils nur für die Kaltlufteinzugsgebiete insgesamt oder meist für Teilbereiche von ihnen die Information entnommen wird, ob dort Kaltluftabfluß, -stau und/oder -bildung auftritt. Für die abschließende Bewertung und insbesondere die Einarbeitung dieses Sachverhalts in die synthetische Klimafunktionskarte wird diese Information dann mit ggf. vorhandenen weiteren Untersuchungsergebnissen (Rauchgasversuche etc.) und allgemeinen Daten zu den Einzugsgebieten verknüpft.

Der aufgestellte Kriterienkatalog beinhaltet Analysen der Geländeverhältnisse (aus Daten der Radarbefliegung; siehe Abb. 24 in der Anlage), der Oberflächenstruktur (nach aus den Radardaten berechneten Rauigkeiten; siehe Abb. 25a in der Anlage), der Temperaturverhältnisse (aus Daten der Thermalbefliegung; siehe Thermalkarten im Anhang) für Rasterflächen; nähere Erläuterungen zum Verfahren sind dem Anhang zu entnehmen. Am Ende des Abfrageprozesses sind dann Flächen ausgegrenzt, auf denen die für die Kaltluftbildungsprozesse relevanten Grundmerkmale in den vorliegenden Datensätzen festzustellen sind: Flächen mit Kaltluftbildung, Flächen mit Kaltluftabfluß und Flächen mit Kaltluftstau (siehe Abbildung 25b in der Anlage).

Diese Ergebnisse wurden in einem weiteren Bearbeitungsschritt mit den Eigenschaften der Taleinzugsgebiete in Beziehung gesetzt. Insbesondere ist zu berücksichtigen, in wie weit ein Zutreffen der Kriterien bei den jeweils gegebenen Reliefverhältnissen überhaupt vom Umfang her klimatologisch relevante Kaltluftphänomene erwarten läßt.

Der Auswertung liegen folgende bekannte Sachverhalte zum Prozessablauf zugrunde:

1. *Alle Kaltluftprozesse* vollziehen sich i.w. über Freiflächen; über gehölzbestandenen bzw. bebauten Flächen sind die Strahlungs- und Strömungsverhältnisse so verändert, daß Kaltluftphänomene zwar nicht grundsätzlich ausgeschlossen, aber immer negativ beeinflusst sind (bzw. wegen der oben genannten Einschränkung nicht zu erfassen sind). Diese Flächen wurden durch eine Analyse der Oberflächenstruktur auf Basis der Radarbefliegung ausgegrenzt (siehe Abb. 25b in der Anlage; Flächentyp "Freifläche").
2. Flächen, über denen *Kaltluftbildung* - im Sinne einer effektiven Produktion von Kaltluft - stattfindet, müssen notwendigerweise bereits abends kühl sein. Wenn die hier gebildete Kaltluft randlich abströmen kann (s.u. "Kaltluftabfluß"), muss für jedes Volumen abströmender Luft aus höheren Luftschichten Luft nachströmen, die noch nicht abgekühlt - also relativ warm - ist. Folglich bleibt die weitere Abkühlung der Luft hier im weiteren zeitlichen Verlauf gering; gleiches kann für die Erdoberfläche erwartet werden, die mit der überlagernden Luft in Wechselwirkung steht. Kaltluftbildung in diesem Sinn kann sich nur über wenig geneigten Flächen vollziehen, da ansonsten bereits Kaltluftabfluß (s.u.) vorliegt.
3. *Kaltluftabfluß* vollzieht sich über stärker geneigten Flächen. Da der Abfluß eine bereits erfolgte Abkühlung voraussetzt, sind die betroffenen Flächen schon abends kalt. Beim Strömungsvorgang herrscht zwar weitere Abkühlung, die abströmende Luft wird aber kontinuierlich mit weniger stark abgekühlter Luft durchmischt, so daß nicht notwendigerweise sehr niedrige Temperaturen erreicht werden; auch in diesem Fall bedingt die Wechselwirkung zwischen Erdoberfläche und bodennaher Luft ein analoges Verhalten beider.
4. *Kaltluftstau* ist an Bereiche mit geringem Gefälle in Tieflage gebunden. Aus anderen Bereichen einströmende Kaltluft kommt zum Stillstand bzw. in situ gebildete

Kaltluft kann nicht abströmen. Es findet eine Entmischung der Kaltluft statt, die eine Lage besonders kalter Luftpakete in Bodennähe und damit eine besonders geringe Temperatur der bodennächsten Luftschicht bewirkt. Sobald Luftbewegung ausbleibt, kann die Erdoberfläche sogar noch deutlich stärker auskühlen als die bodennahe Luftschicht.

Für die GIS-Auswertung wurden die genannten Annahmen in folgende qualitative bzw. quantitative Randbedingungen in bezug auf die Oberflächenstruktur, auf die Oberflächentemperatur laut Thermalbild (abends bzw. morgens) und auf die Hangneigung  $\alpha$  umgesetzt:

Kaltluftbildung: "Freifläche",  $8\text{ °C} < T_{\text{abend}} < 11\text{ °C}$  und  $\Delta T_{\text{abend} \rightarrow \text{morgen}} < 2\text{ K}$ ,  $\alpha \leq 3\text{ °}$ .

Kaltluftabfluß: "Freifläche",  $4\text{ °C} < T_{\text{abend}} < 11\text{ °C}$ ,  $\alpha > 3\text{ °}$ ,

Kaltluftstau: "Freifläche",  $4\text{ °C} < T_{\text{abend}} < 8\text{ °C}$ ,  $\alpha \leq 3\text{ °}$ ,

### Ergebnisse der GIS-Auswertung

Bodennaher Kaltluftabfluß wurde in allen aufgrund der oben genannten Kriterien grundsätzlich in Frage kommenden Teilen des Stadtgebiets festgestellt. Neben den bereits mit anderen Methoden nachgewiesenen Kaltluftabflüssen in einigen der Bachtäler ergaben sich zusätzlich folgende Ergebnisse (siehe auch Klimafunktionskarte):

1. Im Einzugsgebiet der Wurm und ihrer Quellbäche oberhalb von Burtscheid, einem Gebiet, das bisher nicht näher untersucht wurde und in dem die Täler auch nicht durch zusammenhängende Freiflächenzüge geprägt sind, liegt Kaltluftabfluß anscheinend auf allen größeren - mehr oder weniger isolierten - Freiflächen (entlang des Goldbachtals, um Diepenbenden und entlang des Grüntals ab Köpfchen) vor, so daß ein zusammenhängendes Kaltluftsystem angenommen werden kann;
2. am Hittfelder Bach und an anderen Tälchen im randlichen Bereich des Einzugsgebiets des Beverbachs ergaben sich deutliche Hinweise für Kaltluftabfluß, so daß eine Zufuhr von Kaltluft in den unteren Talabschnitt des Beverbachs auch aus diesen Bereichen anzunehmen ist;
3. im gesamten Einzugsgebiet der Inde treffen die Kriterien entlang der größeren Talzüge, aber auch in einigen kleineren Nebentälern zu;
4. im Haarbachtal wurde ein Zutreffen der Kriterien insbesondere auch im östlichen Teil des Einzugsgebiets festgestellt (einem großen Freiflächenareal östlich der A 44 zwischen Brand und Brander Wald), so daß von einem relativ großen Kaltlufteinzugsgebiet ausgegangen werden muss; darüber hinaus treffen die Kriterien auch im Talabschnitt unterhalb von Eilendorf und im unteren Abschnitt des Rödgerbachtals zu (dies gilt auch für die weniger umfangreichen Kaltluftabflüsse auf den Flächen im Bereich Eilendorf-Süd, wobei nach den Ergebnissen anderer Untersuchungen hier sicher ist, daß Kaltluft aus diesen Flächen im Ort aufgelöst wird);

5. im oberen Rödgerbachtal, dessen mittlerer Talabschnitt durch den in Hochlage geführten Madrider Ring und den Siedlungsbereich Rothe Erde verbaut ist, treffen die Kriterien an der breiten Unterführung der Vennbahntrasse zu; als - künstliche - Abflußrinne kommt hier statt des natürlichen Talverlaufs die Schneise am Eisenbahnweg (Straße, Grünstreifen, Bahntrasse) in Betracht, in deren weiteren Verlauf sich - nahe dem Bahnhof Rothe Erde - auch wiederum Hinweise auf Kaltluftabfluß ergeben;
6. östlich von Verlautenheide gibt es Hinweise auf ein Kaltlufteinzugsgebiet, das die Freiflächen beiderseits der A 44 umfaßt und mit einem Kaltluftabfluß in Richtung Gut Schwarzenbruch verbunden ist;
7. in den Randbereichen des Kaltluftsammelgebiets Soers treffen die Kriterien einerseits im Haarbachtal und im Wildbachtal und andererseits im Bereich Kalkofen, Ravelsberg, Berensberg, Richterich und Lousberg zu, so daß bodennahe Kaltluftzuflüsse sowohl aus den genannten Tälern als auch von den um die Soers gelegenen kleineren Freiflächen zu erwarten sind (es ergaben sich auch Hinweise auf bodennahen Kaltluftabfluß im Wurmtal aus der Soers heraus);
8. im Einzugsgebiet des Amstelbachtals treffen die Kriterien einerseits kontinuierlich entlang des Tals selbst (von Küppershof bzw. Uersfeld bis zur Stadtgrenze) bzw. entlang des größten Nebentals (Talmulde des Crombacher Bachs an der nördlichen Stadtgrenze) zu und andererseits in kleineren zum Einzugsgebiet gehörenden Mulden (durch Nebelbeobachtungen bestätigt) v.a. quer zur westlich von Horbach gelegen NNW-SSE verlaufenden Stufe entlang der "Laurensberger Störung" (außerdem in der langen flachen Talmulde entlang der Orsbacher Straße westlich von Laurensberg);
9. Hinweise für Kaltluftabflüsse ergeben sich östlich von Orsbach in der in Richtung Vlengental / Bocholtz weisenden Talmulde;
10. die Kriterien für Kaltluftabfluß werden praktisch im gesamten Senserbachtal in kontinuierlicher Abfolge von den obersten Talbereichen oberhalb von Vaalserquartier am Aachener Wald über die Freiflächen in Vaalserquartier und am Rand von Vaals bis unterhalb von Lemiers angetroffen; hier liegt anscheinend ein großes zusammenhängendes Kaltlufteinzugsgebiet vor (im inneren Teil des Einzugsgebiets gibt es nur nordwestlich von Orsbach eine einmündende markante Talmulde, aus der seitlicher Zufluß von Kaltluft erwartet werden kann);
11. im Dorbachtal entsprechen die Verhältnisse anscheinend denen im benachbarten Johannisbachtal bzw. dem Kannegießerbachtal; in dessen weiteren Verlauf (beim Übergang in das Wildbachtal, das dessen natürliche Fortsetzung darstellt) ergaben sich klare Hinweise für Kaltluftabfluß im unmittelbaren Umfeld des Uniklinikums (sowohl im künstlich angelegten Talverlauf im Osten als auch in der Mulde am Steinbergweg) sowie im Bereich des Golfplatzes und dann - weiter talabwärts - entlang des gesamten Talverlaufs bis Schurzelter Mühle; im oberen Talbereich muß von einem Überströmen des Bahndamms in östliche Richtung ausgegangen werden;

12. im Einzugsgebiet Kannegießerbach/Ponellbach ergaben sich Hinweise auf Kaltluftabfluß über den kleineren Grünflächen im Bereich Ronheide;
13. im Einzugsgebiet des Tüljebachs treffen die Kriterien entlang des gesamten Talverlaufs (von Entenpfuhl/Preuswald über Bildchen bis zur Stadtgrenze), aber auch in Nebentälchen im Bereich von Hergenrath zu.

### 3.3.2. Kaltluftströme nach Einzugsgebieten

In Rahmen des Gesamtstädtischen Klimagutachtens wurden Spezialuntersuchungen (Ballonsondierungen) zum Kaltluftabfluß in den Tälern des Dorbachs, des Wildbachs und des Haarbachs, sowie in der Talmulde südwestlich des Westbahnhofs durchgeführt. Zusammen mit Ergebnissen älterer Untersuchungen oder Einzelmessungen in den Tälern des Kannegießer- / Ponellbachs, des Gillesbachs und des Rollefbachs sowie in der Soers sind somit Aussagen über den Kaltluftabfluß in einer größeren Zahl der Bachtäler möglich (Vergl. a. Abb. 26a - 26j im Anhang und Tab. 19).

Die Anzahl der zugrunde liegenden Messungen ist für die Teilgebiete unterschiedlich. In einigen Fällen (Dorbachtal, Johannisbachtal, Wildbachtal, Rolleftal, Haarbachtal und Westbahnhof) liegen nur Einzelmessungen vor, für die Bereiche Kannegießer- / Ponellbachtal, Gillesbachtal und Soers konnte auf teilweise umfangreiches Datenmaterial zurückgegriffen werden.

Im Einzugsgebiet des *Kannegießer- / Ponellbachs* wurde der bedeutendste Kaltluftstrom im Aachener Stadtgebiet beobachtet. Bei mittleren Strömungsgeschwindigkeiten von bis über 1 m/s und einer Obergrenze der Kaltluft (OKG) bei bis über 30 m ü. Grund ergeben sich Volumenströme (Kaltluftabflußmenge pro Zeiteinheit) von bis über 3.000 m<sup>3</sup>/s. Bezogen auf eine Nacht ergibt sich daraus ein Kaltluftvolumen von bis zu 80.000.000 m<sup>3</sup>, so daß dieser Kaltluftstrom - insbesondere bei austauscharmen Wetterlagen - einen erheblichen Beitrag zur Belüftung des südwestlichen Innenstadtrandes leisten kann.

Im Bereich Schillerstraße, also bereits am Übergang zur verdichteten städtischen Bebauung, konnte noch der größere Teil der im oberen Talbereich festgestellten Kaltluftmenge einwandfrei nachgewiesen werden, wobei es deutliche Hinweise darauf gibt, daß die Abflußmengen dort noch größer als angegeben sein können. Allerdings steht die Kaltluft hier schon in Wechselwirkung mit den bebauten Bereichen der Stadt, so daß stadteinwärts ein Aufzehren der Kaltluft, was aus früheren Messfahrten belegt ist, stattfindet (weshalb auch die als Hindernisse wirkenden Gebäude keinen Rückstau der Kaltluft verursachen).

Merkmale des Kaltluftstroms						
$\Delta T$ <sup>(1)</sup>	$v$ <sup>(2)</sup>	OKG <sup>(3)</sup>	Breite <sup>(4)</sup>	Querschnitt	Volumenstrom	$V \cdot \Delta T$ <sup>(5)</sup>
[K]	[m/s]	[m ü. Gr.]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> K]
3,5	0,8	20,0	150	1500	1163	4064
0,5	0,3	30,0	150	2250	674	321
ca. 1,5	1,1	32,0	180	2880	3168	4752
2,6	0,4	30,0	300	4500	1690	4378
2,2	0,2	30,0	200	3000	607	1358
3,5	0,7	23,0	150	1725	1283	4447
1,1	0,3	15,0	130	975	298	314
3,4	0,5	ca. 25,0	300	3750	1886	6484
3,5	0,4	33,0	300	4950	1974	6889
1,7	0,2	40,0	400	8000	1750	3057

Merkmale des Tals / Einzugsgebiets						
Längsgefälle	Relief (max-min)	Einzugsgebiet	dav. Freiflächen	Freifl.+Wald	Reliefenergie	
[%]	[m]	[km <sup>2</sup> ]	[km <sup>2</sup> ]	[km <sup>2</sup> ]	[m/km <sup>2</sup> ]	
0,017	60	5,8	4,7	4,7	10,4	
0,050	80	1,1	0,3	0,5	75,4	
0,033	130	1,2	0,6	1,1	112,4	
0,024	150	2,7	1,0	1,7	56,5	
0,033	90	0,8	0,4	0,8	112,5	
0,020	120	2,7	1,4	2,7	44,2	
0,040	35	0,2	0,1	0,1	189,2	
0,009	170	6,9	4,8	3,5	24,6	
0,011	80	6,5	3,6	3,6	12,4	
0,004	120	30	15	15	4,0	

**Tabelle 19: Übersicht über Kaltluftströme im Stadtgebiet**

(1 - mittlere Temperaturdifferenz zwischen der Kaltluft und der überlagernden Luft, 2 - mittlere Strömungsgeschwindigkeit, 3 - Lage der Obergrenze der Kaltluft, 4 - Breite des Talabschnitts, 5 - Produkt aus Volumenstrom und Temperaturdifferenz)

Die klimatischen Wirkungen von Stadt (Bebauung) und Gelände (Kaltluftbildung) sind hier offenbar größenordnungsmäßig gleich groß. Denn weder wird die Kaltluft beim Kontakt mit der Bebauung umgehend aufgelöst, noch wird die Bebauung von Kaltluft völlig "überflutet".

In diesem Zusammenhang ist zu beachten, daß einer relativ großen, mäßig kalten und bei stärkerem Längsgefälle schnell strömenden Kaltluftmenge am Brüsseler Ring eine geringere Menge - wegen geringeren Gefälles - langsamer strömender Kaltluft im Bereich Schillerstraße gegenübersteht, die aber kälter ist. Über das Verhältnis von Volumenstrom, Strömungsgeschwindigkeit und Temperatur strömender Kaltluft liegen bislang allgemein keine genauen Erkenntnisse vor; es kann allerdings vermutet werden, daß die im vorliegenden Fall an den zwei Standorten festgestellten Eigenschaften des Kaltluftstroms in diesem Sinne ungefähr äquivalente Kaltluftpakete repräsentieren.

Da das zum Einzugsgebiet gehörende Freiflächenareal nicht sonderlich groß ist, muß bei den großen Volumenströmen davon ausgegangen werden, daß zumindest die in den unteren, steilen Hangbereichen des Aachener Waldes gelegenen Waldflächen einen Beitrag zur Kaltluftbildung leisten. Dies konnte allerdings bislang nicht definitiv geprüft werden. Das obere Ponellbachtal, in dessen höheren Lagen bei Ronheide ebenfalls bodennaher Kaltluftabfluß festgestellt wurde, scheint den kleineren Beitrag zu diesem Kaltluftstrom zu leisten (dies wurde allerdings nicht näher untersucht).

Die Vertikalsondierungen ergaben für das *Gillesbachtal* im Bereich Branderhofer Weg einen bei einem relativ kleinen Einzugsgebiet unerwartet kräftigen Kaltluftstrom. Bei Strömungsgeschwindigkeiten um 0,3 m/s und einer Lage der OKG bei rund 30 m ü. Gr. ergibt sich ein Volumenstrom in einer Größenordnung von 700 m<sup>3</sup>/s.

Möglicherweise muß dies in Zusammenhang mit dem relativ großen Längsgefälle des Tals und der relativ geringen Temperaturdifferenz zur überlagernden Luft gesehen werden. Unter diesen Bedingungen setzen sich u.U. schon geringe Mengen Kaltluft in Bewegung, wobei die mit der Bewegung verbundene Durchmischung keine stärkere Abkühlung der Kaltluft zuläßt (siehe Kannegießerbachtal).

Ein wahrscheinlicher Beitrag der Waldflächen im Einzugsgebiet ("Siegelwald") zur Kaltluftbildung konnte, wie beim Kannegießerbachtal, nicht nachgeprüft werden.

Im in bezug auf Lage und Dimensionen dem Kannegießerbachtal vergleichbaren *Dorbachtal* wurden deutlich geringere Volumenströme festgestellt (1.700 m<sup>3</sup>/s bei 0,7 m/s und einer Lage der OKG bei 23 m ü. Gr.); das Ergebnis basiert aber nur auf einer verwertbaren Meßkampagne mit zudem relativ ungünstigen Witterungsverhältnissen. Es ist also von durchaus intensiveren Kaltluftabflüssen in diesem Tal auszugehen.

Im *Johannisbachtal* liegen nur Ergebnisse einer Meßkampagne bei für diesen Standort (in einer der zwei Quellmulden des Johannisbachs) ungünstigem Witterungsverlauf vor (Oberströmung in talabwärtiger Richtung). Hier zeichnen sich insgesamt Verhältnisse ab, die größenordnungsmäßig zwischen denen des Kannegießerbachtals und des Dorbachtals liegen dürften.

Der Befund für das *Haarbachtal* (hier liegen ebenfalls nur Ergebnisse einer Meßkampagne vor) ist nicht eindeutig zu interpretieren. Die numerischen Ergebnisse entsprechen in etwa denen des Wildbachtals (s.u.), allerdings ergab sich bei den Messungen der subjektive Eindruck eines Kaltluftabflußverhaltens, das eher der Situation im Ponellbachtal (Schillerstraße) entspricht. Dies wäre auch durchaus plausibel, da das Haarbachtal in Eilendorf in bezug auf die Einzugsgebietsmerkmale und die Bebauungssituation Ähnlichkeiten zum genannten Bereich aufweist. Unterschiede bestehen aber vor allem darin, daß der Talverlauf insgesamt mehrmals hintereinander durch Freiflächen und bebauten Gebiet führt und daß das Tal insgesamt deutlich weniger geschützt liegt. Das Haarbachtal nimmt also eine Übergangsstellung zwischen den Tälern unterhalb des Aachener Waldes (s.o.) und den anderen Tälern (s.u.) ein.

Aus dem relativ großen Volumenstrom im Bereich Birkstraße ergibt sich bei den gegebenen Einzugsgebietsmerkmalen (geringes Gefälle, offene Lage) erstens, daß nicht nur die Freiflächen am nahegelegenen Wolfsberg, sondern auch diejenigen oberhalb von Eilendorf im Haarbachtal an der Kaltluftbildung beteiligt sein müssen, und daß daher auch der Bereich um Eilendorf-Markt überströmt werden muss; dabei wird vermutlich ein Teil der Kaltluft durch thermische Auflösung verloren gehen. Zweitens müssen auch die östlich des Haarbachs gelegenen großen Freiflächenanteile des Einzugsgebiets (Deltourserb, aber auch jenseits der A 44) effektive Beiträge zu diesem Kaltluftstrom leisten.

Im *Wildbachtal* liegen die Verhältnisse aufgrund des sehr geringen Längsgefälles und der offenen Talform deutlich anders als in den Bachtälern am Aachener Wald. Höhere als die gemessenen Strömungsgeschwindigkeiten (0,5 m/s) sind nicht zu erwarten; auch eine deutlich höhere Lage der OKG (um 25 m ü. Gr.) ist wegen der Talaufweitung in Richtung Soers und der überhaupt geringen Höhe der Talschultern (um 30 m ü. Grund auf der SE-Flanke) unwahrscheinlich. Allerdings zeigen die Ergebnisse der Sondierungen und der Rauchversuche (die im übrigen auch durch Nebelbeobachtungen bestätigt sind), daß der Eisenbahnviadukt (gut 20 m ü. Gr.) nicht nur durch- sondern tatsächlich auch überströmt wird.

Der genannte Wert der mittleren Strömungsgeschwindigkeit ergibt sich hier - im Gegensatz zu den oben genannten Tälern - i.w. nur aus dem Beitrag der höheren Schichten der Kaltluft, während in Bodennähe schon weitgehende Luftruhe herrscht (wegen des geringen Längsgefälles bei erheblichem Baumbestand).

Für das *Rollefbachtal* liegt nur ein Sondierungspaar vor; dieses Einzelergebnis ist daher nur beschränkt aussagefähig, deutet aber immerhin eine Tendenz an. Bei den Messungen handelt es sich um zwei an einem Abend vom Viadukt der Vennbahn aus nach unten durchgeführte Sondierungen.

In diesem Talabschnitt ergibt sich eine Lage der OKG bei 20 m ü. Gr., was nur wenig unter der Höhe des Viadukts liegt (das Querprofil des Tals weitet sich in dieser Höhenlage zudem deutlich auf). Der im Verhältnis zum großen Einzugsgebiet relativ geringe Volumenstrom muss auf das relativ geringe Längsgefälle des Tals zurückgeführt werden; bei relativ kleinem Talquerschnitt liegt aber immerhin eine relativ hohe Strömungsgeschwindigkeit in Kombination mit niedriger Temperatur der Kaltluft vor, so daß sich hinter dem angegebenen relativ geringen Volumenstrom doch intensiverer Kaltluftabfluss verbirgt (siehe Kannegießerbachtal).

In diesem Fall liegen anscheinend Verhältnisse vor, deren besonderes Merkmal eine sehr niedrige Temperatur der Kaltluft und daher - trotz relativ hoher Strömungsgeschwindigkeit - eine besonders deutlich ausgeprägte Bodeninversion ist.

Bei der *Soers* handelt es sich um einen Sonderfall in bezug auf Kaltluftströme. Dieses Gebiet stellt eine im Norden des "Aachener Kessels" gelegene große Talaufweitung dar, die auf einer Fläche von ca. 4-5 km<sup>2</sup> um 50-60 m in die Umgebung eingetieft ist. Das gesamte Kaltluft-Einzugsgebiet beträgt ca. 15 km<sup>2</sup>; der natürliche Talzugang, das Wurmatal, hat einen relativ kleinen Querschnitt und ein schwaches Längsgefälle, wodurch ein vollständiges Abströmen der in der *Soers* von verschiedenen Seiten zusammenströmenden Kaltluft durch das Tal unmöglich ist.

Im Bereich der *Soers* kann daher von einer regelrechten Kaltluftströmung kaum noch die Rede sein. Die angegebene mittlere Strömungsgeschwindigkeit von 0,2 m/s stellt nur noch einen rechnerischen Wert dar; tatsächlich überwiegt bis in größere Höhen weitgehende Luftruhe, die nur zeitweise unterbrochen wird. Eine definierte Richtung der Bewegung ist ebenfalls kaum noch deutlich festzustellen. Zwar kommen Windrichtungen um SE (Talverlauf oberhalb aus Richtung Haaren / Kalkofen), um W (Talverlauf des Wildbachs) sowie um SSW (Talverlauf unterhalb in Richtung Wolfsfurth) gehäuft vor, doch ist ein erheblicher Teil der Kaltluftbewegung eher als ein Hin- und Herwogen der Kaltluftmasse zu charakterisieren. Die angegebene Lage der OKG bei 40 m ü.Gr. wurde mehrfach übertroffen, so daß bei intensiver Kaltluftbildung von einer 50-60 m mächtigen, weitgehend in Ruhe befindlichen Kaltluftansammlung ausgegangen werden muß.

In der Talmulde entlang der *Kopernikusstraße* am Westbahnhof wurde ein Kaltluftstrom mit einer Mächtigkeit von gut 15 m beobachtet (eine Messung an einem Meßtag). Bei einer mittleren Strömungsgeschwindigkeit um 0,5 m/s und einem effektiven Querschnitt von vermutlich deutlich über 100 m Breite (= ca. 600-700 m<sup>2</sup> Fläche) ergibt sich somit ein Volumenstrom in einer Größenordnung von ca. 300 m<sup>3</sup>/s.

### **"Bachtäler"**

Die besondere Bedeutung von Kaltluftabflüssen in den "Bachtälern" ergibt sich vor allem daraus, daß ein horizontaler Luftaustausch im wegen der Lage zum Aachener Wald besonders abgeschirmten Südteil des Talkessels bewirkt wird, und daß der Kaltluftabfluß zudem mit einem Transport von Luft aus unbebauten Flächen (teilweise direkt aus dem Aachener Wald) in die Richtung auf die Innenstadt verbunden ist. Die "Bachtäler" vermitteln daher in besonderer Weise eine Entlastung stadtklimatologisch-lufthygienischer Problembereiche.

Aus verschiedenen Untersuchungen ist die intensive Belüftungswirkung von Kaltluftabflüssen aus dem Johannisbachtal, dem Kannegießer-/Ponellbachtal, dem Gillesbachtal und dem Beverbachtal bekannt. Beim Johannis- und Ponellbachtal erreicht diese Wirkung den Verlauf des Grabenrings, beim Gilles- und Beverbachtal wird mindestens der Südteil des Frankenberger Viertels erreicht (vgl. KLIMCZAK, 2000). Lufthygienisch positive Wirkungen konnten im Bereich Kannegießer- / Po-

nellbachtal anhand reduzierter CO<sub>2</sub>-Konzentrationen verdeutlicht werden (HAVLIK und KETZLER, 1995) und deuten sich auch bei den Ergebnissen der jüngsten - eigentlich für diesen Aspekt zu grobmaschigen - Rastermessungen nach TA-Luft (relativ geringe Konzentration in den Rasterflächen, die unter dem Einfluß der Bachtäler stehen; Umweltamt der Stadt Aachen, 2000) an.

Bei den im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen konnten auch für bislang nicht oder nicht intensiver bearbeitete Täler Ergebnisse gewonnen werden.

Im oberen *Johannisbachtal* ergaben sich Hinweise auf Verhältnisse, die etwa zwischen denen des Kannegießerbachtals und des Dorbachtals liegen dürften (Ballonsondierung). Die westlich des Kronenbergs gelegene Talmulde am Gemmenicher Weg, die am Westpark in das Johannisbachtal mündet, sammelt bei entsprechenden Witterungsbedingungen in ihrem oberen Bereich Kaltluft aus dem Bereich der Freiflächen nördlich des Friedrichwaldes; teilweise kann es zu einem Zustrom aus dem Dorbachtal kommen. Diese Kaltluft kann oberhalb der Vaalserstraße ohne weiteres nachgewiesen werden; gleiches ist - bei bestimmten Wetterlagen - unterhalb der Fall. Ihr Beitrag zum Talsystem des Johannisbachs ist aber schlecht quantifizierbar. Die Kaltluft aus dem Gesamteinzugsgebiet erreicht den Bahndamm, staut sich dort auf und konnte - in abgeschwächter Form - im Verlauf der Lochnerstraße bis an den Grabenring nachgewiesen werden.

Der Beitrag des *oberen Ponellbachtals* zum Kaltluftstrom des Gesamteinzugsgebiets Kannegießerbach- / Ponellbachtal konnte nicht abschließend geklärt werden; sehr groß kann ein solcher Beitrag nicht sein, da dieser Teil zu großen Teilen - wenn auch locker - bebaut ist. Allerdings ergibt sich aus der GIS-Auswertung ein Zustrom bodennaher Kaltluft aus den Freiflächen im Bereich Ronheide, dem aber eher lokale Bedeutung zukommt.

Für den *Südteil von Burtscheid* ergeben sich klare Hinweise darauf, daß auf den - im Gegensatz z.B. zum Kannegießerbachtal - nur diskontinuierlich in den Talbereichen der Wurm und ihrer Quellbäche verteilten Freiflächen dennoch bodennaher Kaltluftabfluß stattfindet, dessen Wirkung auch in die bebauten Bereiche hineinreicht. Allerdings bildet sich offenbar kein regelrechter konzentrierter Kaltluftstrom aus. Statt dessen bewegt sich die Kaltluft in Form schwächerer Einzelströme durch die Bebauung. Die kleinen Mulden, die den ehemaligen Verlauf der Wurm-Quellbäche markieren, dienen dabei als Leitlinien. Diese Mulden vereinigen sich im Bereich der Malmedyerstraße (siehe Rauchgasversuche), so daß trotz jeweils anscheinend geringem Volumenstrom dort noch eine ausreichend große Kaltluftmenge zusammenkommt, um die Kaltluft bis an den Rand des verdichteten Siedlungsbereichs um den Burtscheider Markt wirksam werden zu lassen. Problematisch scheint hierbei zu sein, daß diese wenig konzentrierten Kaltluftströmungen keine deutliche Verbesserung der lufthygienischen Gesamtsituation in Burtscheid bewirken. Allerdings zeigen Ergebnisse der CO<sub>2</sub>-Messungen, daß in Burtscheid die jeweils niedrigsten Konzentrationen in den Tallagen (im Einzugsgebiet von Wurm und Gillesbach) auftreten, während dort wegen des ansonsten tendenziell reduzierten Luftaustauschs eher höhere Werte zu erwarten wären.

Im *Beverbachtal* ergaben sich aus der GIS-Auswertung deutliche Hinweise darauf, daß ein zusammenhängendes System bodennaher Kaltluftabflüsse im Einzugsgebiet des Hitfelder Bachs vorliegt, so daß von hier erhebliche Beiträge an Kaltluft erwartet werden müssen. Der quantitative Beitrag der großen Waldareale im Kaltluft-einzugsgebiet des Beverbachs konnte nicht geklärt werden. Ergebnisse einer neuen Untersuchung (KLIMCZAK, 2000) belegen, daß die Wirkung der Kaltluft aus dem Beverbachtal im bebauten Areal bis nördlich des Ostfriedhofes nachgewiesen werden kann.

### **Einzugsgebiet der Inde**

Über den sehr großen, weitgehend zusammenhängenden Freiflächenarealen im Einzugsgebiet der Inde werden große Mengen Kaltluft gebildet, die zunächst in Mulden und Senken abströmen und sich in den großen Tälern (Rollefbach, Iterbach, Inde) zu großen Kaltluftströmen sammeln. Hierbei handelt es sich - trotz relativ geringen Längsgefälles und verbreiteter Gehölzbestände in den Tälern - wegen relativ niedriger Temperaturen um vergleichsweise schnell strömende Kaltluft. Da die Kaltluft wegen ihrer niedrigen Temperatur nach oben durch eine markante Inversion abgeschlossen sein muß (vergl. auch Ergebnisse der Messungen an den Temporärstationen Brand und Kornelimünster; Kap. 3.2.1.) und weil die stellenweise im Tal gelegenen Siedlungsbereiche vergleichsweise klein sind (z.B. Kornelimünster), überwiegt in diesen Tälern die Wirkung der angesammelten Kaltluft alle klimatologischen Wirkungen der Siedlungen.

### **Einzugsgebiet des Haarbachs**

Im Haarbachtal ergibt sich die Besonderheit, daß sich im Talverlauf mehrfach Siedlungsbereiche und Freiflächen abwechseln. Hier ergab sich, daß im oberen Talbereich alle Freiflächen im Einzugsgebiet (Deltourserb, die Freiflächen zwischen Brand und Brander Wald sowie das Gebiet um Neuenhof) an der Kaltluftbildung beteiligt sein müssen (GIS-Auswertung). Die Ortslage Eilendorf-Markt wird offenbar von einem regelrechten Kaltluftstrom aus dem oberen Talbereichs durchströmt, wobei aber anscheinend ein Teil der Kaltluft bei Kontakt mit dem - warmen - Siedlungsbereich aufgezehrt wird. Von den Freiflächen des Wolfsbergs erfolgt dann weiterer Zufluß von Kaltluft (siehe Ergebnisse der Rauchgasversuche und der Ballonsondierungen); gleiches gilt unterhalb der Ortslage Nirm für die Freiflächen im Bereich unteres Rödgerbachtal und Elleter Feld. Die Kaltluft strömt gebündelt durch den Viadukt der A 544 und überflutet die unteren Lagen von Haaren. Noch in der Soers konnte ein Einströmen von Kaltluft aus dieser Richtung festgestellt werden.

### **Soers**

Im Bereich der Soers strömt Kaltluft v.a. aus dem Haarbachtal und dem Wildbachtal, aber auch aus den Hangbereichen im Norden und Süden zusammen (vergl. Kap. 2.2.2.). Da ein Abfluß adäquater Mengen Kaltluft durch das enge und sehr geringes Längsgefälle aufweisende Wurmatal nicht möglich ist, kommt es zu erheblichem Rückstau. Es werden dabei Kaltluftmächtigkeiten bis über 50 m ü. Gr. er-

reicht. Dieser Rückstau wirkt auch auf die randlichen Gewerbe- und Siedlungsbereiche zurück, wobei - auch wenn der Prozeß noch nicht im einzelnen nachvollzogen werden konnte - negative Rückwirkungen auf den Luftaustausch vorliegen.

### **Einzugsgebiet des Wildbachs**

Der Kaltluftabfluß im Wildbachtal ist dadurch gekennzeichnet, daß die in einem relativ großen Einzugsgebiet (v.a. im Bereich des Dorbachtals und auf den Freiflächen westlich des Klinikums) gebildete Kaltluft im Bereich von Seffent zusammenströmt und von dort durch einen engeren Talabschnitt mit geringem Gefälle langsam in Richtung Laurensberg zieht.

Im Dorbachtal konnte ein kräftiger Kaltluftstrom nachgewiesen werden (Rauchgasversuche, Ballonsondierung), dessen Wirkung im Bereich Steppenbergr / Kullen anscheinend aber abgeschwächt wird. Es ist davon auszugehen, daß hierbei die Wechselwirkung mit der Bebauung, aber auch die relativ offene Lage des Tals in diesem Abschnitt eine Rolle spielen. Vermutlich erreicht nur ein Teil der Kaltluft das Wildbachtal.

Die Kaltluft im Wildbachtal geht demnach zu einem erheblichen Teil auf in-situ-Bildung im unteren Teil des Einzugsgebiets zurück. Dabei spielt anscheinend bodennaher Kaltluftabfluß in den oberen Abschnitten (u.a. in der Umgebung des Uniklinikums) eine große Rolle. Die Kaltluft sammelt sich bei Seffent und zieht von da aus langsam Richtung Laurensberg.

Es ließ sich nicht klären, ob das geringe Längsgefälle im Tal oder das Hindernis des Bahndamms im Bereich Schurzelter Mühle ursächlich die geringe Strömungsgeschwindigkeit in diesem Bereich bedingen; jedenfalls erreicht die Kaltluft den Bahndamm mit großer Mächtigkeit (Ballonsondierung). Der Viadukt wird durch- und überströmt, und die Kaltluft überflutet den inneren Bereich von Laurensberg (Rauchgasversuche). Von dort aus muß ein Abströmen in Richtung Soers erfolgen, denn erstens wurde bei einer früheren Untersuchung dort ein Einströmen von Kaltluft aus dieser Richtung beobachtet und zweitens ergeben sich aus der Bearbeitung der Thermalbefliegungsdaten eindeutige Hinweise für Kaltluftstau im westlichen - also am Rand von Laurensberg gelegenen - Teil der Soers. Da die Rauchversuche kein Durchströmen des Durchstichs durch den alten Bahndamm im Bereich Schloßparkstraße anzeigen, bleibt ungeklärt, wie der Bereich zwischen den Bahndämmen gequert wird.

### **Einzugsgebiet des Amstelbachs**

Im Amstelbachtal ergaben sich deutliche Hinweise auf ununterbrochenen bodennahen Kaltluftabfluß entlang des eigentlichen Talverlaufs zwischen Richterich und der Stadtgrenze im Norden. Zudem gibt es anscheinend deutliche Zuflüsse aus kleineren Mulden in der Umgebung von Horbach (GIS-Auswertung). Im Amstelbachtal muß bei so großem Einzugsgebiet trotz der relativ offenen Lage des Tals eine er-

hebliche Kaltluftmenge erwartet werden, so daß hier ein größerer Kaltluftstrom vorliegen muß.

Die westlich von Laurensberg an der Orsbacher Straße liegende Talmulde wird wegen des kleinen Einzugsgebietes und ihrer sehr offenen Lage hingegen nur kleinräumig wirksame Kaltluftabflüsse ausbilden.

### **Einzugsgebiet des Senserbachs**

Für den oberhalb von Vaalserquartier gelegenen Teil des Senserbachtals kann auf Grundlage der Thermaldaten (GIS-Auswertung) auf Verhältnisse geschlossen werden, die denen z.B. im Kannegießerbachtal, Johannisbachtal oder Dorbachtal - bei etwas kleinerem Einzugsgebiet - entsprechen. Dies bedeutet, daß relativ große Mengen Kaltluft in den Siedlungsbereich von Vaalserquartier einströmen. Da die Bebauung hier weder sehr dicht noch sehr tief ist und zudem von Freiflächen unterbrochen wird, kann dieser Bereich durchströmt werden; die Kaltluft erreicht also den Bereich an der Vaalser Straße, wird dort um Kaltluft aus den Freiflächen zwischen Vaalser Straße, dem Siedlungsbereich Kullen und der Schurzelter Straße ergänzt und strömt dann in Richtung Niederlande. Die Verhältnisse in dem Talabschnitt, in dem der Senserbach die Bundesgrenze bildet, konnten nicht genauer untersucht werden, da hier ein großes Einzugsgebiet außerhalb des Untersuchungsgebietes hätte erfaßt werden müssen. Auf Grundlage der Fernerkundungsdaten läßt sich in jedem Fall feststellen, daß bodennaher Kaltluftabfluß in dem gesamten Abschnitt vorliegt; aufgrund der bei großem Einzugsgebiet zu erwartenden großen Kaltluftmengen ist ein großer Kaltluftstrom zu erwarten.

## 4. Synthetische Klimafunktionskarte

Die Ableitung von räumlich-funktionalen klimatisch-lufthygienischen Einheiten basiert auf einer gemeinsamen Betrachtung sowohl der vorhandenen Klimafaktoren (z.B. Reliefverhältnisse, Flächennutzung etc.) als auch der gemessenen Klimaelemente (z.B. Temperatur, Wind, Luftqualität). Die Ergebnisse werden üblicherweise in Form einer Synthetischen Klimafunktionskarte dargestellt; die vorliegende Karte (siehe Anlage) basiert auf dem Entwurf der VDI-Richtlinie (VDI, 1994).

### 4.1. Klimatope

Bei Klimatopen handelt es sich um allgemeine Klimafunktionen; hierunter sind im vorliegenden Zusammenhang solche flächenhaften klimatischen Funktionen zu verstehen, die überwiegend durch die vorhandenen Flächennutzungsmuster oder andere - großräumige - Gegebenheiten vor Ort bestimmt und durch Lagefaktoren oder klimatische Wechselwirkungen lediglich modifiziert werden. Wegen des engen Zusammenhangs zur Flächennutzung konnte bereits im Rahmen des Stadtökologischen Fachbeitrags eine Karte erstellt werden, die zumindest als Vorstufe einer kartographischen Darstellung der allgemeinen Klimafunktionen fungieren konnte.

Die Abgrenzung von Flächen mit allgemeinen Klimafunktionen basiert i.w. auf einer Verschneidung der vorliegenden Kartierungen des Versiegelungsgrads und der Nutzungstypen. Die Kartierung des Versiegelungsgrads weicht bei der Klasseneinteilung von der Systematik des VDI-Richtlinienentwurfs ab, so daß für die Klimatopzuordnung abweichende Klasseneinteilungen verwendet wurden. Die Nutzungstypenkarte wurde durch Überarbeitung des Schlüssels in eine Karte klimarelevanter Nutzungstypen überführt. Beide Kartierungen wurden seit Bearbeitung des Stadtökologischen Fachbeitrags überarbeitet und liegen nun für das gesamte Stadtgebiet vor.

Die Verschneidung von Versiegelungsgrad und klimarelevanten Nutzungstypen wurde auf Grundlage des Klimatop-Systems (nach STOCK, 1992 bzw. dem genannten Entwurf d. VDI-Richtlinie) durchgeführt. Dabei wurde so vorgegangen, daß die dortigen Angaben zu typischen Merkmalen von Klimatopen in bezug auf Versiegelungsgrad und Flächennutzungen mit Hilfe eines Schlüssels in Gebiete gleicher klimarelevanter Flächenutzungen überführt wurden (vergl. auch die detaillierte Aufschlüsselung im Stadtökologische Fachbeitrag).

Die Ergebnisse der Messungen an den temporären Feststationen sowie die Ergebnisse der Meßfahrten und anderer Teiluntersuchungen liefern klimatologische Anhaltspunkte für die Bewertung einzelner Meßpunkte und deren Umgebung. Bei einzelnen Aspekten bieten diese Ergebnisse die Möglichkeit einer direkten Zuordnung von Meßstandorten zu Klimatopen, in anderen Fällen konnten zumindest relative Unterschiede ermittelt werden.

Für das Zusammenführen der Ergebnisse der Flächennutzungsanalyse und der klimatologischen Auswertungen wurden bislang keine Verfahrensrichtlinien festgelegt. Hier wurde so vorgegangen, daß die sich aus der Flächennutzungsanalyse erge-

benden Grenzziehungen bei Bedarf anhand der auf einzelne Meßpunkte bezogenen klimatologischen Auswertung modifiziert wurden.

Die folgende Auflistung gibt für die einzelnen Klimatope die Kriterien an, die der Flächennutzungsanalyse zugrunde liegen; zusätzlich werden Angaben zu jeweils relevanten Emissionen gemacht. Erläuternde Anmerkungen geben Hinweise auf neuere Entwicklungen, die ggf. sogar Abweichungen von der im Entwurf zur VDI-Richtlinie vorgeschlagenen Systematik erforderlich machen. Außerdem werden Modifikationen einzelner Teilflächen angegeben, die sich aus Variationen der Nutzungen und Strukturen bzw. der lufthygienischen Situation ergeben.

#### **4.1.1. Typ Siedlung**

##### a) allgemeine Merkmale

Versiegelungsgrad:           überwiegend 10-70%,  
Bebauungsstruktur:           gemischte Bauweise (Einfamilien- bzw. Reihenhäuser),  
Nutzung:                       fast ausschließlich Wohnen

##### b) Anmerkungen

Die Emissionssituation in lockeren Wohnsiedlungsbereichen hat sich in den letzten Jahrzehnten durch technische Maßnahmen (v.a. durch Umstellung auf Erdgasfeuerung) großräumig verbessert. Allerdings steht dem ein erhebliches Flächenwachstum der Stadt gegenüber, was in den stadtnahen Wohnsiedlungsbereichen eine Verschlechterung der Belüftungssituation zur Folge haben mußte. Da in solchen Bereichen örtlich auch konzentrierte Verkehrsemissionen vorliegen, kann es lokal zu einer ungünstigen Immissionssituation kommen.

##### c) einzelne Teilflächen

###### Gebiete mit villenähnlicher Bebauung

Bedingt durch sehr große Grundstücke herrscht bei sehr geringem Versiegelungsgrad eine parkartige Struktur vor. Die Nähe zu Freiflächen bedingt eine meist sehr günstige Belüftungssituation; das Emissionsniveau ist niedrig. In einigen Gebieten sind Nachverdichtungen festzustellen. Beispiele: Südviertel, Südhang des Lousbergs, Teile von Laurensberg.

###### Gebiete mit überwiegend freistehenden Einfamilienhäusern

Diese Gebiete sind durch geringe Versiegelungsgrade in Verbindung mit Gehölzstrukturen gekennzeichnet. Aus dieser Kombination ergeben sich grundsätzlich günstige thermische und hygrische Verhältnisse. Wegen der Nähe zum Bauungs-

rand und dem meist völligen Fehlen erheblicher Emittenten ist die Belüftungssituation meist unproblematisch. Örtlich können die Verhältnisse je nach Dichte und Art der Bebauung und ihrer Lage innerhalb der Stadt und zu Emissionsquellen stark variieren. Beispiele: Steinebrück, Randbereiche der Ortslagen außerhalb der Stadt.

#### Gebiete mit hohem Anteil von Reihenhäusern

Bei intensiverer Nutzung liegt der Versiegelungsgrad hier etwas höher. Wegen des häufig größeren Abstands zum Bebauungsrand und des geringeren Abstands der Gebäude zueinander, der mitunter stärkeren Verkehrsbelastung in der Nahumgebung sowie bei höherem Emissionsniveau aus dem Hausbrand kann die Immissionssituation örtlich ungünstig sein. Beispiele: Steppenbergr, Teile von Laurensberg, Forst, Hörn.

#### Gebiete mit hohem Anteil von Zeilenbebauung bzw. Gebäudekomplexen

Bebauungsdichte und Versiegelungsgrad können örtlich das Niveau der Blockbebauung erreichen. Je nach Art der Gebäudeheizung bzw. der Verkehrssituation können die Emissionen relativ hoch ausfallen. Die Belüftungssituation ist wegen der offenen Gebäudeanordnung nicht generell problematisch; dies hängt aber von den örtlichen Gegebenheiten ab. Beispiele: Eilendorf, Brand, Walheim.

#### Spezielle Nutzungen (Kasernen, Forschungseinrichtungen, Sport- und Freizeitanlagen)

Diese Flächen sind im einzelnen sehr unterschiedlich genutzt. In den meisten Fällen liegen größere Gebäude mit größeren, teils versiegelten, teils unversiegelten Zwischenräumen vor. Bei den Kasernengeländen sind kurz-, mittel- bzw. langfristig Nutzungsänderungen, bei den derzeit noch offen gestalteten Forschungseinrichtungen (Melaten) Nachverdichtungen und bei den Sportanlagen bauliche Veränderungen zu erwarten.

### **4.1.2. Typ Stadt**

#### a) allgemeine Merkmale

Versiegelungsgrad:	überwiegend 70-85%,
Bebauungsstruktur:	vorwiegend innerstädtische Blockrandbebauung,
Nutzung:	vorwiegend Wohnen, teilweise Dienstleistungen
Emissionen:	verkehrliche und Hausbrandemissionen

## b) Anmerkungen

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.

## c) einzelne Teilflächen

### Hochschulviertel

Der Versiegelungsgrad ist örtlich unterschiedlich, meist aber hoch. Es dominieren größere, freistehende Gebäude; die größeren Zwischenräume werden vorwiegend als Parkplätze genutzt. Trotz relativ hoher verkehrsbedingter Emissionen ist bei relativ offener Lage und Bebauungsstruktur keine besondere lufthygienische Problemsituation gegeben.

### Tallagen im Westen und Süden

Es überwiegt Wohnnutzung in wenig ausgedehnter Blockrandbebauung mit insgesamt mäßigem Versiegelungsgrad. Durch die Tallage ist eine weniger günstige Belüftungssituation gegeben, die aber durch den klimatischen Einfluß der Kaltluftströme in den Bachtälern verbessert wird. Durch lokale Emittenten sind örtlich Problemlagen möglich.

### Kuppenlagen im Westen und Süden

Es überwiegt Wohnnutzung in wenig ausgedehnter Blockbebauung mit insgesamt mäßigem Versiegelungsgrad; teilweise ist ein höherer Anteil gewerblicher Nutzungen (Einzelhandel an Ausfallstraßen) gegeben. Die Kuppenlage bedingt eine relativ günstige Belüftungssituation. Durch lokale (verkehrliche) Emittenten sind örtlich Problemlagen möglich.

### Burtscheid

Das Gebiet ist gekennzeichnet durch eine Mischnutzung mit - in den zentralen Bereichen - relevantem Anteil gewerblicher Nutzungen (Einzelhandel, Dienstleistungen) bei unregelmäßiger Bebauungsstruktur und uneinheitlichem Versiegelungsgrad. Die tiefer gelegenen Randbereiche stehen unter dem Einfluß von Kaltluftabflüssen aus dem Aachener Wald, die zwar weniger gebündelt als im Einflußbereich der anderen Bachtäler einströmen, aber dennoch eine nicht geringe Wirkung erzielen.

### Frankenberger Viertel

Es überwiegt eine relativ einheitliche Blockbebauung mit vorwiegender Wohnnutzung. Die Nutzung der Blockinnenhöfe und damit auch der Versiegelungsgrad fallen sehr unterschiedlich aus. Es ist von einem mäßigen Emissionsniveau auszugehen, wobei die Belüftungssituation im Verhältnis zu den Emissionen wegen der Nähe zum Beverbachtal und Gillesbachtal nicht ungünstig ist.

### Ostviertel / Alt-Forst / Rothe Erde / Jülicher Straße

In den Teilflächen liegen sehr uneinheitliche Nutzungen sowie uneinheitliche Baustrukturen und Versiegelungsgrade vor. Bei geschlossenen Blockinnenhöfen ist der Versiegelungsgrad meist hoch. Die Belüftungssituation ist wegen der Leelage zu größeren bebauten Gebieten vorwiegend ungünstig.

### Subzentren außerhalb der Innenstadt (Forst, Brand, Eilendorf, Haaren, Laurensberg)

Nutzungen und Bebauungsstrukturen sind uneinheitlich; meist herrscht eine Blockrandbebauung mit einem größeren Anteil tertiärer Nutzungen vor. Die Gebiete sind meist an Hauptverkehrsstraßen gelegen und überwiegend ungenügend belüftet. Die Belüftungssituation ist allerdings örtlich unterschiedlich (Tallage Laurensberg bzw. Haaren, Kuppenlage Brand).

### Kernbereiche von Großwohnsiedlungen

In den Kernbereichen der Großwohnsiedlungen sind wegen des hohen Versiegelungsgrads und der großen Baukörper tendenziell klimatische Verhältnisse zu erwarten, die ebenfalls dem Typ Stadt entsprechen. Allerdings wird die tatsächliche Situation v.a. wegen der Nähe zum Bebauungsrand in Verbindung mit den günstigen Reliefverhältnissen wesentlich modifiziert. Beispiele: Driescher Hof, Kullen, Preuswald.

#### **4.1.3. Typ Innenstadt**

##### a) allgemeine Merkmale

Versiegelungsgrad:	überwiegend >85%,
Bebauungsstruktur:	uneinheitlich strukturierte, aber sehr dichte Bebauung,
Nutzung:	Dienstleistungen, teilweise Wohnen
Emissionen:	überwiegend verkehrliche Emissionen

## b) Anmerkungen

In den Innenstädten haben sich in den vergangenen Jahrzehnten 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 bauliche Erweiterungen am Stadtrand). Von beiden Entwicklungen ist die Aachener Innenstadt räumlich unterschiedlich betroffen.

## c) einzelne Teilflächen

### City

Das Gebiet ist durch unterschiedlich große Häuserblocks bei vorwiegend engen Straßen und einer ungeordneten Bebauungsstruktur gekennzeichnet. Es liegen fast ausschließlich tertiäre Nutzungen vor. Die Belüftungssituation ist insgesamt ungünstig, da das Gebiet allseits weit vom Stadtrand entfernt ist und die Qualität von Belüftungswirkungen aus allen Richtungen durch starke Verkehrsemissionen (v.a. im Bereich des Alleenrings) beeinträchtigt ist. Die Blockinnenhöfe sind überwiegend bebaut; sofern freie Flächen vorhanden sind, werden diese als Parkplätze bzw. -häuser genutzt und sind voll versiegelt.

### Innenstadt (Nordost)

Das Gebiet ist durch größere Häuserblocks bei teilweise breiteren Straßen und einer geordneten Bebauungsstruktur gekennzeichnet. Die Belüftungssituation ist wegen hoher verkehrsbedingter Emissionen in Kombination mit der Lee-Lage zur City (in bezug auf die Hauptwindrichtung) aber auch zu anderen emittierenden Gebieten (bei östlichen Winden Rothe Erde) trotz der etwas günstigeren Bebauungssituation besonders problematisch. Die Blockinnenhöfe sind weitgehend bebaut; es verbleiben allerdings kleinere Freiflächen, die auch teilweise unversiegelt sind.

### Pontviertel

Das Gebiet ist durch relativ kleine Häuserblocks bei engen Straßen und einer ungeordneten Bebauungsstruktur gekennzeichnet ("Altstadt"). Die Belüftungssituation ist wegen der Nähe zu den Grünflächen am Lousberg trotz der Nähe zu Hauptverkehrsstraßen etwas günstiger. Die Blockinnenhöfe sind nicht durchgängig bebaut.

### Innenstadt (Südwest)

Das Gebiet ist ebenfalls durch relativ kleine Häuserblocks bei engen Straßen und einer ungeordneten Bebauungsstruktur gekennzeichnet. Die Belüftungssituation ist

wegen der Luv-Lage zur City (in bezug auf die Hauptwindrichtung) und wegen der Wirkung der Bachtäler günstiger. Die Blockinnenhöfe sind zwar teilweise bebaut, zum Teil aber recht offen und durchgrünt gestaltet.

#### 4.1.4. Typ Gewerbe- und Industriegebiet

##### a) allgemeine Merkmale

Versiegelungsgrad: überwiegend >70%,

Bebauungsstruktur: überwiegend große Gebäude mit größeren Zwischenräumen

Nutzung: gewerbliche Nutzungen

Emissionen: verkehrliche und gewerbliche Emissionen

##### b) Anmerkungen

Die "klassische" stadtklimatologische Bewertung von Gewerbe- und Industriegebieten - auch deren klare Unterscheidung voneinander und von anderen Nutzungen - ist bei den erheblichen Nutzungsänderungen speziell auch der jüngeren Vergangenheit für Aachen nicht mehr aufrecht zu erhalten. Stadtklimatologisch relevante - also mit starken und räumlich konzentrierten Emissionen von Schadstoffen und Wärme verbundene - industrielle Nutzungen kommen im Untersuchungsgebiet nur noch räumlich eng begrenzt vor, weshalb von einer flächigen Darstellung ganz abgesehen wurde. Ansonsten variieren die Verhältnisse zwischen hochverdichteten, örtlich mit produktionsbedingten, ansonsten v.a. durch erhebliche Ziel- und Lieferverkehre bedingten Emissionen belasteten Bereichen und solchen, die sich stadtklimatologisch nur wenig von Wohnsiedlungsbereichen unterscheiden. Grundsätzlich unterscheiden sich Gewerbegebiete aber in jedem Fall dadurch von Wohngebieten - weshalb sie auch weiterhin gesondert dargestellt werden -, daß erstens eine geringere Immissionsempfindlichkeit vorliegt, daß zweitens überwiegend ein erhöhtes Verkehrsaufkommen vorauszusetzen ist und daß drittens durch technische Veränderungen nachteilige Veränderungen der Emissionssituation möglich sind.

##### c) einzelne Teilflächen

###### Rothe Erde

Hierbei handelt es sich um ein stadtnahes Industriegebiet mit früher allgemein, jetzt nur noch punktuell problematischer Situation. Trotz der offenen Hanglage ist der Standort wegen des geringen Abstands zur Wohnbebauung in fast allen Richtungen in bezug auf den Abtransport von emittierten Schadstoffen, Gerüchen etc. grundsätzlich ungünstig; es sind Geruchsimmissionen bekannt. Die lufthygienische Situation hat sich inzwischen allerdings offenbar deutlich verbessert. Die Bebauungssituation ist durch relativ große Zwischenräume zwischen den großen Werkshallen gekennzeichnet, so daß trotz intensiver Abwärmeproduktion nur eine moderate Beeinflussung des Temperaturfeldes gegeben ist. Wegen des hohen Versiegelungs-

grades ist allgemein von ungünstigen hygrischen Verhältnissen auszugehen. Dieses Gebiet liegt im Einflußbereich von Belüftungsfunktionen aus dem Freiflächenzug zwischen Forst und Eilendorf.

#### Jülicher Straße

Die Lage des Gebiets im direkten Einflußbereich von städtischer Abluftfahne und dem Kaltluftsee in der Soers ist in bezug auf den Abtransport von emittierten Schadstoffen, Gerüchen etc. besonders ungünstig. Auch hier hat sich die Immissionssituation verbessert und es existieren nur noch einzelne Emissionsquellen. Bei den eher kleineren Zwischenräumen zwischen den Werkshallen ist, selbst wenn von relativ geringen Abwärmeemissionen ausgegangen wird, von einer deutlichen Beeinflussung des Temperaturfeldes auszugehen. Wegen des hier ebenfalls hohen Versiegelungsgrades sind ungünstige hygrische Verhältnisse anzunehmen.

#### Süsterfeld

Aus dem Industriegebiet Süsterfeld sind v.a. Geruchsimmissionen bekannt, die anscheinend aber ebenfalls tendenziell abnehmen. Bei den mäßig großen Zwischenräumen zwischen den Werkshallen ist wegen der Lage am Westrand der Stadt von einer nur mäßigen Beeinflussung des Temperaturfeldes auszugehen. Wegen der Lage zum Stadtzentrum liegt dementsprechend auch eine günstige Belüftungssituation vor.

#### Kleine Gewerbegebiete in Tallage (Weststraße, Wurmbenden)

In diesen Gebieten ist bei unterschiedlichen Nutzungen, Bebauungsstrukturen und Emissionen eine grundsätzlich ungünstige Belüftungssituation gegeben. Eine ggf. vorhandene Kaltluftzufuhr kann am Ort zwar zu einer Verbesserung führen, ist aber in jedem Fall mit einem Transport von Emissionen in andere, möglicherweise immissionsempfindliche Gebiete verbunden.

#### Gewerbegebiet Grüner Weg

Wegen der Lage im unmittelbaren Einflußbereich der städtischen Abluftfahne und des Kaltluftsammelgebiets Soers ist die Belüftungssituation trotz einer Anordnung der Gebäude mit großen Zwischenräumen grundsätzlich ungünstig; es muß an einer relativ großen Zahl von Tagen - v.a. in den Abend-, Nacht- und Morgenstunden - mit erhöhten Schadstoffkonzentrationen gerechnet werden. Insbesondere ist auch ein Transport von Schadstoffen in benachbarte Wohngebiete und den Kurbereich möglich. Entsprechend der Lage im Einflußbereich der Soers liegen moderate, für Gewerbegebiete eher untypische Temperatur- und Feuchteverhältnisse vor.

### Gewerbegebiet Rotter Bruch

Wegen der Lage im Einflußbereich der städtischen Abluftfahne ist die Belüftungssituation trotz einer Anordnung der Gebäude mit großen Zwischenräumen grundsätzlich nicht sehr günstig. Die thermischen und hygrischen Verhältnisse dürften - bei ähnlicher Lage und ähnlich hohem Versiegelungsgrad etwa denen des Industriegebiets Rothe Erde entsprechen.

### Gewerbegebiet Eilendorf Süd

Die sehr extensive Flächennutzung in diesem Bereich beinhaltet überwiegend große Abstände zwischen den Betrieben, zumal noch nicht alle Grundstücke genutzt sind; die Emissionssituation, aber auch die thermischen und hygrischen Verhältnisse in diesem Gebiet sind sehr moderat. Die großräumige Hanglage am östlichen Stadtrand an einer Belüftungsbahn kann bei austauscharmen Wetterlagen zu einem stadteinwärts gerichteten Transport von Schadstoffen führen.

### Sonstige Gewerbegebiete (Kackertstraße, Brand Nord, Hüls, Pascalstraße)

Diese meist kleineren Gewerbegebiete weisen, soweit sie schon voll genutzt sind, eine lockere Bauweise auf. Da hier überwiegend wenig emittierende Betriebe angesiedelt sind, ist die Belüftungssituation nicht grundsätzlich problematisch.

## 4.1.5. Typ Park

### b) allgemeine Merkmale

Versiegelung < 10 %,

Bebauung: nur einzelne Gebäude bzw. Straßen,

Vegetation: Bepflanzung unterschiedlicher Höhe bei eingestreuten offenen Grünflächen; teilweise kleinere Wasserflächen

### b) einzelne Teilflächen

#### Innerstädtische Grünflächen

Diese in Aachen meist sehr kleinen und daher überwiegend nicht in der Karte ausgewiesenen Grünflächen können in bezug auf Freiflächenanteile bzw. Gehölze unterschiedlich gestaltet sein. Sie sind meist relativ hohen Immissionen ausgesetzt und können i.d.R. keine klimatischen Funktionen für eine größere Umgebung übernehmen.

### Friedhöfe, Kleingärten und durchgrünte Sportanlagen

Diese Flächen sind in bezug auf Freiflächenanteile bzw. Gehölze ebenfalls unterschiedlich gestaltet, wobei hier noch ein unterschiedlicher Anteil versiegelter Flächen hinzukommt. Entsprechend ihrer Lage ist die Immissionsbelastung bzw. das Wirkpotential für die Umgebung unterschiedlich.

### Parks am Stadtrand

Diese größeren Areale sind sehr unterschiedlich gestaltet. Sie entwickeln deutlich eigene klimatische Eigenschaften und sind - zumindest in ihren Kernbereichen - klimatisch-lufthygienischen Einwirkungen der Stadt meist wenig ausgesetzt und können relevante Funktionen für größere bebaute Areale in der Umgebung übernehmen.

#### **4.1.6. Typ Wald**

##### a) allgemeine Merkmale

Versiegelung: < 10 %,

Bebauung: nur einzelne Gebäude bzw. Straßen,

Vegetation: flächendeckende Bepflanzung mit Bäumen meist einheitlicher Höhe

##### b) einzelne Teilflächen

###### vorwiegend Laubwald

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 tendentiell eher dem Typ 'Freiland'.

###### vorwiegend Nadelwald

Die Eigenschaften des Waldes sind beim Nadelwald ganzjährig ausgeprägt. Wegen des oft weniger deutlich entwickelten Stammraums ist die bodennahe Luft allerdings wenig mobil.

###### vorwiegend Mischwald / parkartige Anlagen

Je nach örtlichen Verhältnissen treten die oben genannten Merkmale kombiniert in Erscheinung.

#### 4.1.7. Typ Freiland

##### a) allgemeine Merkmale

Versiegelung: < 10 %,

Bebauung: nur einzelne Gebäude bzw. Straßen

Vegetation: flächendeckende landwirtschaftliche Nutzung bzw. Brachen mit niederer oder jahreszeitlich bedingt fehlender Vegetation; nur einzelne Baumpflanzungen,

##### b) einzelne Teilflächen

###### Offene Ackerflächen im Bereich der Börde

Wegen der durch die Nutzung und das flachwellige Relief bedingten geringen Bodenreibung treten in Bodennähe sehr häufig hohe Windgeschwindigkeiten auf; hierdurch ist eine äußerst günstige Belüftungssituation gegeben, die für benachbarte bebaute Gebiete großräumig von Bedeutung ist. Je nach Vegetationsbestand und Lage können diese Flächen allerdings ein thermisch bzw. hygrisch extremes Verhalten aufweisen.

###### Heckenlandschaft im Bereich der Vennfußfläche

Bei der typischen Heckenstruktur in Verbindung mit teilweise etwas ausgeprägterem Relief ist die Bodenreibung zwar immer noch relativ gering, aber größer als über den offenen Ackerflächen. Auch hier treten in Bodennähe noch häufig relativ hohe Windgeschwindigkeiten mit einer entsprechend günstigen Belüftungssituation und einer großen Bedeutung für bebaute Gebiete auf. Diese Flächen sind thermisch bzw. hygrisch weniger extrem.

###### Grünland mit Gehölzstrukturen im Bereich der Bachtäler

Wegen der größeren Bodenreibung bei einer Lage im Lee des Aachener Waldes treten in Bodennähe weniger häufig hohe Windgeschwindigkeiten auf. Die Belüftungssituation ist immer noch gut; eine besondere Belüpfungsfunktion ist allerdings meist nur für die nähere Umgebung der Freiflächenzüge (v.a. entlang der kanalisierend wirkender Bachtäler) gegeben. Diese Flächen sind thermisch bzw. hygrisch ausgeglichener.

#### **4.1.8. Typ Wasserfläche**

Im Untersuchungsgebiet liegen nur einzelne Wasserflächen, bei denen aufgrund ihrer geringen Ausdehnung von nennenswerter Klimawirksamkeit nur für die jeweilige Nahumgebung ausgegangen werden kann. Grundsätzlich ist aber jedes Gewässer stark klimawirksam, wobei die Ufervegetation bei kleineren Wasserflächen die Reichweite begrenzt.

Die besonderen Merkmale des Klimas der Wasserflächen beruhen vor allem auf einer starken Dämpfung des Temperaturtagesgangs, die v.a. durch die hohe Wärmekapazität des Wassers hervorgerufen wird, und auf höherer Luftfeuchtigkeit. Große Wasserflächen können wegen der extrem geringen Bodenreibung Belüftungsfunktionen übernehmen.

### **4.2. Spezielle Klimafunktionen**

#### **4.2.1. Gebäudekomplexe**

Im Bereich geschlossener städtischer Bebauung liegen unregelmäßig verteilt und mehr oder weniger räumlich begrenzt kleinere Gebiete mit einer Baukörperstruktur, die sich deutlich von derjenigen der Umgebung unterscheidet. Hierbei handelt es jeweils sich um Gruppen von größeren Einzelgebäuden, die in bezug auf Geschosßzahlen, Versiegelungsgrad und Nutzung untereinander meist Ähnlichkeiten aufweisen (überwiegend mehr als 8 Geschosse, oft relativ geringer Versiegelungsgrad, oft Verwaltungsgebäude etc.).

Die Signatur "Gebäudekomplexe" zeigt typische, stadtklimatologisch relevante Phänomene an, die mit solchen Strukturen verbunden sind. Durch die großen Gebäudehöhen werden in Bodennähe Windfeldänderungen (Turbulenzen, Windrichtungsänderungen) verursacht, die sich negativ auf die Aufenthaltsqualität auswirken und die bei hohen Windgeschwindigkeiten sogar Gefahrenpotentiale darstellen können. Da große Baukörperhöhen oft mit großen Gebäudeabständen einhergehen, können die Belüftungsverhältnisse auch bei allgemein geringeren Windgeschwindigkeiten günstiger als in der Umgebung sein und es sind - trotz großer Baukörper - moderate thermische Verhältnisse möglich, insbesondere, sofern ein niedriger Versiegelungsgrad vorliegt.

#### **4.2.2. Siedlung im Freiraum**

Außerhalb des Bereichs geschlossener Bebauung finden sich im Freiraum - v.a. im Aachener Süden - Siedlungsansätze, die keinen größeren Siedlungsverband darstellen. Meist handelt es sich um Gruppen von freistehenden Einzelgebäuden, die entweder zu Wohnzwecken oder landwirtschaftlich genutzt werden. Oft sind solche Siedlungen von Gehölzbeständen flankiert.

Sofern es sich um Bereiche mit einer gewissen Mindestausdehnung handelt, führen die entsprechenden Strukturen zu einer Modifikation des Freilandklimas, die in Richtung Siedlungsklima tendiert. Insbesondere ist hier und im Umfeld eine Reduzierung der Windgeschwindigkeit gegeben; u.U. - dies gilt v.a. für den Nordteil des Stadtgebiets - liegen auch weniger extreme thermische Verhältnisse vor.

#### **4.2.3. Gehölzbestand im Freiraum**

Im Freiland liegen in einigen Bereichen größere Gehölzbestände, die sich in bezug auf Ausdehnung und Geschlossenheit deutlich von Waldbeständen unterscheiden. Entweder sind diese Gehölze gezielt angelegt worden (insbesondere im Aachener Norden) oder es handelt sich um aus ehemaligen Hecken hervorgegangene Bestände (überwiegend im Süden des Stadtgebiets).

In diesen Gehölzbeständen und in ihrer Umgebung sind die Merkmale des Freilandklimas in Richtung Parkklima modifiziert. Abgesehen von einer Reduzierung der Windgeschwindigkeit liegen - bei höherer Luftfeuchtigkeit - weniger extreme thermische Verhältnisse vor.

### **4.3. Belüftungsfunktionen**

Die Darstellung spezifischer Klimaeigenschaften, hier v.a. Belüftungsfunktionen, basiert - im Gegensatz zu den oben aufgelisteten Klimafunktionen - auf konkreten Untersuchungsergebnissen. Die hier verwendete Systematik stimmt mit den entsprechenden Angaben neuerer 'Stadtklimaanalysen' und der VDI-Richtlinie grundsätzlich überein (vergl. STADT DÜSSELDORF, 1995; VDI, 1994); es waren allerdings Modifikationen erforderlich. Die Notwendigkeit hierzu ergab sich v.a. daraus, daß das Untersuchungsgebiet einerseits wegen der Lage im Übergangsbereich zwischen küstennahem Tiefland und gebirgigerem Binnenland einen besonders starken Kontrast in bezug auf die großräumige Belüftungssituation aufweist und andererseits durch differenzierte Reliefstrukturen geprägt ist, aus denen sich - v.a. bei austauscharmen Wetterlagen - verschiedenartige kleinräumige Belüftungswirkungen ergeben.

#### **4.3.1. Gebiete mit starker Ventilation**

Im nördlichen Teil des Stadtgebiets befinden sich einige exponierte Kuppenbereiche in denen besondere Belüftungsverhältnisse vorliegen. Da es sich i.w. um ackerbaulich genutztes, flach welliges und nur wenig durch Gehölzstrukturen gegliedertes Gelände handelt, liegt eine sehr geringe Bodenreibung vor.

Infolge der relativen Hochlage (bei freier Anströmung v.a. aus der Hauptwindrichtung Südwest) kommt es in Bodennähe zu hohen mittleren Windgeschwindigkeiten. Diese besonders starke Ventilation dämpft den Tagesgang der Lufttemperatur, so daß die thermischen Verhältnisse weniger extrem sind als es für das Freiland zu erwarten wäre. Insbesondere wird auch die Ausbildung nächtlicher Bodeninversionen erschwert. Gleichzeitig bedingt die gute Durchlüftung einen schnelleren Ab-

transport der Bodenfeuchtigkeit, so daß eine Tendenz zu geringerer Luftfeuchte vorliegt.

#### **4.3.2. Lokaler Kaltluftabfluß an Hängen und in Mulden**

Bei austauscharmen bzw. -schwachen Wetterlagen kommt es bei negativer Strahlungsbilanz (überwiegend abends und nachts) zu starker Abkühlung der Erdoberfläche, wovon insbesondere die bodennahe Luftschicht erfaßt wird. Die kältere, dichtere und daher schwerere Luft fließt dem natürlichen Gefälle folgend talwärts ab (Bergwind). Es bilden sich kleinräumige Kaltluftabflüsse aus, die Mächtigkeiten bis einige Meter und Geschwindigkeiten meist sehr deutlich unter 1 m/s erreichen.

Die Wirkung lokaler Kaltluftabflüsse besteht überwiegend in einer horizontalen Belüftung (bei unter den gegebenen Bedingungen allgemein stark reduziertem Luftaustausch) sowie einer Zufuhr relativ kalter und ggf. feuchter Luft. Sofern solche Kaltluftabflüsse in die Bebauung hinein gerichtet sind, können sie kleinräumig das Schadstoffniveau senken und eine Abkühlung überwärmter Siedlungsbereiche bewirken.

#### **4.3.3. Kaltluftströme in Tälern**

Bei entsprechenden Reliefverhältnissen können lokale Kaltluftabflüsse in größeren Tälern von größeren Kaltluftansammlungen, den Kaltluftströmen, überlagert werden. Die Kaltluft kann dann Mächtigkeiten bis über 30 m und Geschwindigkeiten bis deutlich über 1 m/s erreichen; bei entsprechenden Querschnitten können so ganz erhebliche Volumenströme zustande kommen.

Die Belüftungswirkung entspricht prinzipiell der von lokalen Kaltluftabflüssen; allerdings kann sich die Wirkung auf ganze Stadtteile erstrecken. Zudem kann es - sofern lokale Emittenten vorhanden sind - auch örtlich zu einer Anreicherung von Luftschadstoffen kommen.

#### **4.3.4. Kaltluftstau**

Behinderung des Abflusses von Kaltluftströmen in Tälern durch Hindernisse oder geringes Gefälle.

Die hieraus resultierenden relativ geringen Strömungsgeschwindigkeiten der Kaltluft bedingen eine starke Auskühlung und damit eine erhöhte Frost- und Nebelgefährdung sowie eine Tendenz zur Schadstoffakkumulation.

### **4.3.5. Kaltluftsammlgebiet**

Die Soers stellt - zusammen mit ihren Randbereichen - eine große Hohlform dar, die nur mit einem relativ engen Ausgang (Wurmtal) ausgestattet ist. Von den Hängen und aus den Tälern der Umgebung einströmende Kaltluft sammelt sich hier bis zu großen Mächtigkeiten an. Es herrscht Stagnieren der Kaltluft bei kräftiger Inversionsbildung vor, was mit sehr ungünstigen Luftaustauschbedingungen und der Gefahr - zeitlich beschränkter - Schadstoffakkumulation verbunden ist.

Die negativen Auswirkungen dieser Kaltluftansammlungen herrschen nicht nur über den noch unbebauten Flächen vor, sondern wirken - v.a. in größeren Höhen über Grund - auf die tiefgelegenen bebauten Bereiche in der Umgebung zurück.

## **4.4. Lufthygiene**

### **4.4.1. Industrieanlagen**

Die Signatur gibt an, daß starke punkthafte Emissionsquellen vorliegen. Es handelt sich hierbei um Emittenten, die nach dem vorliegenden Emissionskataster (pers. Mitt., Umweltamt der Stadt Aachen, 2000) außergewöhnlich hohe Schadstoffemissionen aufweisen.

### **4.4.2. Sonderflächen**

Bei diesen Flächen handelt es sich um Anlagen, von denen spezielle klimatisch-lufthygienische Wirkungen ausgehen. Es handelt sich hierbei um Abwasserreinigungsanlagen (Emission von Gerüchen und Abwärme), die Kompostanlage Brand (Emission von Gerüchen und Stäuben) sowie um Steinbrüche (Emission von Stäuben). Die Intensität der Emissionen wurde nicht untersucht; in jedem Fall sind jahres- sowie tageszeitlich bzw. betriebsbedingt erhebliche Schwankungen der Emissionen zu erwarten.

### **4.4.3. Hauptverkehrsstraßen**

a) allgemeine Merkmale

Hohes Verkehrsaufkommen und dementsprechendes Emissionsniveau; weitgehende Versiegelung der Flächen.

b) einzelne Teilflächen (nicht in der Karte ausgewiesen)

### BAB außerorts

Auf diesen Straßen ist tags und nachts wegen hohem Verkehrsaufkommen und insbesondere hohem LKW-Anteil von erheblichen Emissionen auszugehen. Die Immissionssituation ist dort problematisch, wo der Abstand zur Wohnbebauung gering ist bzw. wo die Autobahn im Bereich von abfließender bzw. stagnierender Kaltluft verläuft.

### Hauptverkehrsstraße außerorts

An diesen Straßen können unter Umständen örtlich und zeitlich begrenzt problematische lufthygienische Verhältnisse auftreten, sofern hohes Verkehrsaufkommen oder stockender Verkehr und ein geringer Abstand zur Wohnbebauung insbesondere in Verbindung mit einem Straßenverlauf im Bereich von abfließender bzw. stagnierender Kaltluft vorliegen.

### Hauptverkehrsstraße innerorts in offener Bebauung

Auch an diesen Straßen können örtlich und zeitlich begrenzt problematische lufthygienische Verhältnisse auftreten, sofern entweder ein besonders hohes Verkehrsaufkommen oder stockender Verkehr, eine allgemein ungünstige Immissionssituation in der Umgebung oder ein Straßenverlauf im Bereich von abfließender bzw. stagnierender Kaltluft vorliegen.

### Hauptverkehrsstraße innerorts in Straßenschluchtsituation bzw. Nebenstraße innerorts mit hohem Verkehrsaufkommen in enger Straßenschlucht

An diesen Straßen ist grundsätzlich von einer problematischen lufthygienischen Situation auszugehen. Bei besonders hohem Verkehrsaufkommen oder stockendem Verkehr, einer allgemein ungünstigen Immissionssituation in der Umgebung oder einem Straßenverlauf im Bereich von abfließender bzw. stagnierender Kaltluft ist von relevanten Grenz- bzw. Prüfwertüberschreitungen auszugehen.

#### **4.4.4. Besonders belastete Straßenabschnitte**

In den dargestellten Straßenabschnitten ergaben sich bei den Immissionsprognosen (Screening) Konzentrationswerte von mehr als 90% der Richtwerte für Ruß, und/oder Benzol.

#### **4.4.5. Bahnanlagen**

##### a) allgemeine Merkmale

Geringer Versiegelungsgrad, aber Bedeckung des Erdbodens mit Schotter, Lärmemissionen.

##### b) einzelne Teilflächen (nicht in der Karte ausgewiesen)

###### Freie Streckenabschnitte

Je nach Lage, Trassenführung und Randbewuchs sind lokale Belüftungswirkungen für die Umgebung möglich. Bahndämme können als Strömungshindernis insbesondere im Bereich der Bachtäler wirken.

###### Streckenabschnitte mit hohem Anteil an Diesel-Triebfahrzeugen

Hier sind potentielle Belüftungswirkungen möglicherweise durch Emissionen insbesondere von SO<sub>2</sub> und Ruß beeinträchtigt (auch stärkere Lärmemissionen). Unter Umständen kann es lokal zu überhöhten Schadstoffbelastungen kommen. Bahndämme können als Strömungshindernis insbesondere im Bereich der Bachtäler wirken.

###### Größere Gleisanlagen

Größere Gleisanlagen können freiland-ähnliche Eigenschaften aufweisen, wobei sie insbesondere örtlich bedeutsame Belüpfungsfunktionen übernehmen können. Der Schotterbelag führt zu thermisch und hygrisch extremen Verhältnissen.

#### **4.4.6. Kurgelbiete**

Für Kurgelbiete gelten besondere Anforderungen an die Luftqualität. Die Einhaltung der entsprechenden Grenzwerte muß jeweils nachgewiesen werden.

## 5. Planungsempfehlungen

### 5.1. Allgemeine Planungsempfehlungen

Für das Stadtgebiet lassen sich auf Grundlage der Reliefverhältnisse, der räumlichen Verteilung der Flächennutzungen, der allgemeinen Merkmale der Immissions-situation sowie der klimatischen Funktionen allgemeine Planungsempfehlungen ableiten.

Grundsätzlich sind im Stadtgebiet in bezug auf den Luftaustausch und die klimatischen Verhältnisse drei Hauptbereiche zu unterscheiden:

1. Bereiche mit tendenziell besonders ungünstigen Luftaustauschverhältnissen (Aachener Kessel und die markanten Tallagen v.a. innerhalb des Einzugsgebiets der Inde und des Senserbachs); hier ist generell eine Verbesserung der Immissionssituation und eine Sicherung der Belüftungsfunktionen vordringlich.
2. Bereiche mit tendenziell besonders günstigen Luftaustauschverhältnissen (v.a. die relativen Hochlagen im Nordwestteil des Stadtgebiets); in diesen Gebieten ist derzeit allgemein kein Handlungsbedarf zu sehen, allerdings können hier übergeordnete, großräumige Belüftungsfunktionen vorliegen, deren Erhalt langfristig gesichert werden sollte.
3. Bereiche mit kleinräumig sehr variablem, überwiegend aber mäßigem Luftaustausch (übrige Gebiete); hier liegen komplexe klimatische Funktionen vor, deren - planungsbezogene - Bewertung im einzelnen sehr unterschiedlich ausfällt.

Für die folgenden Teilgebiete der Stadt lassen sich gebietsbezogen weitere allgemeine Planungsempfehlungen ableiten.

Für den *Südrand des Talkessels* einschließlich des Südteils der Innenstadt ist die klimatisch-lufthygienische Situation eng mit der Belüftungswirkung der Bachtäler verbunden. Im Vordergrund stehen hier insgesamt Empfehlungen, die auf eine nachhaltige Sicherung und Stärkung der entsprechenden Belüftungsfunktionen abzielen.

Im Stadtteil *Burtscheid* ist der Kurbereich mit dessen besonderen Anforderungen und dem hohen Stellenwert des Kurbetriebs für die Stadt von besonderer Bedeutung. Hier gelten spezielle Grenzwerte im Bereich Luftreinhalte (s. Begriffsbestimmungen f. Kurorte). Innerhalb Burtscheids ist eine mäßige Belüftungs- und Immissionssituation zu konstatieren; die Hauptemittenten sind hier Verkehr und Hausbrand. Allgemeine Planungsempfehlungen beziehen sich in erster Linie auf eine Verbesserung der Emissionssituation (s. Stadtökologischer Fachbeitrag Klima-Lufthygiene) und auf einen Erhalt bzw. eine Verbesserung der Belüftung durch Kaltluftabflüsse. Für Burtscheid ist wegen der nur mäßigen lufthygienischen Situation bei einem hochrangigen Schutzstatus weiterer Untersuchungsbedarf zu sehen.

Im Bereich *Forst, Driescher Hof und Eilendorf-Süd* ist aufgrund der überwiegend relativ geringen Bebauungsdichte in Kombination mit der Kuppenlage davon auszugehen, daß klimatisch-lufthygienische Problemfälle auf einige Bereiche - insbesondere in Zusammenhang mit verkehrlichen bzw. gewerblichen Emittenten - beschränkt sind. Da in der direkten Umgebung wichtige Belüftungsfunktionen vorliegen (Beverbachtal, Rödgerbachtal, Haarbachtal), ist eine Ausweitung des Baubestands überwiegend nicht zu empfehlen. Gegenwärtig nicht bebaute größere Frei- bzw. Brachflächen, insbesondere wenn sie Verbindung zum Außenbereich bzw. untereinander haben oder wenn solche hergestellt werden könnten (z.B. als in die Bebauung gerichtete Freiflächenzüge), sollten gesichert werden; sie können geeignet sein, langfristig notwendige Belüftungsfunktionen zu übernehmen (insbesondere, falls der Baubestand verdichtet werden soll).

In *Brand* liegt grundsätzlich eine ähnliche Situation vor, wobei der etwas stärker exponierten und daher für die Belüftung günstigen Kuppenlage bereits jetzt eine größere und flächenhaftere Ausdehnung der Bebauung gegenüber steht. Hier konzentrieren sich die klimatisch-lufthygienischen Probleme auf die verkehrliche Situation (Trierer Straße) und eine mögliche zukünftige Ausdehnung des Baubestands (Erhalt der Belüpfungsfunktion des Indetals und des Einzugsgebiets des Haarbachtals östlich von Brand).

Für die Ortsteile *Eilendorf* und *Rothe Erde* sowie für das *Ostviertel* und das Gewerbegebiet *Hüls* können wegen der uneinheitlichen Nutzungs- und Bebauungsstruktur und wegen der räumlich stark differenzierten Belüpfungsfunktionen nur wenige allgemeine Empfehlungen gegeben werden. Es ist bei einer Lage innerhalb des Aachener Kessels und zusätzlich teilweise im Lee der Innenstadt (bezogen auf die Hauptwindrichtung) von allgemein ungünstigen Luftaustauschverhältnissen auszugehen, so daß hier Maßnahmen zur Emissionsminderung und zum Erhalt vorhandener Belüpfungsfunktionen im Vordergrund stehen müssen.

Für die Teile der Stadt, die in bezug auf die Hauptwindrichtung voll im Lee der Innenstadt und innerhalb des Kaltluftsammlgebiets Soers liegen und die wegen der gewerblichen Nutzung und des hohen Verkehrsaufkommens zusätzlich ein hohes Emissionspotential aufweisen (*Grüner Weg, Jülicher Straße, Haaren*) muß im Vordergrund stehen, daß das Emissionsniveau abgesenkt wird und daß vorhandene Belüpfungsfunktionen erhalten bleiben müssen. Derzeit noch vorhandene Freiflächen mit nachgewiesenen bzw. vermuteten Belüpfungsfunktionen (v.a. entlang der natürlichen Talansätze von Haarbachtal und Wurm bzw. entlang des Grünen Wegs) sind zu sichern. Innerhalb und in der Umgebung der Wohngebiete sollte zunächst keine weitere bauliche Verdichtung vorgenommen werden, in den vorhandenen Gewerbegebieten sollte eine Nachverdichtung zurückhaltend gehandhabt werden.

In den tieferen Teilen von *Laurensberg* und im Bereich *Süsterfeld* ist wegen der nahezu ebenen Tallage von tendenziell ungünstigerem Luftaustausch auszugehen (Kaltluftsammlgebiet Soers); bei einer Lage im Luv der Stadt ist die Situation hier allerdings nicht grundsätzlich sehr problematisch. Generell sollten hier zusätzliche Emissionen vermieden werden. In einigen Bereichen besteht allerdings Handlungsbedarf; insbesondere in den tieferen Lagen des Wildbachtals sollte die Wirkung von Kaltluftabflüssen aus dem oberen Wildbachtal erhalten werden.

In den zentralen und östlichen Teilen der *Innenstadt* stehen vielen, hochrangigen und zudem konkurrierenden Nutzungsanprüchen ungünstige Belüftungsverhältnisse gegenüber. Das Gebiet ist durch die Verkehrsbelastung hohen Emissionen ausgesetzt, während spezielle Belüftungswirkungen vom südlichen und westlichen Stadtrand aus nicht bis hierhin reichen. Hier sollte unbedingt eine Reduzierung der Emissionen (insbesondere an den Brennpunkten, aber auch im Gebiet insgesamt) angestrebt werden, wobei jede Verschlechterung der Belüftungssituation - etwa durch bauliche Verdichtung - vermieden werden muß.

In fast allen *Außenbezirken* stellt sich die Situation bei allgemein guten Luftaustauschverhältnissen und überwiegend geringer Emissionsdichte günstiger dar. Im Vordergrund steht hier allgemein, daß Siedlungserweiterungen nicht in die Kaltluft-einzugsgebiete hinein erfolgen sollen; hier ist zudem zu beachten, daß die großen zusammenhängenden Freiflächenzüge in der Substanz zu erhalten sind. Nur im Kernbereich von Kornelimünster sind aufgrund der Tallage (relative hohe Verkehrsbelastung im Kaltlufteinzugsgebiet) zeitweise besondere lufthygienische Probleme zu erwarten.

## 5.2. Karte der Planungshinweise

Die Planungsempfehlungen basieren auf dem in der Klimafunktionskarte dargestellten Gefüge von klimarelevanten städtischen Nutzungen und speziellen klimatischen Funktionen. Für die Ableitung von Planungsempfehlungen und deren kartographische Darstellung liegen allerdings - im Gegensatz zur Klimafunktionskarte - keine verwertbaren Vorgaben vor; der Entwurf der VDI Richtlinie (VDI, 1994) gibt hierzu noch nicht einmal Empfehlungen, sondern beschränkt sich auf Beispiele. Hier wird i.w. der Vorgehensweise der Klimaanalysen des Kommunalverbands Ruhrgebiet gefolgt (siehe z.B. Klimaanalyse Stadt Düsseldorf, 1995).

Die Darstellungen in der Karte sind nach Themenbereichen gegliedert, die - sich teilweise überschneidende - Bearbeitungsebenen repräsentieren. Die "Planungsempfehlungen für Flächennutzungseinheiten" beziehen sich auf diejenigen Eigenschaften, die sich aus der Realnutzung ergeben. Die "Planungsempfehlungen für die Belüpfungsfunktionen" bzw. die "Planungsempfehlungen für die Luftqualität" basieren auf den Ergebnissen der Klima- bzw. Luftqualitätsmessungen. Für jedes Teilgebiet der Karte können somit auf mehreren Bearbeitungsebenen Empfehlungen vorliegen.

Die Karte enthält neben der kartographischen Darstellung der Planungsempfehlungen zusätzlich Hinweise auf Gebiete, für die im Rahmen anderer Klimauntersuchungen bereits detaillierte Planungshinweise erarbeitet wurden (HAVLIK und KETZLER, 1993, 1995, 1996), sowie auf Flächen, für die als Sonderuntersuchungsgebiete in dieser Arbeit konkrete Empfehlungen erarbeitet wurden (siehe Kap. 5.3.). Diese besonderen Planungsempfehlungen sind in der "Karte der Planungsempfehlungen" nicht gesondert ausgewiesen; es ist auf die entsprechenden Einzelbearbeitungen zu verweisen.

Im einzelnen sind folgende Planungshinweise dargestellt:

## **5.2.1. Planungsempfehlungen für die Flächennutzungseinheiten**

### **Ausgleichsraum der Freiflächen**

Die klimatisch-lufthygienische Ausgleichsfunktion von Freiflächen basiert i.w. auf deren weitgehend geringem Versiegelungsgrad in Verbindung mit überwiegend niedrigem Vegetationsbestand und dem niedrigen Emissionsniveau. Daher sollte eine vermeidbare Erhöhung des Versiegelungsgrads generell unterbleiben; die Schaffung zusätzlicher Emissionsquellen ist zu vermeiden, eine Minderung des Emissionsniveaus ist anzustreben. Zur Erhaltung einer optimalen Ausgleichsfunktion ist grundsätzlich auch ein großräumiger Erhalt dieses Ausgleichsraumes wünschenswert.

Kleinere Freiflächen können bei einer Lage am Siedlungsraum wichtige Ausgleichsfunktionen für die Nahumgebung übernehmen. Ihre Wirkung kann durch Vernetzung benachbarter Freiflächen und durch Öffnung zur Bebauung hin erhöht werden.

Dort, wo Freiflächen als größere, zusammenhängende Freiflächenzüge weit in die Bebauung hineinragen oder wo sie größere Siedlungsbereiche trennen, muß von großräumig wirksamen, übergeordneten Ausgleichsfunktionen für Klima bzw. Lufthygiene ausgegangen werden (eine eingehende, quantitative Bewertung solcher regionaler Klimafunktionen konnte im Rahmen dieser Untersuchung nicht geleistet werden). Solche Funktionen sind insbesondere auch dann anzunehmen, wenn die betreffenden Flächen besonders stark ventiliert sind. Angesprochen sind hier hauptsächlich einerseits die aus östlichen Richtungen radial auf den inneren Stadtbereich gerichteten Freiflächenzüge (zwischen Haaren und Eilendorf, zwischen Eilendorf und Forst sowie entlang der Achse Beverbach-Lintert-Hitfeld) und andererseits der große Freiraum zwischen Richterich, Kohlscheid, Kerkrade und Heerlen mit seinen Ausläufern. Veränderungen der Flächennutzung sollten daher in diesen Bereichen grundsätzlich gesondert auf ihre Verträglichkeit mit solchen räumlich übergeordneten klimatisch-lufthygienischen Funktionen geprüft werden.

### **Ausgleichsraum der offenen Grün- und Parkflächen**

Diese überwiegend im Siedlungsraum oder an dessen Rand gelegenen Flächen können örtlich besonders wichtige klimatisch-lufthygienische Ausgleichsfunktionen für den Siedlungsraum, aber auch in Zusammenhang mit der Naherholung übernehmen.

Diese Flächen sind i.d.R. unbedingt zu erhalten. Sie sind oft mit speziellen (auch bioklimatischen) Funktionen verbunden; daher sollten örtlich spezielle Vegetationsstrukturen angestrebt werden (abgesehen von den "Planungsempfehlungen für Belüftungsfunktionen" sei u.a. auf die entsprechenden Planungsempfehlungen für die Bereiche Lousberg, Kannegießer-/Ponellbachtal und Gillesbachtal [HAVLIK und KETZLER, 1993, 1995, 1996] verwiesen, die sinngemäß auch an anderer Stelle anwendbar sind).

### **Ausgleichsraum Wald**

Waldflächen sind - insbesondere bei stadtnaher Lage - bioklimatisch besonders bedeutsame Ausgleichsflächen.

Der Bestand ist grundsätzlich zu erhalten, ggf. kommt sogar eine Vergrößerung des Bestands - z.B. in Form einer Vernetzung - in Betracht ("Planungsempfehlungen für die Belüftungsfunktionen" beachten).

### **Lastraum der Wohnsiedlungsgebiete**

Bei den in Aachen vorherrschenden Bedingungen kann in diesen Gebieten überwiegend von geringen (im Bereich des Aachener Kessels von mäßigen) klimatisch-lufthygienischen Belastungen ausgegangen werden.

Dennoch sollten die noch überwiegend klimatisch günstigen Bebauungsstrukturen - speziell innerhalb des Aachener Kessels - erhalten werden; eine Nachverdichtung ist generell nicht anzustreben und sollte in Bereichen mit wichtigen Belüftungsfunktionen unbedingt unterbleiben. Insbesondere innerhalb des Aachener Kessels ist die Reduktion der Verkehrs- und Hausbrandemissionen weiter voranzutreiben; örtlich können Entsiegelungsmaßnahmen sinnvoll sein.

### **Lastraum des verdichteten Stadtbereichs**

Insbesondere die innerhalb des Aachener Kessels gelegenen Teilflächen stellen Gebiete mit erhöhten klimatisch-lufthygienischen Belastungen dar.

Hier ist nicht nur der Bestandserhalt zu empfehlen, teilweise ist vielmehr eine deutliche Verbesserung der Situation anzustreben. Daher ist von einer Nachverdichtung abzusehen (insbesondere entlang der Hauptleitlinien von Belüftungsfunktionen; s. dort). Statt dessen sollte eine Erhöhung des Vegetationsanteils (Baumpflanzungen, Dach- und Fassadenbegrünung) erreicht werden, die durch Maßnahmen der Blockinnenhofentkernung, -entsiegelung und -begrünung in Verbindung mit einer Öffnung der Blockinnenhöfe (an geeigneten Stellen, z.B. in begrünte Wohnstraßen) begleitet werden sollte. Eine Reduktion der Emissionen ist anzustreben.

### **Lastraum des hochverdichteten Innenstadtbereichs**

Bei der Lage im Aachener Kessel ist dieser Bereich durch verdichtete Nutzung und hohes Emissionsniveau geprägt.

Vorrangig ist hier eine Reduktion der Emissionen anzustreben, insbesondere derjenigen des Kfz-Verkehrs. Erhalt und Ausbau von Grün- und Freiflächen, insbesondere wenn sie Belüftungsfunktionen übernehmen können, sind von besonderer Bedeutung (s. dort). Keine weitere Versiegelung zulassen.

## **Lastraum der Gewerbe- und Industriegebiete**

Die klimatologisch-lufthygienischen Verhältnisse in diesen Gebieten stellen sich sehr unterschiedlich dar; dementsprechend müssen die Planungsempfehlungen räumlich differenziert gegeben werden.

In den Tallagen innerhalb des Aachener Kessels ist - bei größerer Nutzungsdichte - grundsätzlich von höheren klimatisch-lufthygienischen Belastungen auszugehen. Dementsprechend sind hier Maßnahmen wie das Freihalten von Belüftungsbahnen, die Entsiegelung und Begrünung von Freiflächen, der Aufbau von Gehölzstrukturen sowie die Reduzierung verkehrsbedingter Emissionen (Problembereich Lieferverkehre) vordringlich; bei Nachverdichtung ist hier besondere Vorsicht geboten. Bei den wenig intensiv genutzten gewerblichen Flächen im Stadtrandbereich ist örtlich hingegen sogar Nachverdichtung ohne weiteres möglich, insbesondere wenn kein Konflikt mit anderen klimatischen Funktionen gegeben ist.

### **5.2.2. Planungsempfehlungen für die Belüpfungsfunktionen**

#### **Empfehlungen zur Sicherung von Kaltluftproduktionsflächen**

Die folgenden Empfehlungen sind darauf ausgerichtet, die Kaltluftentstehung in ausreichendem Maße zu gewährleisten und die Voraussetzungen für eine möglichst wirkungsvolle Belüpfungsfunktion durch Kaltluftabflüsse zu erhalten.

##### **Kaltlufteinzugsgebiete mit besonderer Bedeutung**

Bei diesen Flächen handelt es sich um die effektiven Einzugsgebiete der in der Klimafunktionskarte ausgewiesenen Kaltluftströme (d.h. die hydrologischen Einzugsgebiete abzüglich der - z.B. wegen zu geringer Hangneigung - wahrscheinlich nicht am Kaltluftabfluß beteiligten Flächen). Die klimatologisch-lufthygienisch relevanten Zielgebiete dieser Kaltluftabflüsse (verdichtete Wohnsiedlungsbereiche in Tallagen) befinden sich einerseits - nämlich innerhalb des Aachener Kessels - im Innenstadtrandbereich und andererseits - v.a. beim Einzugsgebiet der Inde (Stolberg) - überwiegend außerhalb des Stadtgebiets.

Für die zu den Einzugsgebieten gehörenden Freiflächen gelten die für die Freiflächen ausgesprochenen Empfehlungen in besonderem Maße; insbesondere sollte hier jede weitere Inanspruchnahme von Flächen sehr restriktiv gehandhabt und Emissionen dringend vermieden werden. Generell sollte hier auch auf eine Minimierung von Strömungshindernissen geachtet werden (z.B. sollten Gehölzanpflanzungen immer in Hang- bzw. Talrichtung und nicht quer dazu ausgerichtet werden).

Bei den Wohnsiedlungsflächen innerhalb der Kaltlufteinzugsgebiete sind die unter "Lastraum der Wohnsiedlungsgebiete" genannten Empfehlungen strenger auszuulegen. Das Ziel ist hier weniger die Förderung der Kaltluftentstehung (was bei der gegebenen Nutzungsstruktur nur sehr eingeschränkt möglich ist), sondern das Verhindern vorzeitiger Auflösung der Kaltluft bzw. das Vermeiden von Strömungshinder-

nissen. Daher sollte hier Nachverdichtung grundsätzlich vermieden und Entsiegelungsmaßnahmen angestrebt werden.

Analog sind die Empfehlungen für den "Lastraum des verdichteten Stadtgebiets" und den "Lastraum der Gewerbe- und Industriegebiete" zu interpretieren und auszulegen.

#### Siedlungsansätze begrenzen

Die flächenhafte Erweiterung von außerhalb der geschlossenen Bebauung gelegenen Siedlungsansätzen bzw. von in den Freiraum hineinragenden Ausläufern der geschlossenen Bebauung reduziert Kaltluftentstehungsflächen und kann zur Ausbildung erheblicher Strömungshindernisse für die Kaltluft beitragen.

In den Kaltlufteinzugsgebieten sind solche Siedlungsansätze daher zu begrenzen.

#### Bebauungsgrenzen einhalten

In den Kaltlufteinzugsgebieten ist eine substanzielle Ausdehnung bestehender Siedlungsflächen wegen des Verlusts an Kaltluftentstehungsfläche bzw. wegen des Entstehens von Hindernissen für den Kaltluftabfluß extrem problematisch.

In den angegebenen Bereichen ist daher ein Überschreiten bestehender Bebauungsgrenzen äußerst restriktiv zu handhaben; ein substantieller Verlust an Freiraum über diese Grenzen hinaus ist unbedingt zu vermeiden.

#### Wald und Freiraum verzahnen

Bei den Waldflächen ist davon auszugehen, daß sie örtlich - insbesondere in den späten Nachmittags- und frühen Abendstunden - von großer Bedeutung für den Kaltluftabfluß sein können; es ist allerdings derzeit noch nicht ausreichend quantifizierbar, welchen Anteil sie an der Kaltluftproduktion haben.

Es wird empfohlen, Wald und Freiraum langfristig stärker zu verzahnen, in dem die Waldränder entsprechend gestaltet werden. Genauere Empfehlungen können erst nach Abschluß einer derzeit noch laufenden Untersuchung abgegeben werden, es deutet sich allerdings an, daß speziell im Bereich von aus dem Wald in den Freiraum mündenden Mulden bzw. Tälern eine Reduzierung von Strömungshindernissen (direkter Übergang Hochwald / Freiraum statt dichter Gehölzsäume) günstig sein könnte.

### **Empfehlungen zur Sicherung von Kaltluftabflußbahnen**

Die größeren Kaltluftströme - v.a. in den Bachtälern und im Indeeinzugsgebiet - können bei austauscharmer Witterung wichtige Belüftungsfunktionen für den baulichen Innenbereich übernehmen, wobei die Wohnsiedlungsbereiche innerhalb des Aachener Kessels bzw. in den markanten Tallagen von besonderer Bedeutung sind. Diese Bereiche - wie auch das Kaltluftsammlgebiet Soers - sind gleichzeitig besonders immissionsgefährdet. Die folgenden Empfehlungen zielen darauf ab, die

positiven Wirkungen von Kaltluftabflüssen entlang bedeutender Kaltluftbahnen und die entsprechende Belüftungswirkung zu erhalten bzw. zu optimieren und negative Auswirkungen zu minimieren.

#### Bedeutende Kaltluftbahnen von Hindernissen freihalten

Die angegebenen Bereiche sind generell in bezug auf Strömungshindernisse und Emissionen zu optimieren, jede Verschlechterung des Ist-Zustandes sollte unbedingt unterbleiben. Zur Reduzierung von Strömungshindernissen kommen v.a. mittel- und langfristige Maßnahmen der Grünflächengestaltung (zusätzliche Gehölzpflanzungen vermeiden, Baumanpflanzungen - wenn überhaupt - nur in Talrichtung statt quer dazu) in betracht; nur in Ausnahmefällen wird eine Beseitigung von baulichen Anlagen erforderlich bzw. möglich sein (s. Gillesbachtal; HAVLIK und KETZLER, 1993). Zur Reduzierung von Emissionen kommen v.a. verkehrslenkende Maßnahmen in Betracht (örtlich können auch andere Emittentengruppen - Hausbrand, Kleingewerbe - betroffen sein).

#### Bebauungsgrenzen streng einhalten

In den Einzugsgebieten der besonders bedeutsamen Kaltluftströme ("Bachtäler"), in den Bereichen mit Kaltluftstau (Inde- und Wildbachtal) und im Kaltluftsammlgebiet Soers ist eine Ausdehnung bestehender Siedlungsflächen wegen des Verlusts an Kaltluftentstehungsfläche bzw. wegen des Entstehens von Hindernissen für den Kaltluftabfluß grundsätzlich sehr problematisch. Wegen der wichtigen bioklimatischen Ausgleichswirkung sollen die Waldflächen generell erhalten bleiben.

In den angegebenen Bereichen sollen daher die bestehenden Bebauungsgrenzen festgesetzt und generell nicht überschritten werden.

#### Strömungshindernisse minimieren

Örtlich stellen Baumanpflanzungen gravierende Hindernisse innerhalb von Kaltluftbahnen dar, wobei die negative Wirkung auf die Luftaustauschfunktion die positive bioklimatische Wirkung überwiegt.

Hier sollte geprüft werden, ob nicht bereits kurzfristig bzw. intensiver in bestehende Gehölzbestände eingegriffen werden kann. Es ist keineswegs unbedingt erforderlich, die betreffenden Bestände zu beseitigen, ggf. erreicht bereits eine Auslichtung oder eine Umorientierung der Hauptrichtung den erwünschten Zweck.

#### Negative Auswirkungen der Bebauung auf Kaltluftströme minimieren

Beim Einströmen in die Bebauung beginnt die Wechselwirkung der Kaltluft mit dem (warmen) Gebäudebestand, wobei die Reichweite der durch die Kaltluft erreichten Belüftungswirkung um so größer ist, je weniger die Kaltluft durch Hindernisse gebremst bzw. an warmen Oberflächen aufgezehrt wird.

Daher werden entlang der Kaltluftbahnen innerhalb der Bebauung die folgenden Maßnahmen vorgeschlagen (wobei entsprechend der konkreten lokalen Gegebenheiten nicht immer alle Maßnahmen möglich sein werden). Eine Sicherung, Ausbau, Vernetzung und Schaffung von Grünflächen und Freiräumen (Entsiegelung) kann ein vorzeitiges thermisches Auflösen der Kaltluft verhindern; bei Neuanpflanzungen sollten keine zusätzlichen Strömungshindernisse entstehen. Örtlich können Maßnahmen der Fassadenbegrünung hilfreich sein. Maßnahmen der Emissionsminderung sollten auf diese Bereiche konzentriert werden. Die Neuanlage baulicher Hindernisse und insbesondere auch die Schließung von Baulücken, die Kaltluftbahnen darstellen, sollte nur im Ausnahmefall stattfinden. Die von den genannten Empfehlungen betroffenen Bereiche lassen sich nicht scharf abgrenzen (die Pfeile geben den Haupteinströmbereich und die Bewegungsrichtung der Kaltluft in der Bebauung an, die Größe deutet unterschiedliche Reichweiten - in Breite und Tiefe jeweils größenordnungsmäßig das zwei- bis dreifache der Pfeilgröße - an).

### **5.2.3. Planungsempfehlungen für die Luftqualität**

#### Gebiet mit flächenhaft hohem Emissionspotential

Innerhalb des dargestellten Gebiets dominieren solche Nutzungen (dichte städtische Bebauung und/oder intensive gewerbliche Nutzung sowie hohe Verkehrsdichte), bei denen langfristig die Gefahr einer sehr hohen Emissionsdichte besteht. In Teilen des Gebiets liegen zudem ungünstige Luftaustauschverhältnisse vor (s.u.).

Auf diesen Bereich sollten emissionsmindernde Maßnahmen konzentriert werden. Im Vordergrund werden dabei Maßnahmen zur Senkung der verkehrsbedingten Emissionen stehen müssen, die eine Bevorzugung emissionsgeminderter Beförderungsmittel als insbesondere jedoch eine Optimierung des Verkehrsflusses insgesamt einschließen können.

#### Gebiet mit flächenhaft ungünstigem Luftaustausch

Im dargestellten Gebiet liegen auf Grund der Kombinationswirkung von stagnierender nächtlicher Kaltluft (Kaltluftsammlgebiet) und allgemein gemindertem Luftaustausch in der Tallage flächenhaft ungünstige Luftaustauschverhältnisse vor. Teilweise besteht eine ungünstige Emissionssituation (s.o.).

Generell gelten für dieses Gebiet die für Kaltlufteinzugsgebiete ausgesprochenen Empfehlungen. Grundsätzlich sollte hier aber in den derzeit noch nicht bebauten Bereichen jede weitere Flächeninanspruchnahme unterbleiben; außerdem sollten zusätzliche Emissionen unbedingt vermieden werden.

Im Baubestand stellt sich die Situation überwiegend kritisch dar, da ein erhebliches Emissionspotential gegeben ist (s.o.). Hier ist dringender Handlungsbedarf in Richtung auf emissionsmindernde Maßnahmen zu sehen.

### Besonders immissionsbelastete Straßenabschnitte

In diesen Bereichen müssen neben erhöhten Immissionen der beim Screening untersuchten Parameter auch allgemein ungünstige lufthygienische Verhältnisse vermutet werden.

Durch geeignete Maßnahmen sollte das Emissionsniveau gesenkt werden; Maßnahmen, die die Belüftungssituation verschlechtern könnten, sollten unterbleiben.

### Punkthafte Emissionen reduzieren

Dargestellt sind große, punkthafte Emissionsquellen.

Für diese Emittenten ist baldmöglichst eine erhebliche Reduzierung des Emissionsniveaus anzustreben.

### Kaltluftströme von Emissionen freihalten

In den angegebenen Bereichen werden Kaltluftbahnen von gebündelten Emissionsquellen (Hauptverkehrsstraßen) gequert. Hier besteht die Gefahr, daß die Kaltluft so mit Schadstoffen belastet wird, daß die gewünschte Belüftungswirkung erheblich beeinträchtigt wird.

Es wird empfohlen, emissionsmindernde Maßnahmen (Verkehrslenkung) auf diese Bereiche zu konzentrieren.

## **5.2.4. Sonstige Empfehlungen**

### Kurgebiete

Für Kurgebiete gelten gesetzliche Anforderungen an Klima und Lufthygiene, die auf besonders günstige lufthygienisch-klimatische Verhältnisse abzielen. Diese anzustrebenden Ziele entsprechen weitgehend denen, die in den bedeutsamen Kaltlufteinzugsgebieten angestrebt werden.

Dementsprechend sind für die Kurgebiete die Planungsempfehlungen für Kaltlufteinzugsgebiete sinngemäß anzuwenden. Sofern Kaltlufteinzugsgebiete innerhalb der Kurgebiete liegen, sollten die Empfehlungen besonders eng ausgelegt werden.

### Aufenthaltsqualität verbessern

In einigen Bereichen kollidieren die ungünstigen Wirkungen großer Gebäudekomplexe mit hohen Anforderungen an die Aufenthaltsqualität. Insbesondere durch turbulente Windverhältnisse kann der Aufenthalt in diesen Bereichen unangenehm sein.

Es wird empfohlen, mittel- bzw. langfristig zu prüfen, ob in diesen Bereichen Verbesserungen durch bauliche oder Bepflanzungsmaßnahmen erreichbar sind.

## Literatur

- BANGERT H.:** Klimatologische Messungen in Aachen in Auftrag des Umweltamtes der Stadt Aachen - Zwischenbericht, Paderborn, 1999
- BRAUERS T., KETZLER G.:** Bedeutung der im Landschaftsplan festgesetzten Bachtäler des Aachener Kessels für die Klimahygiene des Innenstadtbereichs von Aachen, Klimatologisches Gutachten im Auftrag der Stadt Aachen, RWTH AACHEN, Geographisches Institut, Aachen 1988, (Nachdruck 1990)
- DWD:** Bädergutachten des Deutschen Wetterdienstes, 1993, zitiert nach einer Vorlage des Umweltamtes
- ENERKO GmbH:** Energiekonzept Aachen, Im Auftrag der Stadt Aachen, Umweltamt, Aldenhoven, 1993
- FLÖMER A.:** Untersuchung des meteorologischen Einflusses auf die Schallausbreitung in einem Stadtgebiet am Beispiel des Frankenberger Viertels in Aachen, M.A.-Arbeit (unveröff.), Aachen, 1999
- HASSEL D.; BROSTHAUS J. u.a.:** Das Abgas-Emissionsverhalten von Nutzfahrzeugen in der BRD im Bezugsjahr 1980, Berlin 1983
- HASSEL D.; DURSBECK F. u.a.:** Das Abgas-Emissionsverhalten von Personenkraftwagen in der BRD im Bezugsjahr 1985, Berlin 1987
- HASSEL D.; JOST P. u.a.:** Abgas-Emissionsfaktoren von PKW in der BRD, Abgasemissionen von Fahrzeugen der Baujahre 1986 bis 1990), Berlin 1993
- HAVLIK D., KETZLER G.:** Klimatologische Untersuchungen im Bereich Gillesbachtal-Moltkebahnhof - Endbericht, RWTH AACHEN, Geographisches Institut, Aachen 1993
- HAVLIK D., KETZLER G.:** Klimatologische Untersuchungen im unteren Kannegieser- Ponellbachtal sowie Stellungnahme zu einem geplanten Bauvorhaben aus klimatologischer Sicht, RWTH AACHEN, Geographisches Institut, Aachen, 1995
- HAVLIK D., KETZLER G.:** Klimatologische Untersuchungen im Bereich Lousberg, RWTH AACHEN, Geographisches Institut, Aachen 1996
- HAVLIK D., KETZLER G.:** Stadtökologischer Fachbeitrag - Klima/Lufthygiene, RWTH Aachen Geographisches Institut, Aachen 1996
- HAVLIK D., KETZLER G.:** Gesamtstädtische Klimagutachten Aachen - Zwischenbericht, RWTH AACHEN Geographisches Institut, Aachen 1999
- HEUSCH/BOESEFELD GmbH:** Feinscreening für die Stadt Aachen - Schlußbericht, Aachen, 1999
- JENDRITZKY G., MENZ G., SCHMIDT-KESSEN W., SCHIRMER H.:** Methodik zur räumlichen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen. Fortgeschriebenes Klima - Michel - Modell. Akademie für Raumforschung und Landesplanung, No. 114, Hannover, 1990

- KETZLER G.:** Geländeklimatologische Untersuchungen über die Bildung eines Kaltluftsees am Beispiel der Aachener Soers, M.A.-Arbeit (unveröff.), Aachen, 1989
- KETZLER G.:** Vergleichende Untersuchungen der Temperaturverhältnisse in Städten unter besonderer Berücksichtigung der Temperaturänderungsraten, Aachener Geographische Arbeiten, Heft 31, Aachen, 1997
- KLIMCZAK H.:** Stadtklimatologische Untersuchungen im Umfeld einer innerstädtischen Grünfläche am Beispiel des Ostfriedhofs in Aachen, M.A.-Arbeit (unveröff.), Aachen, 2000
- KREISEL W.; FRIEBE H.J.:** Die Vennfußfläche, In: Aachener Geographische Arbeiten, Heft 8, Aachen 1976
- LANDESUMWELTAMT NRW:** Ergebnisse der Luftqualitätsmessungen in Aachen, Düsseldorf, 1994 (Meßdaten vom Umweltamt der Stadt Aachen bereitgestellt)
- LANDESUMWELTAMT NRW:** Luftqualität in Nordrhein-Westfalen - Jahreskenngrößen 1998 aus kontinuierlichen Immissionsmessungen, <http://www.lua.nrw.de/temes/luft98-4.htm> bzw. Emissionsberechnungen <http://www.lua.nrw.de/luqsjb98/luxjb98b.htm#2>, Düsseldorf, 2000
- LANDESVERMESSUNGSAMT:** Topographische Karten 1:25.000, Blätter Aachen und Herzogenrath, Ausgabe 1990
- MENNICKEN, M.:** Immissionsbezogene Flechtenkartierung, Aachen, 2000
- OKE T.R.:** Boundary layer climates, London, New York, 1978
- SCHARLAU K.:** Zur Einführung eines Schwülemaßes und Abgrenzung von Schwülezonen durch Isohygrothermen. Erdkunde 4, 1950, S. 188-201
- SCHMITHÜSEN J.; MEYNEN E. u.a.:** Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands, 6. Lieferung, Remagen 1959
- STADT AACHEN:** Stadtkarte Aachen 1:25.000, Stand 1984
- STADT AACHEN:** Landschaftsplan für die Stadt Aachen, (Karte), 1988
- STADT AACHEN:** Umweltbericht Luft Aachen 1986
- STADT AACHEN:** Vorlage für den Umweltausschuß am 2.7.96 zu den Ergebnissen des Screening-Verfahrens zur Durchführung der 23. BImSch-Verordnung, Aachen, 1996 (a)
- STADT AACHEN:** Versiegelungskartierung, Aachen, 1996 (b)
- STADT AACHEN:** Nutzungstypenkartierung, Aachen, 1996 (c)
- STADT AACHEN:** Statistisches Jahrbuch der Stadt Aachen 1997, Aachen, 1998
- STADT DÜSSELDORF:** Klimaanalyse, Umweltamt Düsseldorf, Hrsg.: Der Oberstadtdirektor, Düsseldorf, 1995
- STATISTISCHES BUNDESAMT:** Statistisches Jahrbuch für die Bundesrepublik Deutschland 1990, Stuttgart, 1990
- STOCK P.:** Synthetische Klimafunktionskarte Ruhrgebiet, Essen, 1992

**UMWELTAMT DER STADT AACHEN:** Fußgängerfreundliche Innenstadt, Aachen, 1992

**UMWELTAMT DER STADT AACHEN:** Tabelle Verkehrszählungen bzw. Abschätzungen für den Verkehrsentwicklungsplan, o.J.

**UMWELTAMT DER STADT AACHEN:** Emissionsabschätzung für den Hausbrand bezogen auf Stadtbezirke, Aachen, o.J.

**UMWELTAMT DER STADT AACHEN:** Umweltbericht Luft, 1990 / Hrsg.: Der Oberstadtdirektor, Umweltamt; Abteilung: "Verwaltung und Umweltinformation", Aachen, 1990

**UMWELTAMT DER STADT AACHEN:** Umweltbericht Luft, Aachen, 2000

**VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE:** VDI-RICHTLINIE 3787 (ENTWURF) Umweltmeteorologie - Klima- und Lufthygienekarten, 1994



# **GESAMTSTÄDTISCHES KLIMAGUTACHTEN**

## **AACHEN**

### **ANHANG und KARTEN**

Auftraggeber:

Stadt Aachen, Fachbereich Umwelt

Bearbeiter:

Prof. Dr. D. Havlik, Dr. G. Ketzler M.A.

Mitarbeit:

Steinicke & Streifender (Thermalbefliegungen)

Büro für Umweltmeteorologie (Bodenmeßprogramm)

T. Werner, A. Ehrig, H. Klimczak, C. Fehn, A. Flömer,  
R. Löhner (GIS, Kartographie, Layout und Grafik)

Aachen, Oktober 2000

# Anhang

## Anhang I. Stationsbeschreibungen

### Standorte des temporären Meßnetzes während der Stadtklima- untersuchung Aachen

#### 1. Station Kornelimünster

Standort im Stadtteil Kornelimünster, dörfliche Struktur im durch die Abtei geprägten alten Ortskern

Tallage, Höhe ü. NN 240m; Talsystem hat keine Verbindung zum Aachener Stadtkern

Standort Parkanlage des Bundesarchivs; Wiese mit teilweiser Verschattung durch großkronige Laubbäume

Windmesser in 4m ü. Grund, TE/RF-Geber in 2m ü. Grund

#### 2. Station Sief

Landwirtschaftliche Lage in Sief, kein eigentlicher Siedlungskern, sondern vorwiegend Einzelhofstruktur

windoffene, rauigkeitsarme Hochebene im Süden des Stadtgebietes

Standort 1: Höhe ü. NN 270m, landwirtschaftliche Fläche an der Raerener Str./Eisenhüttenweg; keinerlei Verschattung durch Gebäude/Bäume; Windmesser in 4m ü. Grund, TE/RF-Geber in 2m ü. Grund

Standort 2: Höhe über NN 280m, landwirtschaftliche Fläche am Triftweg/Belgische Grenze; keinerlei Verschattung durch Gebäude/Bäume, im Westen in 100-200m Entfernung ca. 15-20m Laubwald; Windmesser in 4m ü. Grund, TE/RF-Geber in 2m ü. Grund

#### 3. Station Burtscheid

Standort im Stadtteil Burtscheid (Kurgebiet), dichtversiegelter, citynaher Stadtteil

Blockbebauung, Kurgarten zwischen Dammstraße und Michaelisbergstraße; windgeschützte, nahezu ebene Innenstadtlage, Höhe 170m ü. NN; Standort Installation am Laternenmast auf der Südseite der Dammstraße; Horizont einschränkung durch mehrgeschossige Blockbebauung auf der Nordseite in ca. 10m Entfernung

Windmesser in 4m ü. Grund, TE/RF-Geber in 2,5m ü. Grund

#### **4. Station Aachen-Mitte**

Citystandort an der Harscampstraße nördlich des Suermondtplatzes

weitgehend ebene Lage in 165m ü.NN; Hinterhofgrundstück mit weitgehend versiegelter Oberfläche; Meßgeräte auf kleiner Brachfläche unmittelbar an der ca. 2m hohen Grenzmauer; Horizont einschränkung nur durch im Osten angrenzende Gebäude

Windmesser in 4m ü. Grund, TE/RF-Geber in 2m ü.Grund

#### **5. Station Vetschau**

Standort im Norden von Vetschau

weitgehend ebene Lage am Vetschauer Weg/Silberpatweg in 190m ü.NN; offener Standort in landwirtschaftlich geprägter Umgebung

Windmesser in 4m ü. Grund, TE/RF-Geber in 2m ü.Grund

#### **6. Station Richterich**

Standort im Stadtteil Richterich

Ortskern in erhöhter Geländelage in 180m ü.NN; Standort installiert am Fahnenmast an der Roermonder Straße nördlich der Verwaltungsnebenstelle; Horizont einschränkung sowohl durch großkronige Laubbäume als auch durch die benachbarte Bebauung; somit typisch für lockere Bebauung in einem verdichteten Ortskern.

Messungen von Temperatur, Feuchte und Windvektor in ca. 4m über Grund.

#### **7. Station Brand**

Standort im Stadtteil Brand, größter Stadtteil außerhalb des Talkessels

Kuppenlage, Geländehöhe 265m ü.NN; Standort Pfarrgelände von St. Donatus, Ringstr. 118; eingezäunte / ummauerte Vorgartenwiese (Mauer, 2,5m Höhe in SE gelegen); teilweise Abschattungen durch hohe Birke im SE, hoher Ahorn im E; Altenheim, 2,5-geschossig in SW/W, Entfernung ca. 10m

Messung von TE/RF in 2m Höhe an freistehendem Stativ

#### **8. Station Kronprinzenrast**

Standort im zentralen Aachener Wald, Hochwaldstandort

abgesperrtes Militärgelände; Höhenlage: 335m ü. NN; mitteldichtes Gehölz, in unmittelbarer Nähe der Meßstation Laubwald (Buchen), fast ausschließlich abgeschattet (> 90%), am Weg etwas offener Horizont nach NW

Messung von TE/RF in 2m Höhe an freistehendem Stativ

## **9. Station Tour Baudouin**

Geländehöhe am Turm: 320m ü. NN

Turmhöhe (Plattform): 48m ü. Gr.; Meßgerätehöhe für TE/RF und Windvektor: ca. 50 m ü.Gr.; Baumhöhen des umgrenzenden Hochwaldes etwa zwischen 20m und 25m

## **10. Station Eilendorf**

Standort im Kern von Eilendorf

östlicher Rand des Aachener Talkessels; nahezu ebene Lage in 190m ü.NN

Lockere bis mäßig verdichtete Bebauung; Temperaturmessung am Fahnenmast in ca. 2,50m ü. Grund

keine beschattenden Hindernisse in unmittelbarer Nähe

## **11. Station Recyclinghof**

Standort in typischen, alten Industrie und Gewerbegebiet

Betriebsgelände des Amtes für Straßenreinigung und Abfallwirtschaft; Standort im größtenteils unversiegelten Außenbereich des Geländes in 150m ü. NN; Beeinflussung durch zwei Silogebäude in ca. 20-30m Entfernung

Windmesser in 4m ü. Grund, TE/RF-Geber in 2m ü.Grund

## **12. Station Oppenhoffallee**

Standort in altem Wohn- und Mischgebiet (Frankenberger Viertel)

Verkehrsreicher Kreuzungsbereich (Oppenhoffallee / Viktoriaallee); Standort in größtenteils versiegelter, aber baumbestandener Umgebung in 166m ü. NN; Beeinflussung durch Lage der Hauptverkehrsachsen

Windmesser in 3,5 ü. Grund, TE/RF-Geber in 3,5 m ü.Grund

## **13. Klimameßstation Aachen-Hörn**

Standort im Wohnsiedlungsbereich mit überwiegend Einfamilienhäusern und vielen Grünflächen, allerdings bei großen Einzelgebäuden im Nahbereich (Informatikzentrum der RWTW / ehem. PH)

Standort auf einer größeren Grünfläche (seit 1980 in Betrieb; seit 1989 automatisch); Standort in 198m ü. NN, Meßgerätehöhe für Temperatur und Feuchte in 2m ü.Gr., Wind in 22m über Erdoberfläche (10m über Flachdach)

Beeinflussung durch Gebäude in größerer Entfernung sowie durch leichte Hanglage



Lufttemperatur		Hörn	Aachen,Mitte	Eutrscheld	Oppanthal	Stadionhof	Ellendorf	Reichersich	Brand	Witschau	Kornlimmerster	Sief	Tour Baidouin	Krempingenest	Heterhof	Ostfriedhof	DWD
<b>Mittel</b>		9,2	9,6	9,3	9,5	9,5	9,1	9,0	8,7	8,7	8,9	8,0	7,8	7,5	9,2	7,7	9,1
April		15,7	16,3	15,9	17,0	15,6	15,7	15,4	15,3	15,9	14,9	14,1	14,1	13,8	15,5	14,0	15,4
Mai		16,6	17,6	17,3	17,3	17,3	17,3	16,3	16,0	16,0	16,1	15,6	15,3	14,4	16,7	15,3	16,7
Juni		17,7	17,1	16,9	16,8	16,8	16,6	16,3	16,0	16,0	16,3	15,0	14,7	14,4	16,4	14,9	16,3
Juli		16,6	16,5	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0
Aug		14,9	15,3	14,9	14,9	14,7	14,8	14,7	14,6	14,2	14,2	13,7	13,6	12,9	14,5	12,9	14,7
Sept		9,5	9,8	9,6	9,6	9,5	9,4	9,4	9,0	9,0	8,9	8,4	8,0	7,7	7,7	9,4	9,4
Oktober		3,6	4,0	3,8	3,5	3,2	3,1	3,0	2,7	3,1	2,8	2,2	2,2	2,0	3,4	1,6	3,5
Nov		4,6	5,5	4,9	4,7	4,6	4,3	4,2	4,0	4,1	3,6	3,1	3,1	3,1	4,6	3,8	4,6
Dez		5,3	5,5	5,6	5,6	5,4	5,1	5,0	4,5	4,9	4,9	4,2	3,7	3,6	5,7	5,0	5,4
Jan		2,4	2,8	2,5	2,5	2,3	2,2	2,1	1,7	1,7	1,7	1,0	0,8	0,6	2,6	1,9	2,4
Feb		7,5	8,0	7,6	7,1	7,1	7,2	7,2	6,9	6,9	6,2	5,5	5,1	5,0	6,8	6,8	7,5
März		10,1	10,9	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2
April		10,1	10,9	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2
Summ (4.985-3.699)		10,2	10,8	10,6	10,5	10,3	10,2	10,0	9,8	9,7	9,5	8,3	8,2	8,3	10,3	9,0	10,2
4.985-5.099		10,7	11,2	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8
April		12,6	13,4	13,2	12,9	13,3	13,0	12,9	12,7	12,2	12,7	11,9	10,6	11,2	13,0	11,3	12,5
Mai		19,5	20,6	20,5	20,5	20,9	20,5	19,8	19,7	19,1	19,8	18,8	17,5	17,2	20,3	18,4	20,1
Juni		20,6	21,7	21,8	21,7	22,0	21,8	21,1	20,7	20,2	20,9	20,4	18,7	17,8	20,9	19,5	21,3
Juli		20,3	20,9	21,1	21,1	21,2	21,1	20,5	20,0	20,0	20,1	19,4	17,7	17,6	20,4	18,9	20,6
Aug		22,2	23,1	23,2	23,0	23,2	23,1	22,3	22,1	21,7	22,4	21,5	19,7	19,4	22,9	20,9	22,7
Sept		18,2	19,2	19,0	19,0	19,0	18,7	18,3	18,4	17,7	18,3	17,6	15,9	15,3	18,2	15,9	18,7
Oktober		12,1	12,4	12,4	12,2	12,4	12,2	11,9	11,6	11,6	11,7	11,2	10,0	9,9	11,8	10,3	12,1
Nov		6,1	6,5	6,3	6,1	6,5	6,4	5,8	5,9	6,0	5,8	5,5	4,1	4,3	5,5	4,0	6,1
Dez		6,8	7,7	7,0	6,7	7,0	6,4	6,2	5,2	6,0	6,2	4,9	4,9	5,0	6,3	5,8	6,2
Jan		7,3	7,5	7,6	7,6	7,6	7,2	7,2	6,8	6,9	6,9	5,6	5,6	5,0	6,3	5,8	6,2
Feb		4,8	5,2	5,2	4,9	5,1	4,9	4,7	4,5	4,2	4,1	3,3	3,0	3,0	4,7	4,1	5,0
März		11,0	11,7	11,6	11,3	11,5	11,4	10,9	10,9	10,4	11,0	10,3	10,0	10,0	11,4	10,3	11,3
April		13,2	15,1	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7
Summ (4.985-3.699)		13,4	14,2	14,1	13,9	14,2	13,9	13,5	13,3	13,0	13,4	12,7	11,4	11,3	13,8	12,2	13,7
4.985-5.099		13,5	14,7	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4
April		6,4	6,8	6,5	6,3	6,0	5,9	5,7	5,8	5,9	4,7	4,2	5,5	4,9	6,2	4,4	6,5
Mai		11,2	11,7	10,9	10,8	10,6	10,4	10,2	10,6	10,1	9,6	8,1	10,0	10,5	10,6	8,9	11,1
Juni		12,6	13,2	12,9	12,6	12,4	12,2	12,0	12,0	11,9	11,0	10,5	11,6	11,0	12,5	10,6	12,7
Juli		12,5	13,3	13,1	12,8	12,4	12,5	12,4	12,2	12,4	11,2	10,5	11,6	11,6	12,7	10,8	13,0
Aug		13,0	13,9	13,1	12,9	11,7	12,5	12,4	12,5	11,7	10,6	10,8	12,8	11,8	12,8	10,9	13,3
Sept		12,4	12,6	12,3	11,9	11,5	11,6	11,8	11,7	11,8	10,6	10,6	11,3	10,9	11,9	10,0	12,2
Oktober		6,9	7,3	7,2	6,9	6,7	6,5	6,6	6,4	6,6	6,1	5,6	5,9	5,6	7,1	5,5	7,6
Nov		1,5	1,9	1,4	1,1	0,2	0,5	0,5	0,5	0,8	0,3	0,2	0,4	-0,2	1,3	-0,7	1,9
Dez		2,5	3,1	2,7	2,5	1,9	1,1	1,2	1,1	1,1	1,2	1,1	1,1	1,0	2,5	1,5	3,0
Jan		3,3	3,5	3,4	3,4	2,6	2,5	2,7	2,2	2,8	1,5	1,8	1,7	1,5	3,8	2,5	3,1
Feb		0,4	0,8	0,2	0,2	-0,2	-0,2	-0,4	-0,6	0,0	-1,2	-1,8	-1,0	-1,0	0,7	-0,3	0,3
März		4,4	4,6	4,1	4,0	3,1	3,7	3,6	3,5	3,8	2,2	2,5	2,5	3,2	4,4	3,2	4,4
April		6,1	6,7	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,6
Summ (4.985-3.699)		7,5	7,7	7,3	7,2	6,5	6,7	6,6	6,5	6,6	5,8	5,3	6,2	5,9	7,2	5,6	7,4
4.985-5.099		7,3	7,9	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,6
April		23,7	24,1	23,3	23,5	24,5	24,1	24,5	23,3	22,9	23,1	22,1	21,7	21,3	24,9	21,9	23,3
Mai		30,2	32,4	31,9	31,6	31,9	31,5	30,5	31,5	29,2	31,3	29,6	28,1	27,8	33,1	29,3	30,5
Juni		33,0	34,2	34,8	34,5	34,8	34,8	32,9	33,4	31,9	33,2	31,9	30,9	29,2	33,7	31,6	33,5
Juli		32,1	33,6	33,9	33,6	34,3	33,9	33,4	34,3	33,0	32,4	31,5	29,2	27,8	32,0	30,9	32,5
Aug		33,3	35,2	34,8	34,8	34,8	34,8	34,3	35,3	34,3	34,3	34,4	32,9	30,1	34,9	32,6	33,5
Sept		24,5	26,0	24,9	23,7	24,5	24,5	23,7	24,9	22,9	24,9	23,7	22,1	20,6	24,8	21,4	24,7
Oktober		17,2	17,9	17,6	17,6	18,0	18,0	17,3	16,9	16,2	17,3	17,3	14,8	14,8	17,4	15,9	17,8
Nov		14,0	14,2	14,5	14,2	14,5	14,2	13,8	13,5	13,5	13,8	13,8	12,8	11,8	14,0	12,1	14,1
Dez		15,5	18,5	15,2	14,8	16,9	15,5	16,2	16,9	14,5	14,2	15,5	13,5	13,5	13,7	13,6	16,0
Jan		16,1	15,9	16,0	15,9	16,2	16,2	15,5	15,9	15,2	15,2	15,2	13,8	14,2	15,9	15,3	16,2
Feb		10,7	11,6	11,3	10,8	11,2	11,2	10,8	9,8	10,2	11,1	10,2	10,2	8,6	10,2	11,8	11,8
März		18,2	19,8	19,8	19,1	19,1	19,4	18,4	20,2	18,4	19,8	18,4	16,9	15,3	19,5	18,0	19,2
April		22,5	22,5	21,3	21,3	21,3	21,3	21,3	21,3	21,3	21,3	21,3	21,3	21,3	21,3	21,3	21,3
Summ (4.985-3.699)		33,1	35,2	34,8	34,8	34,8	34,8	34,3	35,3	34,3	34,3	34,1	32,9	30,1	34,9	32,6	33,5
4.985-5.099		33,5	35,2	34,8	34,8	34,8	34,8	34,3	35,3	34,3	34,3	34,1	32,9	30,1	34,9	32,6	33,5
April		0,2	0,4	0,4	0,3	0,7	-0,3	-0,3	-0,6	0,1	-2,3	-2,0	-0,1	-2,3	-0,1	-2,1	0,4
Mai		4,5	5,6	5,3	5,2	3,4	4,4	3,7	4,0	4,0	2,6	1,4	4,0	3,1	4,9	2,3	5,0
Juni		5,4	6,4	6,3	5,6	4,0	5,0	5,0	5,0	5,0	3,5	2,4	4,5	4,0	5,0	3,1	5,5
Juli		9,8	10,1	9,8	9,9	8,9	9,5	9,5	9,2	9,8	7,4	6,6	7,9	8,6	9,8	7,3	9,5
Aug		8,9	9,5	8,9	8,9	8,6	8,6	8,6	7,6	7,9	7,3	4,9	7,3	8,1	8,1	6,2	8,4
Sept		6,4	6,7	6,3	6,6	5,6	6,0	6,3	5,6	5,6	5,6	2,8	4,7	5,0	6,6	4,5	6,1
Oktober		2,0	2,1	1,7	1,4	0,4	1,4	1,4	1,4	1,4	0,6	-2,3	1,7	2,7	2,7	-2,0	2,0
Nov		-7,9	-7,3	-8,1	-8,9	-10,5	-8,9	-5,7	-9,3	-8,5	-10,5	-11,7	-8,1	-9,3	-7,6	-9,9	-7,6
Dez		-4,0	-4,3	-3,7	-3,7	-3,7	-4,1	-4,1	-4,8	-4,1	-4,4	-3,7	-4,1	-5,6	-3,0	-3,5	-3,9
Jan		-5,4	-4,														



Windrichtung	Helm	Alten-Mitte	Burghaus	Opentischhaus	Reichshof	Brand	Vöschau	Kornmühl	Sief	Tour Baubühls	Kirchhof	Hilshof	Cottlshof	DMD
gesamt	8,6 %	8,6 %	8,6 %	8,6 %	8,6 %	8,6 %	8,6 %	8,6 %	8,6 %	8,6 %	8,6 %	8,6 %	8,6 %	8,6 %
NE	10,3 %	10,3 %	10,3 %	10,3 %	10,3 %	10,3 %	10,3 %	10,3 %	10,3 %	10,3 %	10,3 %	10,3 %	10,3 %	10,3 %
E	7,0 %	7,0 %	7,0 %	7,0 %	7,0 %	7,0 %	7,0 %	7,0 %	7,0 %	7,0 %	7,0 %	7,0 %	7,0 %	7,0 %
SE	6,5 %	6,5 %	6,5 %	6,5 %	6,5 %	6,5 %	6,5 %	6,5 %	6,5 %	6,5 %	6,5 %	6,5 %	6,5 %	6,5 %
S	10,7 %	10,7 %	10,7 %	10,7 %	10,7 %	10,7 %	10,7 %	10,7 %	10,7 %	10,7 %	10,7 %	10,7 %	10,7 %	10,7 %
SW	44,5 %	44,5 %	44,5 %	44,5 %	44,5 %	44,5 %	44,5 %	44,5 %	44,5 %	44,5 %	44,5 %	44,5 %	44,5 %	44,5 %
W	13,8 %	13,8 %	13,8 %	13,8 %	13,8 %	13,8 %	13,8 %	13,8 %	13,8 %	13,8 %	13,8 %	13,8 %	13,8 %	13,8 %
NW	8,2 %	8,2 %	8,2 %	8,2 %	8,2 %	8,2 %	8,2 %	8,2 %	8,2 %	8,2 %	8,2 %	8,2 %	8,2 %	8,2 %
0 BfH	6,5 %	6,5 %	6,5 %	6,5 %	6,5 %	6,5 %	6,5 %	6,5 %	6,5 %	6,5 %	6,5 %	6,5 %	6,5 %	6,5 %
Zahl d. Fälle	8572	8538	7334	8695	8660	8660	8197	7459	7628	8888	8888	8888	8888	3044
Häufigkeitsrichtungen Skalenstellung 0-40 %														
Regelüber	N	5,9 %	7,1 %	5,9 %	6,2 %	7,2 %	4,9 %	12,1 %	8,7 %	5,8 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	10,0 %
NE	6,6 %	10,8 %	12,2 %	3,7 %	3,7 %	4,5 %	7,8 %	15,1 %	6,8 %	7,8 %	6,8 %	6,8 %	6,8 %	5,0 %
E	7,0 %	5,7 %	5,0 %	6,7 %	5,9 %	5,9 %	7,0 %	14,3 %	2,8 %	3,7 %	4,1 %	4,1 %	4,1 %	5,8 %
SE	4,4 %	3,8 %	4,7 %	8,4 %	7,7 %	10,4 %	3,5 %	21,6 %	3,4 %	2,8 %	5,2 %	5,2 %	5,2 %	2,3 %
S	9,1 %	27,7 %	14,3 %	25,8 %	18,1 %	28,4 %	11,9 %	19,2 %	20,2 %	20,1 %	21,3 %	21,3 %	21,3 %	14,9 %
SW	45,4 %	29,3 %	40,8 %	14,0 %	17,4 %	17,4 %	40,7 %	3,4 %	41,1 %	45,3 %	45,3 %	45,3 %	45,3 %	58,2 %
W	14,1 %	9,7 %	15,6 %	27,5 %	29,7 %	18,5 %	18,5 %	4,2 %	14,0 %	8,8 %	10,4 %	10,4 %	10,4 %	17,6 %
NW	7,2 %	6,8 %	1,7 %	7,7 %	10,3 %	2,7 %	5,7 %	10,2 %	4,9 %	5,0 %	7,0 %	7,0 %	7,0 %	5,4 %
0 BfH	5,5 %	6,3 %	1,8 %	4,1 %	3,3 %	4,1 %	0,1 %	3,7 %	4,0 %	0,7 %	2,0 %	2,0 %	2,0 %	1,84
Zahl d. Fälle	5720	5830	4938	5728	5659	5747	5488	5011	5185	5788	5804	5804	5804	1841
Häufigkeitsrichtungen Skalenstellung 0-40 %														
nachts	N	4,3 %	5,7 %	3,8 %	6,7 %	6,5 %	3,1 %	9,3 %	3,0 %	4,7 %	6,4 %	6,4 %	6,4 %	8,8 %
NE	4,8 %	10,7 %	9,4 %	3,0 %	3,3 %	3,3 %	5,0 %	11,2 %	4,3 %	4,3 %	6,8 %	6,8 %	6,8 %	4,5 %
E	7,9 %	3,4 %	5,4 %	5,0 %	6,4 %	6,4 %	8,0 %	14,1 %	1,0 %	0,5 %	3,0 %	3,0 %	3,0 %	5,0 %
SE	8,5 %	8,5 %	4,3 %	10,1 %	12,6 %	16,7 %	8,9 %	20,3 %	8,2 %	4,9 %	11,3 %	11,3 %	11,3 %	4,8 %
S	13,8 %	34,0 %	18,8 %	18,1 %	19,1 %	38,1 %	14,2 %	30,8 %	28,0 %	25,9 %	27,8 %	27,8 %	27,8 %	21,2 %
SW	42,8 %	25,8 %	41,7 %	14,2 %	18,4 %	18,4 %	42,4 %	3,7 %	43,2 %	45,8 %	45,8 %	45,8 %	45,8 %	58,4 %
W	13,2 %	6,9 %	17,1 %	20,3 %	25,4 %	14,9 %	13,8 %	2,5 %	9,8 %	6,5 %	13,9 %	13,9 %	13,9 %	15,0 %
NW	4,7 %	5,0 %	1,5 %	4,0 %	8,2 %	3,2 %	3,2 %	8,0 %	3,8 %	3,2 %	4,2 %	4,2 %	4,2 %	3,7 %
0 BfH	8,5 %	1,8 %	4,9 %	3,8 %	6,0 %	6,0 %	0,7 %	6,6 %	0,7 %	0,7 %	44,9 %	44,9 %	44,9 %	1,0 %
Zahl d. Fälle	2852	2908	2588	2889	2901	2789	2751	2483	2463	2888	2788	2788	2788	1193
Häufigkeitsrichtungen Skalenstellung 0-40 %														

Alle Werte nicht korrigiert

Tabelle 13: Windrichtungen an den Meßstationen

Relative Feuchte	Helm	Aachen-Holz	Barchfeld	Osterrathen	Reichardt	Eimeld	Helmuth	Garz	Yvesens	Kornelmann	Sief	Teufelsbach	Kornelmann	Hinterhof	Cathedral	CWD
April	74,8	74,0	74,8	74,2	74,3	74,8	74,3	74,0	74,7	77,8	74,0	77,8	77,8	74,0	77,8	75,0
Mai	68,5	68,5	68,7	67,5	64,7	65,0	63,5	64,4	64,4	65,8	64,8	64,8	65,8	64,8	64,8	65,8
Juni	71,0	69,0	69,0	71,2	70,8	68,7	67,8	69,0	70,1	69,0	68,8	70,1	69,0	68,8	70,1	70,5
Juli	78,1	80,0	80,4	80,5	80,8	80,7	81,4	80,8	80,8	78,5	80,8	80,8	78,5	80,8	80,8	78,5
Aug	80,8	80,4	80,4	78,0	78,8	78,8	81,4	80,8	80,4	78,5	80,4	78,5	78,5	80,4	80,4	80,4
Sept	78,8	77,7	77,7	78,0	78,8	78,8	77,5	78,8	80,8	80,4	80,1	77,1	79,2	80,1	80,4	80,4
Oktober	84,0	82,8	82,2	84,5	82,5	81,6	83,5	78,8	80,8	80,4	80,1	80,4	80,4	80,1	80,4	80,4
November	82,0	80,9	81,1	83,2	83,4	81,1	83,8	77,2	81,0	80,8	80,8	80,8	80,8	80,8	80,8	80,8
Dezember	83,2	83,2	83,5	83,1	81,2	79,4	81,9	78,0	80,0	80,0	80,8	80,8	80,8	80,8	80,8	80,8
Januar	80,3	78,8	80,1	83,1	78,1	77,8	77,3	75,4	77,5	81,0	81,0	81,0	81,0	81,0	81,0	81,0
Februar	82,8	81,6	81,2	83,5	81,7	81,7	81,7	77,8	80,7	80,4	80,4	80,4	80,4	80,4	80,4	80,4
März	78,7	74,7	74,8	78,9	74,4	73,2	74,5	69,1	74,8	78,8	78,5	78,8	78,8	78,8	78,8	78,8
April	90,7	90,7	92,5	92,1	92,5	91,0	92,5	89,3	90,8	94,9	91,5	92,3	94,9	91,5	92,3	92,0
Mai	84,4	82,9	87,0	87,5	87,0	84,7	83,2	79,0	84,3	85,0	80,5	85,0	85,0	80,5	87,3	78,7
Juni	91,8	89,9	91,0	93,8	92,8	89,7	91,2	89,3	89,7	92,5	92,0	92,0	92,5	92,0	92,7	91,5
Juli	91,0	89,5	90,7	93,0	92,8	89,5	91,8	85,7	89,1	92,2	92,0	92,2	92,2	92,0	92,0	90,0
Aug	88,0	88,0	88,4	90,4	84,1	87,8	90,7	83,2	89,4	94,2	91,2	94,2	94,2	91,2	94,2	88,1
Sept	90,2	90,0	90,3	90,3	90,1	91,7	93,1	89,3	89,4	95,0	93,8	93,1	95,0	93,8	95,0	90,5
Oktober	92,7	92,7	93,3	94,8	92,7	91,0	93,5	89,2	90,9	93,0	92,0	93,0	93,0	92,0	94,4	91,1
November	92,5	92,7	92,5	94,9	92,4	92,8	94,6	89,4	91,1	93,5	92,8	94,0	93,5	92,8	94,0	90,7
Dezember	90,9	89,1	89,8	93,7	92,5	90,0	91,7	88,8	89,2	93,9	90,9	94,0	93,9	90,9	94,0	89,8
Januar	88,8	89,8	90,7	90,9	90,1	88,8	89,5	85,7	87,5	91,9	90,0	94,4	91,9	90,0	94,4	89,8
Februar	92,9	91,9	90,7	94,8	93,8	91,6	92,8	88,3	91,3	93,2	94,4	97,1	93,2	94,4	97,1	91,8
März	90,8	90,7	91,1	91,0	92,4	90,8	91,8	88,4	89,8	93,1	90,8	93,1	93,1	90,8	93,1	89,8
April	90,7	90,1	91,8	91,8	92,4	90,8	91,8	88,1	89,2	93,9	90,8	93,1	93,9	90,8	93,1	89,8
Mai	90,8	90,8	91,8	91,8	92,4	90,8	91,8	88,1	89,2	93,9	90,8	93,1	93,9	90,8	93,1	89,8
Juni	90,8	90,8	91,8	91,8	92,4	90,8	91,8	88,1	89,2	93,9	90,8	93,1	93,9	90,8	93,1	89,8
Juli	90,8	90,8	91,8	91,8	92,4	90,8	91,8	88,1	89,2	93,9	90,8	93,1	93,9	90,8	93,1	89,8
Aug	90,8	90,8	91,8	91,8	92,4	90,8	91,8	88,1	89,2	93,9	90,8	93,1	93,9	90,8	93,1	89,8
Sept	90,8	90,8	91,8	91,8	92,4	90,8	91,8	88,1	89,2	93,9	90,8	93,1	93,9	90,8	93,1	89,8
Oktober	90,8	90,8	91,8	91,8	92,4	90,8	91,8	88,1	89,2	93,9	90,8	93,1	93,9	90,8	93,1	89,8
November	90,8	90,8	91,8	91,8	92,4	90,8	91,8	88,1	89,2	93,9	90,8	93,1	93,9	90,8	93,1	89,8
Dezember	90,8	90,8	91,8	91,8	92,4	90,8	91,8	88,1	89,2	93,9	90,8	93,1	93,9	90,8	93,1	89,8
Januar	90,8	90,8	91,8	91,8	92,4	90,8	91,8	88,1	89,2	93,9	90,8	93,1	93,9	90,8	93,1	89,8
Februar	90,8	90,8	91,8	91,8	92,4	90,8	91,8	88,1	89,2	93,9	90,8	93,1	93,9	90,8	93,1	89,8
März	90,8	90,8	91,8	91,8	92,4	90,8	91,8	88,1	89,2	93,9	90,8	93,1	93,9	90,8	93,1	89,8
April	90,8	90,8	91,8	91,8	92,4	90,8	91,8	88,1	89,2	93,9	90,8	93,1	93,9	90,8	93,1	89,8
Mai	90,8	90,8	91,8	91,8	92,4	90,8	91,8	88,1	89,2	93,9	90,8	93,1	93,9	90,8	93,1	89,8
Juni	90,8	90,8	91,8	91,8	92,4	90,8	91,8	88,1	89,2	93,9	90,8	93,1	93,9	90,8	93,1	89,8
Juli	90,8	90,8	91,8	91,8	92,4	90,8	91,8	88,1	89,2	93,9	90,8	93,1	93,9	90,8	93,1	89,8
Aug	90,8	90,8	91,8	91,8	92,4	90,8	91,8	88,1	89,2	93,9	90,8	93,1	93,9	90,8	93,1	89,8
Sept	90,8	90,8	91,8	91,8	92,4	90,8	91,8	88,1	89,2	93,9	90,8	93,1	93,9	90,8	93,1	89,8
Oktober	90,8	90,8	91,8	91,8	92,4	90,8	91,8	88,1	89,2	93,9	90,8	93,1	93,9	90,8	93,1	89,8
November	90,8	90,8	91,8	91,8	92,4	90,8	91,8	88,1	89,2	93,9	90,8	93,1	93,9	90,8	93,1	89,8
Dezember	90,8	90,8	91,8	91,8	92,4	90,8	91,8	88,1	89,2	93,9	90,8	93,1	93,9	90,8	93,1	89,8
Januar	90,8	90,8	91,8	91,8	92,4	90,8	91,8	88,1	89,2	93,9	90,8	93,1	93,9	90,8	93,1	89,8
Februar	90,8	90,8	91,8	91,8	92,4	90,8	91,8	88,1	89,2	93,9	90,8	93,1	93,9	90,8	93,1	89,8
März	90,8	90,8	91,8	91,8	92,4	90,8	91,8	88,1	89,2	93,9	90,8	93,1	93,9	90,8	93,1	89,8
April	90,8	90,8	91,8	91,8	92,4	90,8	91,8	88,1	89,2	93,9	90,8	93,1	93,9	90,8	93,1	89,8
Mai	90,8	90,8	91,8	91,8	92,4	90,8	91,8	88,1	89,2	93,9	90,8	93,1	93,9	90,8	93,1	89,8
Juni	90,8	90,8	91,8	91,8	92,4	90,8	91,8	88,1	89,2	93,9	90,8	93,1	93,9	90,8	93,1	89,8
Juli	90,8	90,8	91,8	91,8	92,4	90,8	91,8	88,1	89,2	93,9	90,8	93,1	93,9	90,8	93,1	89,8
Aug	90,8	90,8	91,8	91,8	92,4	90,8	91,8	88,1	89,2	93,9	90,8	93,1	93,9	90,8	93,1	89,8
Sept	90,8	90,8	91,8	91,8	92,4	90,8	91,8	88,1	89,2	93,9	90,8	93,1	93,9	90,8	93,1	89,8
Oktober	90,8	90,8	91,8	91,8	92,4	90,8	91,8	88,1	89,2	93,9	90,8	93,1	93,9	90,8	93,1	89,8
November	90,8	90,8	91,8	91,8	92,4	90,8	91,8	88,1	89,2	93,9	90,8	93,1	93,9	90,8	93,1	89,8
Dezember	90,8	90,8	91,8	91,8	92,4	90,8	91,8	88,1	89,2	93,9	90,8	93,1	93,9	90,8	93,1	89,8
Januar	90,8	90,8	91,8	91,8	92,4	90,8	91,8	88,1	89,2	93,9	90,8	93,1	93,9	90,8	93,1	89,8
Februar	90,8	90,8	91,8	91,8	92,4	90,8	91,8	88,1	89,2	93,9	90,8	93,1	93,9	90,8	93,1	89,8
März	90,8	90,8	91,8	91,8	92,4	90,8	91,8	88,1	89,2	93,9	90,8	93,1	93,9	90,8	93,1	89,8
April	90,8	90,8	91,8	91,8	92,4	90,8	91,8	88,1	89,2	93,9	90,8	93,1	93,9	90,8	93,1	89,8
Mai	90,8	90,8	91,8	91,8	92,4	90,8	91,8	88,1	89,2	93,9	90,8	93,1	93,9	90,8	93,1	89,8
Juni	90,8	90,8	91,8	91,8	92,4	90,8	91,8	88,1	89,2	93,9	90,8	93,1	93,9	90,8	93,1	89,8
Juli	90,8	90,8	91,8	91,8	92,4	90,8	91,8	88,1	89,2	93,9	90,8	93,1	93,9	90,8	93,1	89,8
Aug	90,8	90,8	91,8	91,8	92,4	90,8	91,8	88,1	89,2	93,9	90,8	93,1	93,9	90,8	93,1	89,8
Sept	90,8	90,8	91,8	91,8	92,4	90,8	91,8	88,1	89,2	93,9	90,8	93,1	93,9	90,8	93,1	89,8
Oktober	90,8	90,8	91,8	91,8	92,4	90,8	91,8	88,1	89,2	93,9	90,8	93,1	93,9	90,8	93,1	89,8
November	90,8	90,8	91,8	91,8	92,4	90,8	91,8	88,1	89,2	93,9	90,8	93,1	93,9	90,8	93,1	89,8
Dezember	90,8	90,8	91,8	91,8	92,4	90,8	91,8	88,1	89,2	93,9	90,8	93,1	93,9	90,8	93,1	89,8
Januar	90,8	90,8	91,8	91,8	92,4	90,8	91,8	88,1	89,2	93,9	90,8	93,1	93,9	90,8		

## Anhang II. Erläuterungen zum Betrieb der Temporärstationen

Routinemäßige Stationskontrollen und Epromwechsel fanden an folgenden Terminen statt:

Aufbau:	24.03. bis 30.03.98
1. Epromwechsel:	16.04.98 (teilweiser Ausfall der Station Kornelimünster)
2. Epromwechsel:	15.05.98
3. Epromwechsel:	09.06.98
4. Epromwechsel:	04.07.98 (teilweiser Ausfall der Station Kornelimünster)
5. Epromwechsel:	27.07.98 (teilweiser Ausfall der Station Vetschau)
6. Epromwechsel:	18.08.98
7. Epromwechsel:	09.09.98
8. Epromwechsel:	30.09.98 (teilweiser Ausfall der Station Burtscheid)
9. Epromwechsel:	21.10.98
10. Epromwechsel:	21.11.98

### Besondere Vorkommnisse

Zu Beginn der Messungen Ende März 1998 konnte das Meßgerät des Umweltamtes der Stadt Aachen aus technischen Gründen noch nicht bereitgestellt werden. Um das vollständige Stationsnetz zu gewährleisten, wurde von der RWTH Aachen eine weitere Kompletstation zur Verfügung gestellt. Der Umbau erfolgte am 27.07.98. Seit diesem Termin wird die Station Innenstadt vom Umweltamt betreut. Im Gegensatz zu den anderen Station kommt hier die Laptop-Version des Datalogger nach Dr. Weihofen zum Einsatz.

Am 15.04. wurde die Station Richterich vorübergehend stillgelegt und der Standort geringfügig verändert, um für den Wind eine ungestörtere Anströmung zu gewährleisten.

Am 05.05. wurde die Station Kornelimünster vorübergehend stillgelegt und der Standort geringfügig verändert. Grund war die Neupflanzung eines Großbaumes in die Nähe des ursprünglichen Standortes. Außerdem traten immer wieder Meßausfälle auf, die mit einer Richtfunkstrecke der Telekom erklärbar sind. Ebenfalls am 05.05. wurde die Station Brand vorübergehend stillgelegt und von der Freifläche an der Kirche in den Pfarrgarten umgestellt. Grund war die mangelnde Sicherheit am ersten Standort. An beiden Stationen fand ein zusätzlicher Eprom-Wechsel statt.

Am 15.05. wurde die Station Kornelimünster nochmals umgesetzt, um den Einfluß der jetzt voll belaubten Bäume zu reduzieren. Die Maßnahme fand zeitgleich mit dem routinemäßigen Eprom-Wechsel statt.

Auf Wunsch der RWTH wurde die zunächst als reiner Windmeßstandort installierte Station auf dem Tour Baudouin um die Parameter Temperatur und Feuchte erweitert. Die Zusatzinstallation erfolgte am 23.06.98.

Am 21.07. wurde der Logger am Standort Kornelimünster ausgetauscht, um den mehrfachen Datenausfall zu stoppen.

Beim Epromwechsel am 09.09. wurde der Diebstahl der Station Sief entdeckt. Die Station wurde komplett entwendet. Am selben Tag wurde Anzeige bei der Polizei erstattet. Zusätzlich wurde eine Belohnung von 1000 DM ausgesetzt. Über den Diebstahl wurde in der lokalen Presse sowie im Lokalradio berichtet. Die Ermittlungen wurden von der Staatsanwaltschaft am 09.11. eingestellt. Eine neue Station wurde am 17.09. an einem leicht veränderten Standort installiert. Anstelle eines freistehenden Mastes wurde die Installation an einem Strommast realisiert. Der Datenausfall umfaßt den Zeitraum 18.08. bis 17.09.

### Anhang III. Erläuterungen zu den Meßfahrten

In der Nacht vom 08. zum 09. August 1998 fand bei einer hochsommerlichen Wetterlage der erste Meßfahrtenzyklus statt. Zeitgleich wurden auf jeder Strecke insgesamt fünf Meßfahrten absolviert:

	Tour Nord	Tour Süd
1. Zyklus	18.01 -19.37 MESZ	18.03 - 20.17 MESZ
2. Zyklus	20.56 -22.38 MESZ	20.45 - 22.49 MESZ
3. Zyklus	23.30 -01.06 MESZ	23.17 - 01.26 MESZ
4. Zyklus	01.56 -03.31 MESZ	01.48 - 03.50 MESZ
5. Zyklus	04.30 -05.51 MESZ	04.15 - 06.17 MESZ

Die Meßergebnisse wurden aus den Protokollisten in Excel-Tabellen übertragen, linear mit Hilfe der beiden Werte vom Anfangs- und Endpunkt korrigiert und der RWTH zur weiteren Auswertung übergeben. Ebenfalls auf Datenträger wurden die genauen Koordinaten der 200 Meßpunkte zur kartographischen Darstellung an die RWTH weitergegeben.

Da während der Augustwetterlage die Thermalscannerbefliegung nicht stattfinden konnte, wurde die ursprüngliche Absicht, eine sommerliche und eine winterliche Meßkampagne durchzuführen, in Übereinstimmung aller Projektpartner geändert. Auf jeden Fall war demnach ein weiterer Meßfahrtenzyklus zeitgleich zur noch ausstehenden Thermalscannerbefliegung durchzuführen. Für die Nacht vom 23. zum 24.09. gab es eine Vorwarnung bezüglich der beabsichtigten Befliegung. Demzufolge wurden die Vorbereitungen für den zweiten Meßfahrtenzyklus getroffen und die gewünschte Wetterlage stellte sich ein. Wegen der längeren Nachtphase wurden der Meßfahrtenzyklus um eine Tour erweitert.

Zeitgleich wurden somit auf jeder Strecke insgesamt sechs Meßfahrten absolviert:

	Tour Nord	Tour Süd
1. Zyklus	17.00 -18.43 MESZ	16.50 - 19.13 MESZ
2. Zyklus	20.00 -21.38 MESZ	19.50 - 21.59 MESZ
3. Zyklus	22.20 -23.53 MESZ	22.10 - 00.18 MESZ
4. Zyklus	00.30 -01.55 MESZ	00.15 - 02.20 MESZ
5. Zyklus	02.45 -04.01 MESZ	02.30 - 04.30 MESZ
5. Zyklus	05.00 -06.23 MESZ	04.45 - 06.55 MESZ

Die Datenübergabe an die RWTH fand analog zum 1. Meßfahrtenzyklus statt.

## **Anhang IV. Erläuterungen zu den Vertikalsondierungen**

### **Vertikalsondierungen Sief**

#### **Projekt „Gesamtstädtisches Klimagutachten Aachen“**

Auftraggeber:

Die Stadt Aachen, Umweltamt -Abt. Luftreinhaltung, Energie u. Immissionsschutz

Herr Dipl. Geogr. G. Peschel (0241/432-3662)

#### **Aerologische Sondierungen 1999**

**Meßstandort Aachen-Sief, Marientalweg, 265 Meter über NN**

Auftragnehmer:

Universität Trier, Fachbereich VI, Fach Klimatologie

Herr Prof. Dr. A. Helbig; Dipl. Geogr. J. Lüers

#### **Erster Meßeinsatz vom 8.8. bis 9.8.1998**

#### **Zweiter Meßeinsatz vom 31.03. bis 01.04.1999**

#### **Dritter Meßeinsatz vom 26.05. bis 27.05.1999**

#### **Beteiligte Personen:**

Wissenschaft:	Prof. Dr. A. Helbig Dipl. Geogr. J. Lüers
Technik:	U. Baltes
Studentische Hilfskräfte:	K. Wilbois

**Sondensystem der Uni Trier, FB Geographie/Geowissenschaften, Abteilung  
Klimatologie, Prof. Dr. A. Helbig, Standort bei allen Messungen: Aachen-Sief,  
Marientalweg**

Die Sondierungen wurden mit einem Fesselsondensystem der Fa. Kroneis, Wien, durchgeführt. Die technischen Eigenschaften der Anlage sind nachfolgend zusammengestellt:

- Datenerfassung mit Funkübertragung und Auswertung in der Bodenstation mit Auswertesoftware,
- Fesselballon (Zeppelinform) mit Geräteträger, Volumen 15 m<sup>3</sup>, Nutzlast max. 3 kg, Barogeber Type 315, Meßbereiche 850-1050 hPa, Genauigkeit +/- 5 hPa, Windgeschwindigkeitsgeber Type 260P, Anlaufgeschwindigkeit 0,3 m/s, Windrichtungsgeber/ Kompaß, Genauigkeit +/- 5 grad, Temperatursensor NTC mit Zwangsbelüftung, Genauigkeit +/- 0,2 K, Taupunktsensor Type 620, Genauigkeit +/- 0,5 K,
- Zykluszeit der Datenerfassung: 3 s,
- die Messung der Schadstoffkonzentration wurden mit Analysegeräten der Fa. Horiba im Umweltmeßwagen des Faches Klimatologie der Universität Trier durchgeführt.

Die Sondierung erfolgte mit einer Vertikalgeschwindigkeit von 300 m/ 15 min (0,33 m/s) im Auf- und Abstieg.

Die Startzeit der Fesselsonde war jeweils 15 min vor dem Bezugstermin (volle Stunde), so daß die Gipfelhöhe von 300 m ü. Gr. genau zum Bezugstermin erreicht werden konnte. Allerdings ergaben sich Verschiebungen in den Fällen, wenn wegen zu hoher Windgeschwindigkeit und damit zu starker Abdrift des Fesselballons der Aufstieg schon unterhalb der Gipfelhöhe beendet werden mußte.

Insgesamt konnten drei Aufstiegsserien durchgeführt werden.

- 8.-9.8.1996, Sondierung stündlich von 17 Uhr bis 8 Uhr MEZS, 15 Sondierungen mit Höhen zwischen 160m und 302m ü. Gr., Messung der Schadstoffkonzentration am Boden mit Umweltmeßwagen
- 31.3.-1.4.1999, Sondierung stündlich von 20 Uhr bis 8 Uhr MEZS, 13 Sondierungen mit Höhen zwischen 72m und 162m ü. Gr. Infolge starker vertikaler Zunahme der Windgeschwindigkeit
- 26.5.-27.5.1999, Sondierung stündlich von 19 Uhr bis 8 Uhr MEZS, 14 Sondierungen mit Höhen zwischen 156m und 303m ü. Gr., Messung der Schadstoffkonzentration am Boden mit Umweltmeßwagen

## Vertikalsondierungen Elisengarten

Sondensystem der Universität Gesamthochschule Essen, Geoökologie, Prof.Dr.W. Kuttler

### Fesselballonsondensystem

### A D A S

### Atmospheric Data Acquisition System

Hersteller: AIR (Atmospheric Instrumentation Research, Inc.), Boulder/Col., USA

## Bestandteile

### Kombinationssonde:

Modell: Thethersonde TS-3A-SP

Meßgrößen:	Meßbereich:	Meßgenauigkeit:
Luft- & Feuchttemperatur	-70 °C bis +50 °C	0,5 °C
Luftfeuchtigkeit	3 % bis 100 %	3,0 %
Luftdruck	600 hPa bis 1.050 hPa	3,0 hPa
Windgeschwindigkeit	0 m/s bis 20 m/s	0,25 m/s
Windrichtung	0 ° bis 360 °	5,0 °

#### Weitere Spezifikationen:

Datenübertragung:	UKW-Funk 403,5 MHz	Stromversorgung:	Batterie 9 V
Gewicht:	225 g	Betriebszeit:	ca. 6 Std.

### Ozonsonde:

Modell: OZ-3A-T

Meßbereich: 0 ppb bis 1.000 ppb

Meßgenauigkeit:  $\pm 5\%$

#### Weitere Spezifikationen:

Datenübertragung: UKW-Funk 403,5 MHz

Stromversorgung: Batterien 2 x 9 V

Gewicht: 500 g

Betriebszeit: ca. 1,5 Std.

## Receiver:

Modell: ADAS AIR-3B

### Spezifikationen:

Anzahl Meßgrößen: max. 15

Meßintervall: 10 Sek.

Datenempfang: UKW-Funksignal 403,5 MHz

Datengenerierung: Mikroprozessorgesteuerte Umwandlung der Sondenfunksignale in physikalische Größen, Größeneinheiten frei wählbar

Sondenkonfigurierung: Lochstreifenleser

Datenformat: Standardtext (ASCII)

Ausgabeformat: Meßreihenabfolge frei wählbar

Ausgabeschnittstellen: Seriell, parallel, Kassettenrekorder, HP-Printer

Stromversorgung: 220 V Netzspannung, 12 V oder interne Akkubatterie (Betriebszeit: 18 Std.)

## Ballone:

Modell:	Volumen:	Abmessungen:	Gewicht:	Traglast:
TS-1BR-1	3,25 m <sup>3</sup>	4,9 x 1,1 m	1,6 kg	1,8 kg
TS-1BR-2	4,25 m <sup>3</sup>	5,2 x 1,5 m	1,7 kg	2,8 kg

## Seilwinde:

Modell: TS-3AW

Seillänge: 1.000 m

Geschwindigkeit: 0 bis 1,8 m/s

### Weitere Spezifikationen:

Gewicht: 27,7 kg

Stromversorgung: 220 V Netzspannung

## AIR Thethersonde TS-3A-SP

### Technische Spezifikationen laut Hersteller

Meßgröße	Luftdruck	Temperatur	Luftfeuchtigkeit	Windgeschwindigkeit	Windrichtung
Meßprinzip	elektronisch, Aneroidkapazität, temperaturkom- pensiert	Thermistor	über befeuchte- ten Thermistor	Lichtschraken- flügelrad	elektronischer magnetischer Kompass
<b>Maßeinheit</b>	<b>hPa</b>	<b>°C</b>	<b>%</b>	<b>m/s</b>	<b>Grad</b>
Meßbereich	600 bis 1050	-70 bis +50	3 bis 100	0 bis 20	2 bis 358
Auflösung	0,1	0,01	0,1	0,1	1
Genauig- keit	3	1,0 (im Meßbereich -70°C bis -40°C)  <b>0,5</b> (im Meßbereich -40°C bis +40°C)  1,0 (im Meßbereich +40°C bis+ 50°C)	10 (im Tempera- turbe-reich -25°C bis -10°C)  5 (im Tempera- turbe-reich -10°C bis 0°C)  <b>3</b> (im Tempera- turbe-reich 0°C bis 50°C)	0,25	5
Geräteein- fluß	k. A.	0,1 (im Bereich -20 bis +35)	k. A.	k. A.	k. A.
Ansprech- zeit	k. A.	3 s (Trockenthermis- tor)  12 s (befeuchteter Thermistor)	12 s	k. A.	k. A.

Wellenbereich: UKW;

Leergewicht: 225 g;

Funkfrequenz: 403,5 MHz;

Betriebsgewicht: 275 g (inkl. 46 g für Batterie und 4 g für Psychrometerwasser);

Sendeleistung: 10 mW;

Abmessungen (ca.): 10 cm Anemometerdurchmesser, 30 cm Sondenhöhe, 30 cm Haltestangenlänge

Sendereichweite: 20 km

Stromversorgung: 1 X Blockbatterie 9 V

Betriebsdauer: 6 bis 8 Stunden (realistisch: 3 bis 4 Stunden)

### **Sonstige Vertikalsondierungen**

#### **Sondensystem der RWTH Aachen, FB VII, Geographisches Institut, Lehr- und Forschungsgebiet Physische Geographie, Prof. Dr. D. Havlik, verschiedene Standorte**

Kleinsondensystem (Fesselballon in Kugelform; Eigenbau), Volumen 0,4 m<sup>3</sup>, Meßhöhe bis 100 m, Temperaturmessung mit Thermowiderstand Pt1000, Höhenbestimmung über Leinenlänge und Neigungswinkel, Windrichtungsmessung über Abdriftrichtung, Windgeschwindigkeitsberechnung über Auftrieb, Querschnitt und Abdrift.

Messungen:

8./9.8.98, 18.00 Uhr bis 7.40 Uhr, Wildbachtal, Ecke Schurzelterstraße / Brunnenstraße;

31.3./1.4.99, 20.00 Uhr bis 21.50, Dorbachtal, Steppenbergweg am Dorbach, 22.10 Uhr bis 22.40 Uhr, Westbahnhof, Kopernikusstraße, Parkplatz Rechenzentrum;

26./27.5.99, 21.40 Uhr bis 22.30 Uhr, Dorbachtal, Steppenbergweg am Dorbach, 23.30 Uhr bis 0.30 Uhr, Eilendorf, Birkstraße, am Haarbach (geplante Messung am Lousberg, Champierweg, wegen ungünstiger Aufstiegsbedingungen ausgefallen).

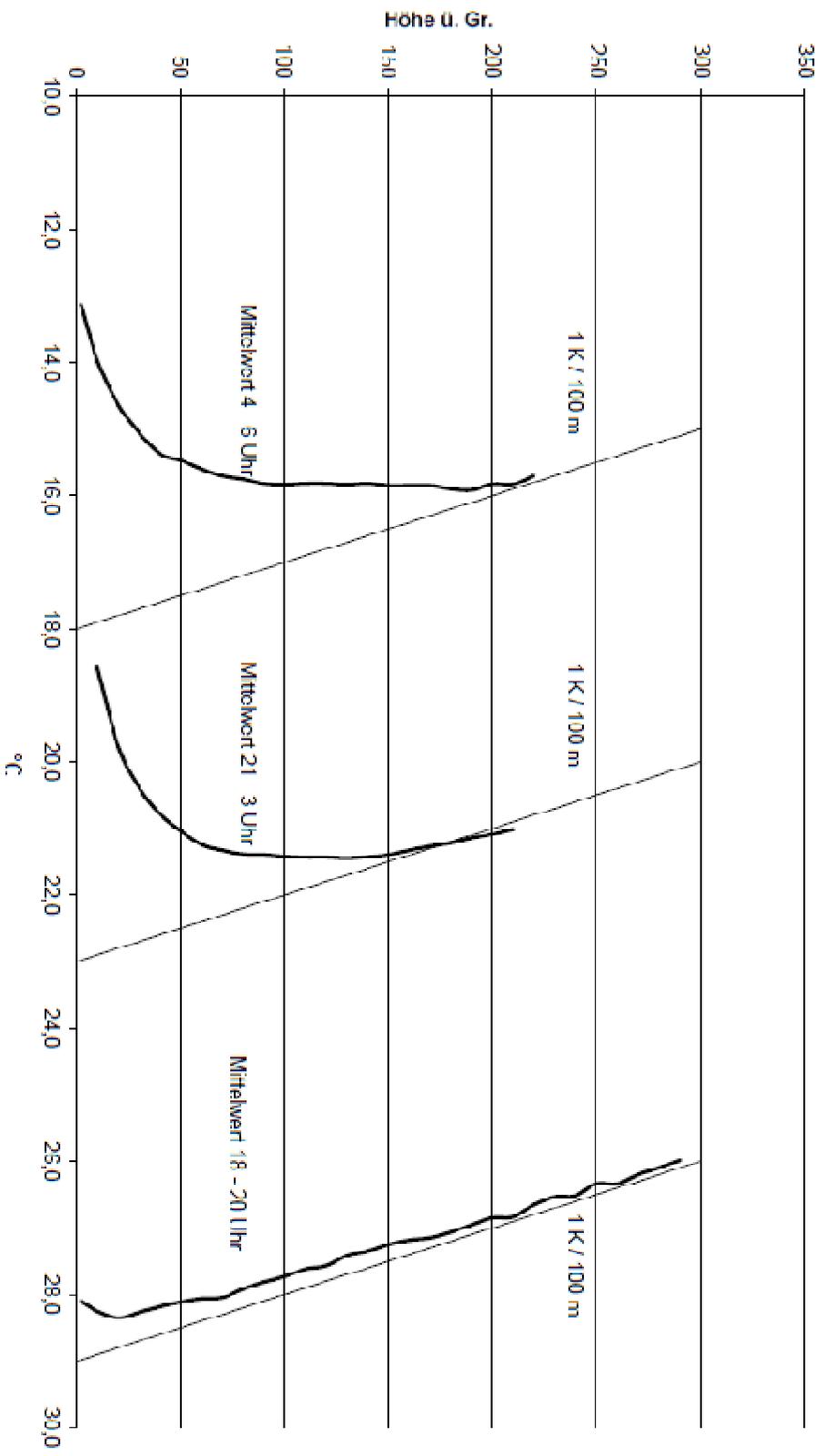


Abbildung 21a: Vertikale Temperaturverteilung Siof (8./9.8.98)

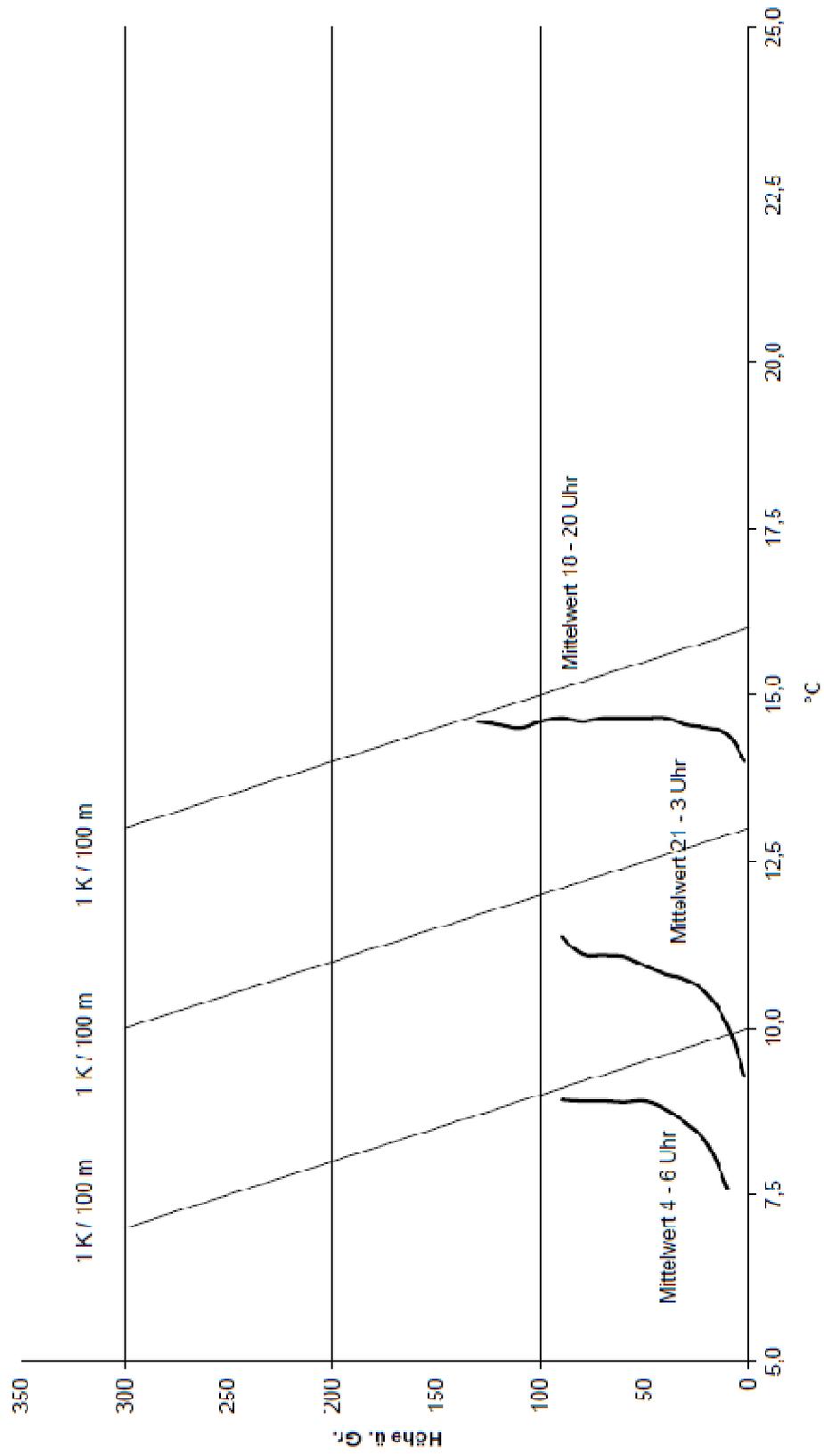


Abbildung 21b: Vertikale Temperaturverteilung Sief (31.3./14.99)

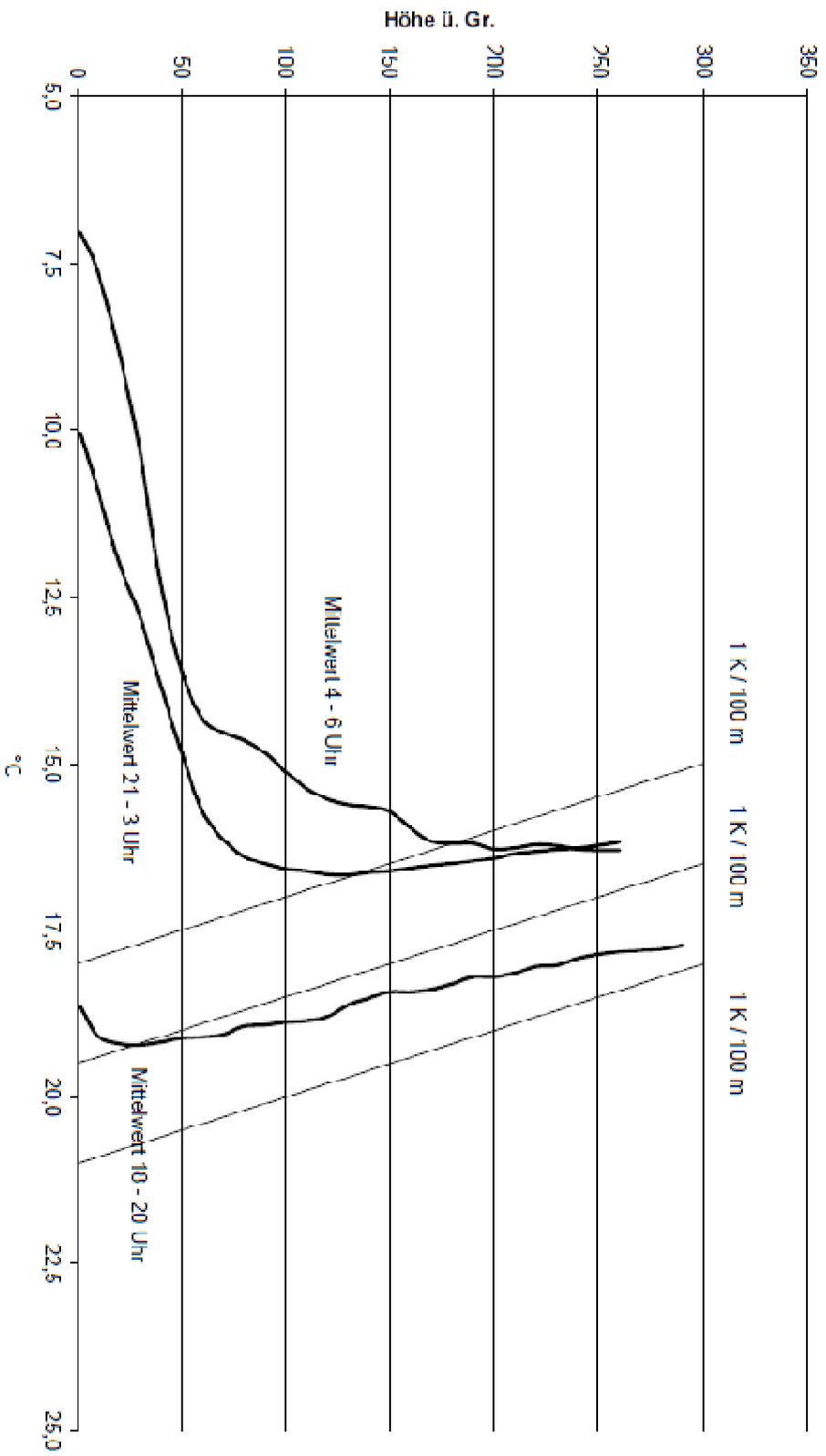


Abbildung 21c: Vertikale Temperaturverteilung Sief (26./27.5.99)

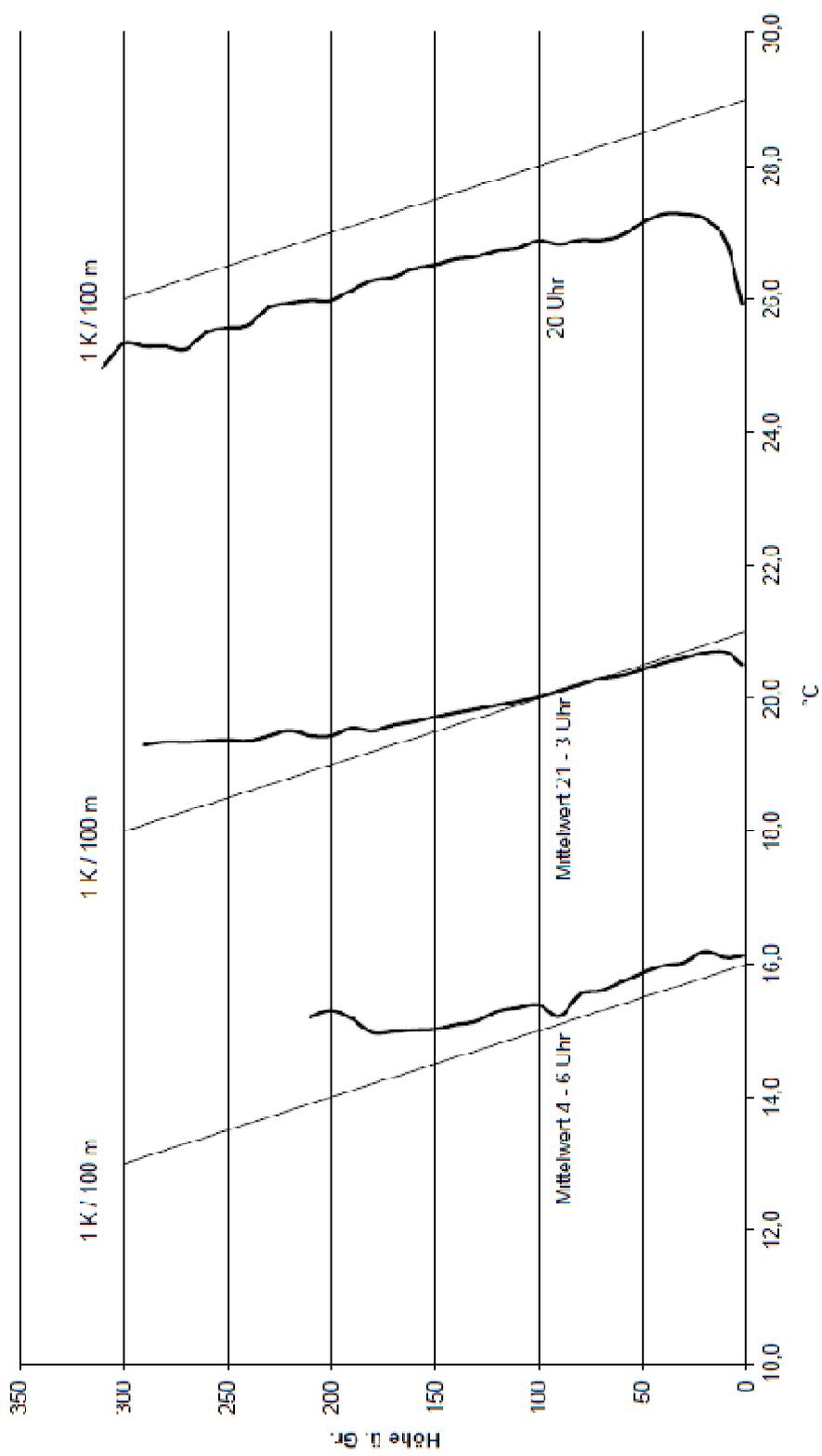


Abbildung 21d: Vertikale Temperaturverteilung Aachen-Eisenbrunnen (8./9.8.98)

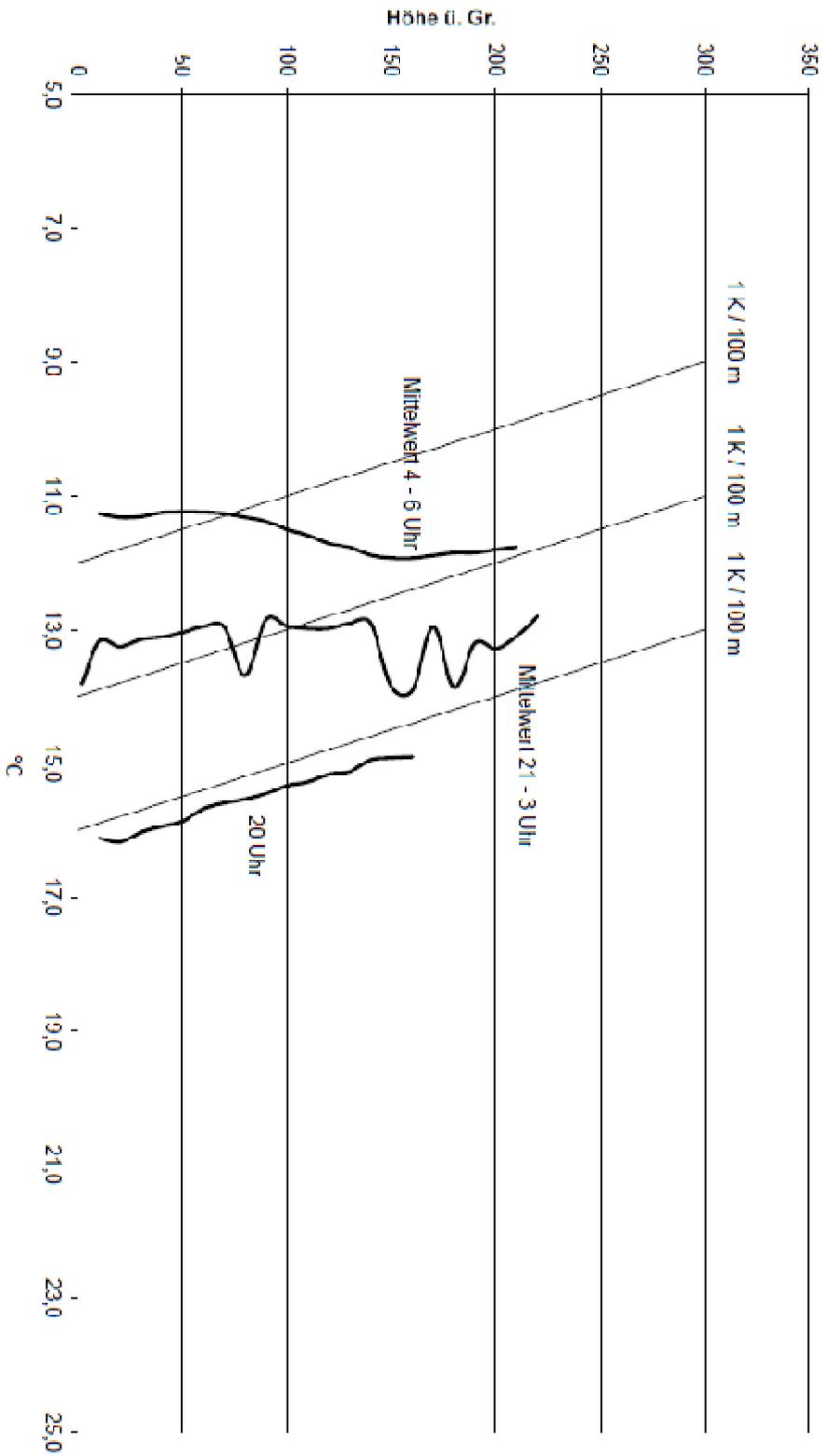


Abbildung 21e: Vertikale Temperaturverteilung Aachen-Elisenbrunnen (31.3./1.4.98)

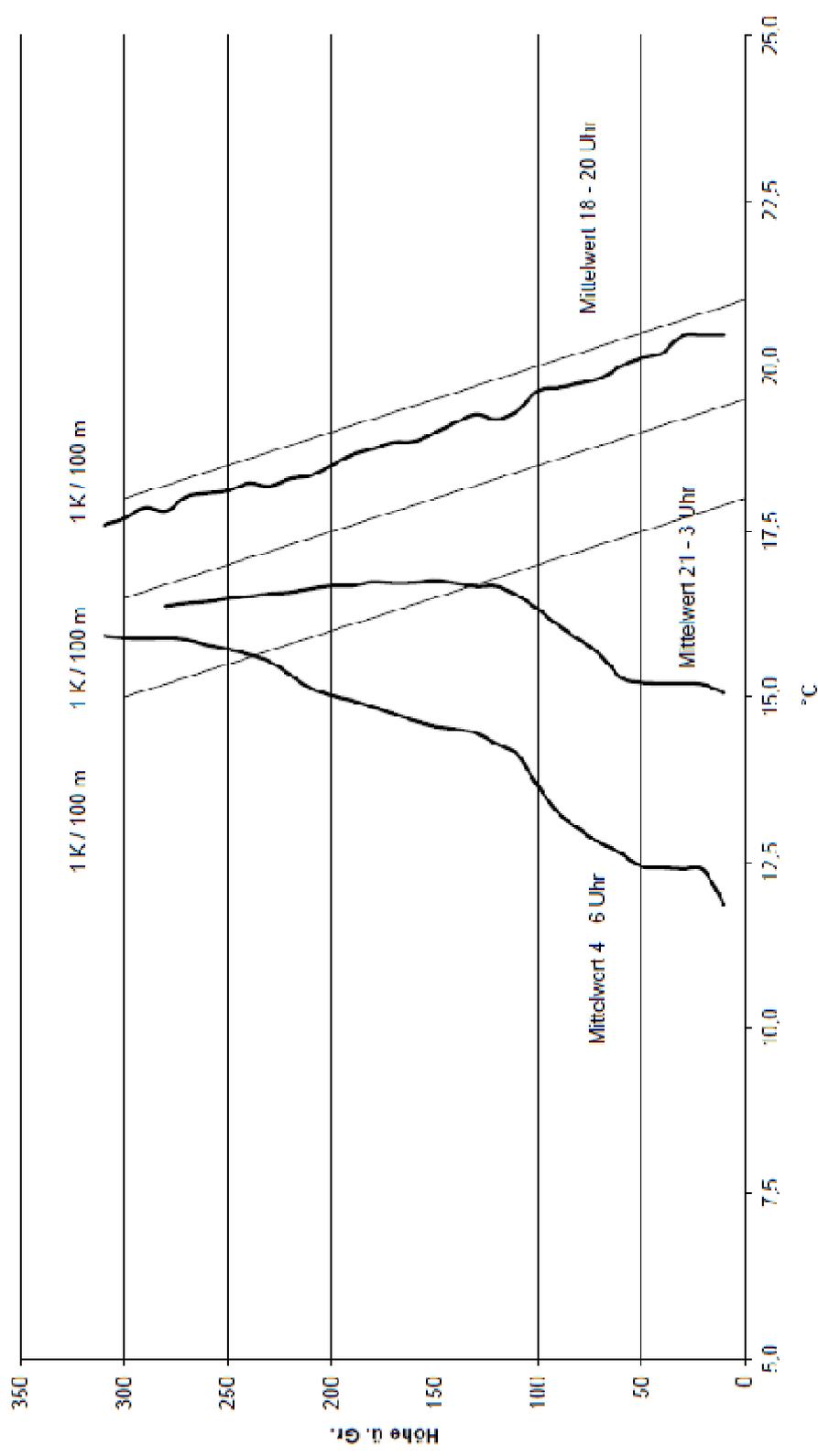


Abbildung 21f: Vertikale Temperaturverteilung Eisenbrunnen (26./27.5.99)

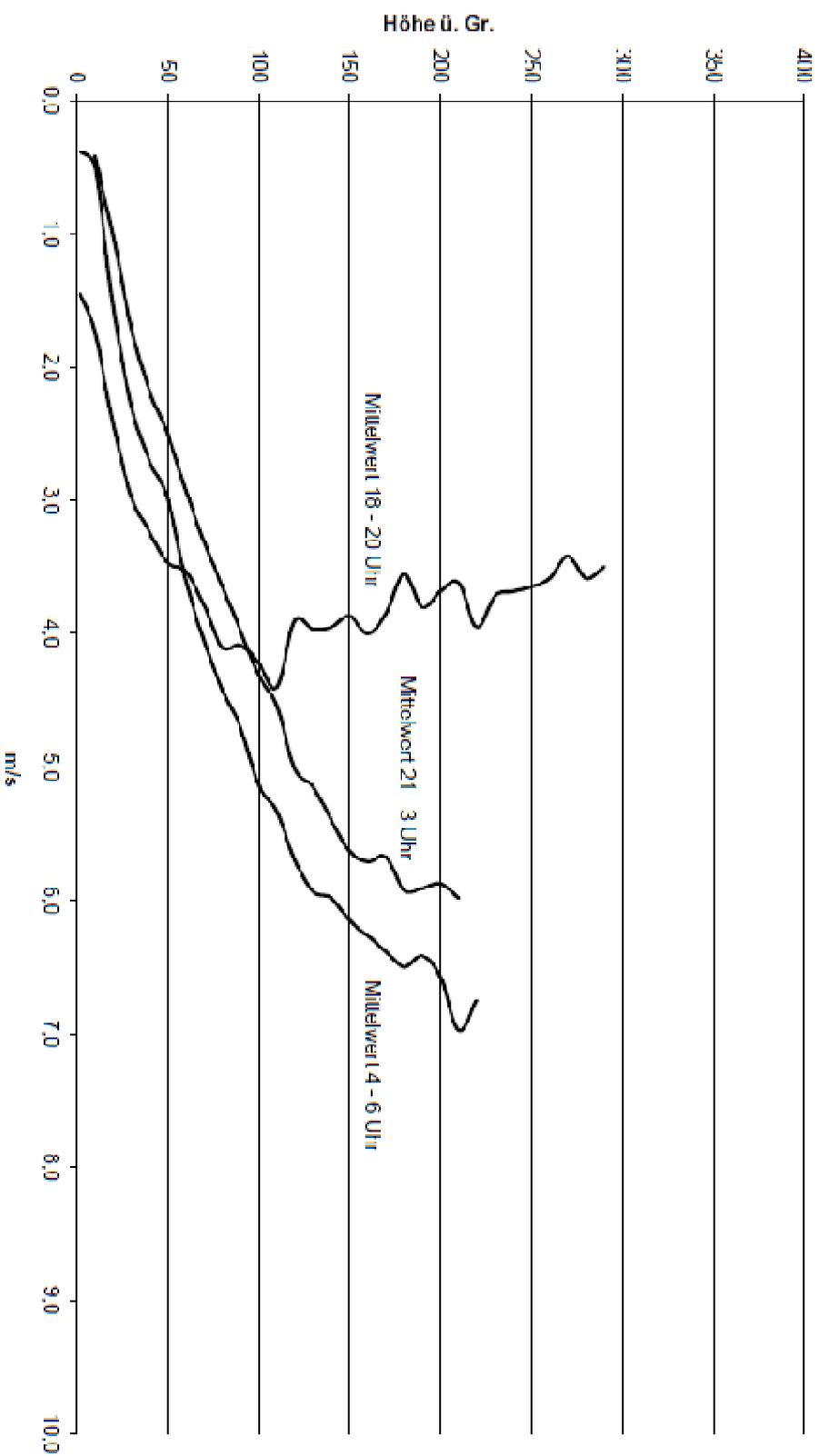


Abbildung 22a: Vertikale Windgeschwindigkeitsverteilung Stier (8./9.8.98)

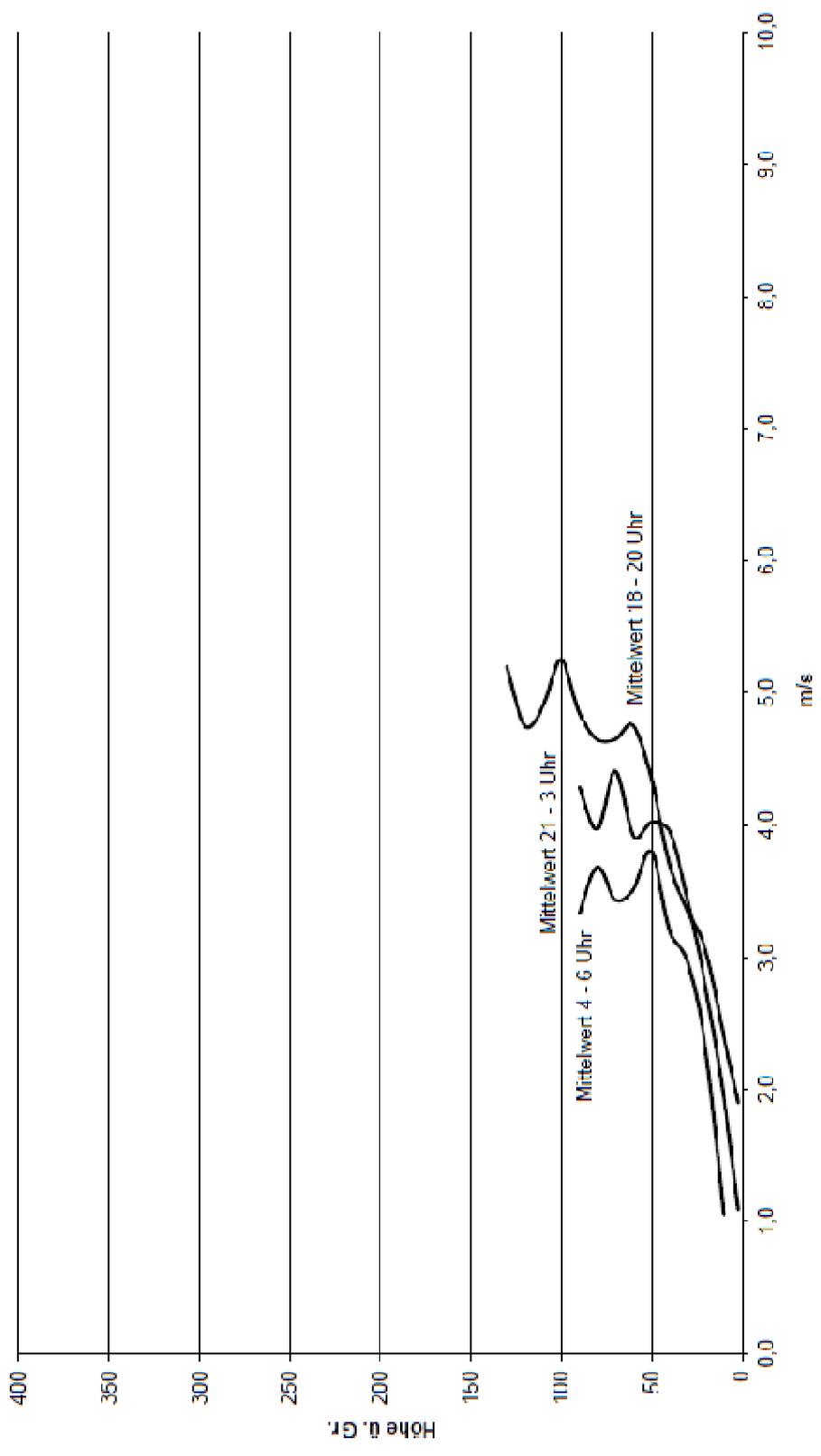


Abbildung 22b: Vertikale Windgeschwindigkeitsverteilung Sief (31.3./1.4.99)

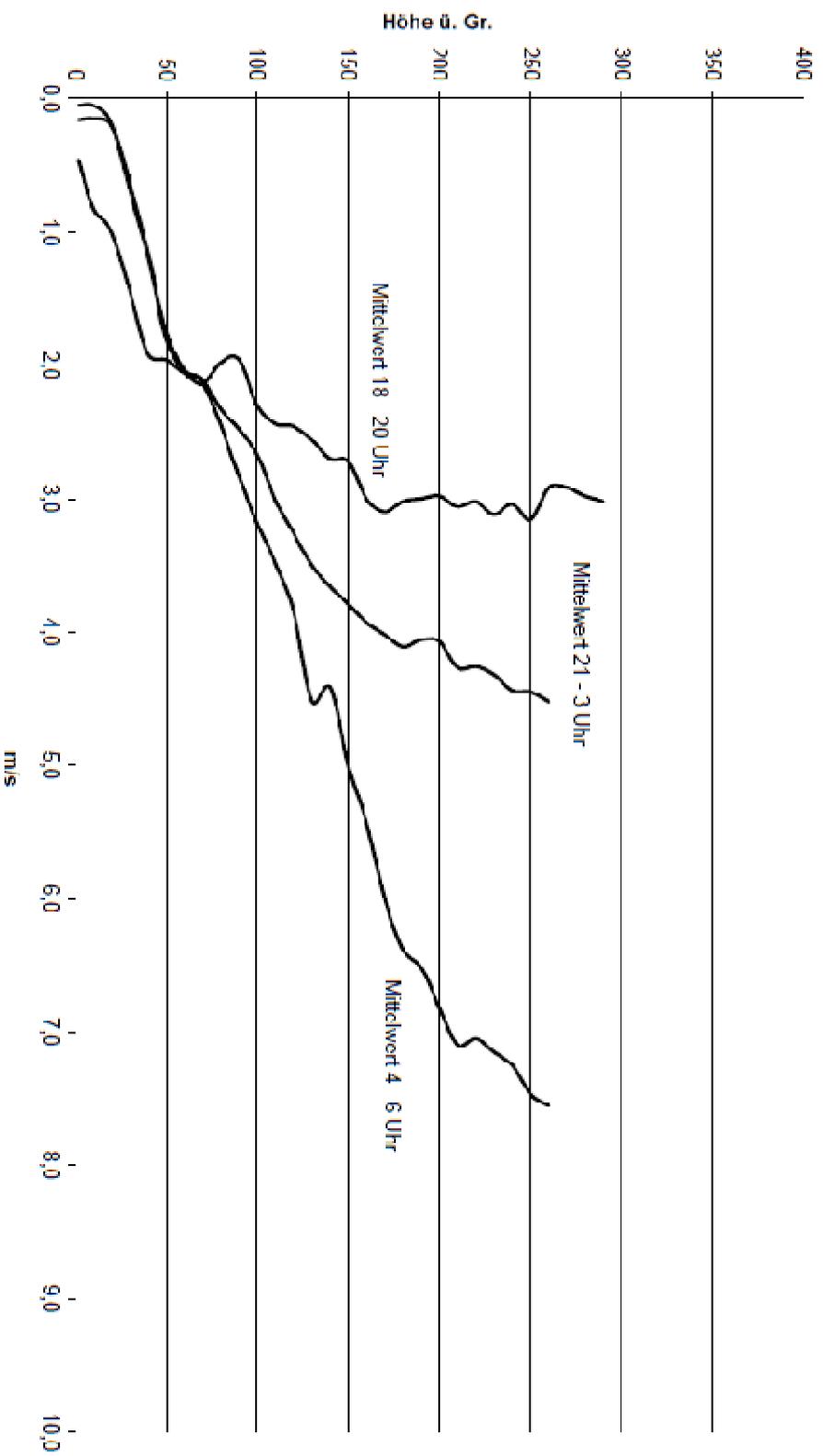


Abbildung 22c: Vertikale Windgeschwindigkeitsverteilung Sief (20./27.5.99)

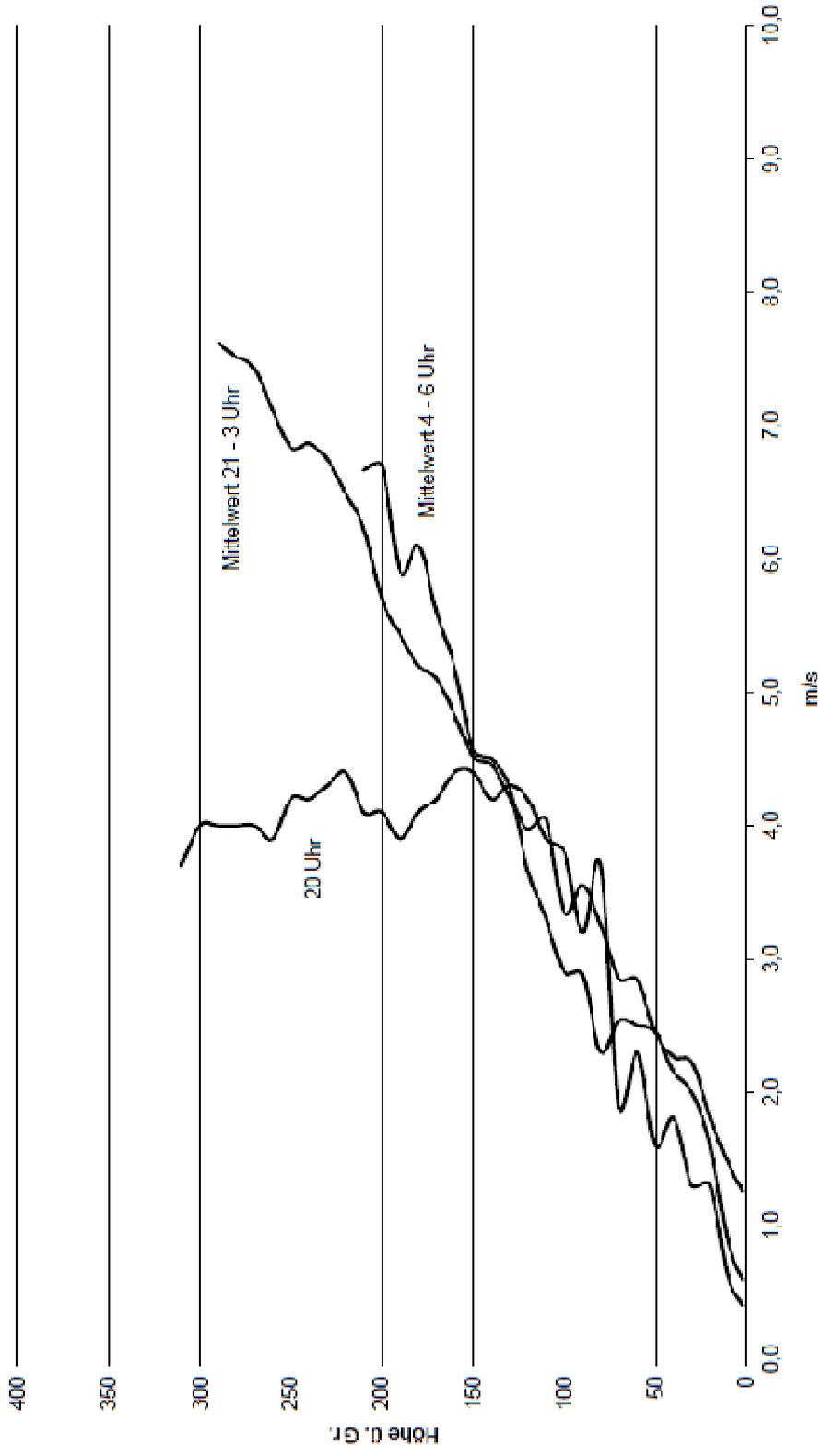


Abbildung 22d: Vertikale Windgeschwindigkeitsverteilung Aachen Eisenbrunnen (8./9./8.98)

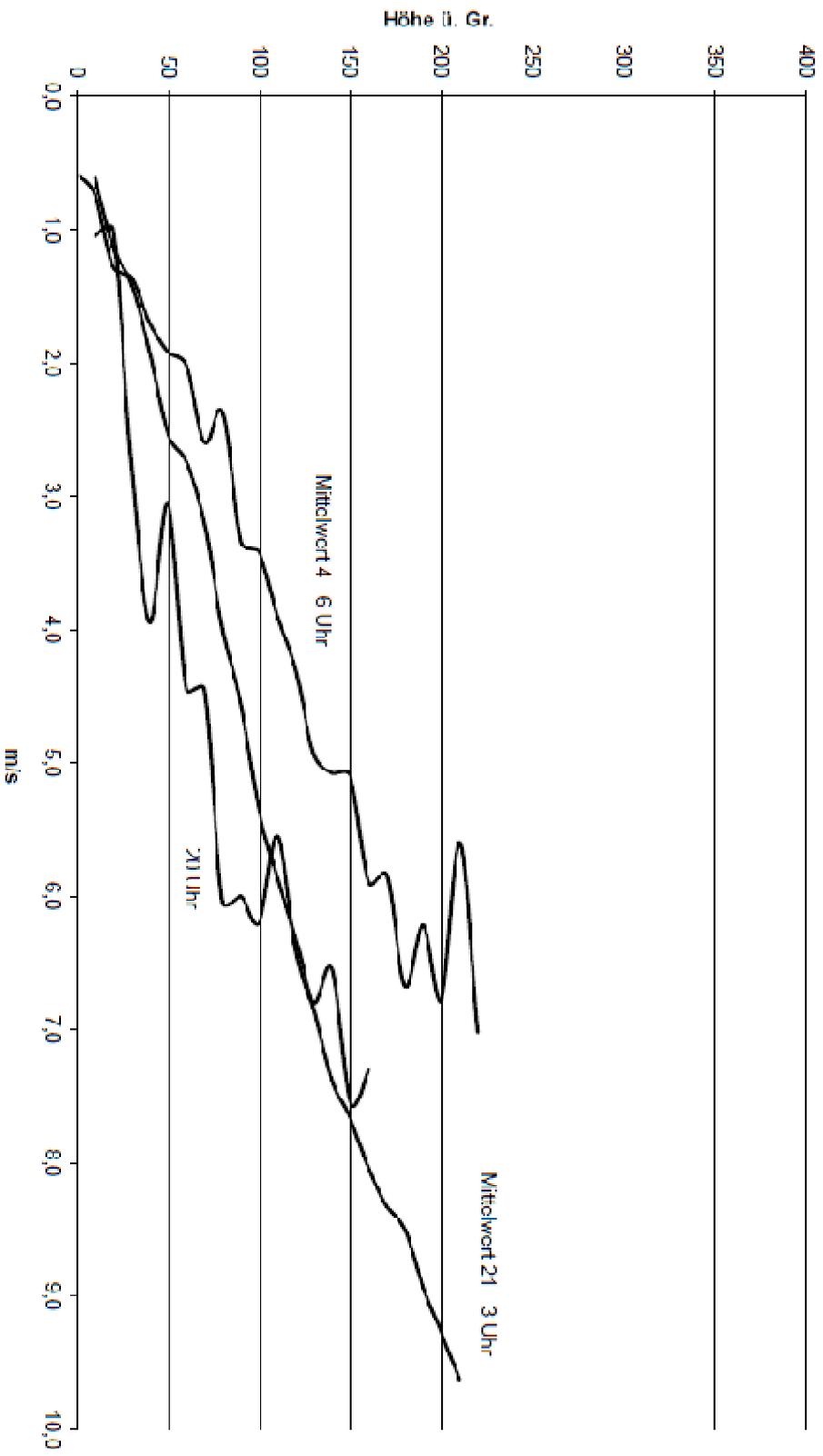


Abbildung 2.2e: Vertikale Windgeschwindigkeitsverteilung Aachen-Elisenbrunnen (31.3./1.4.99)

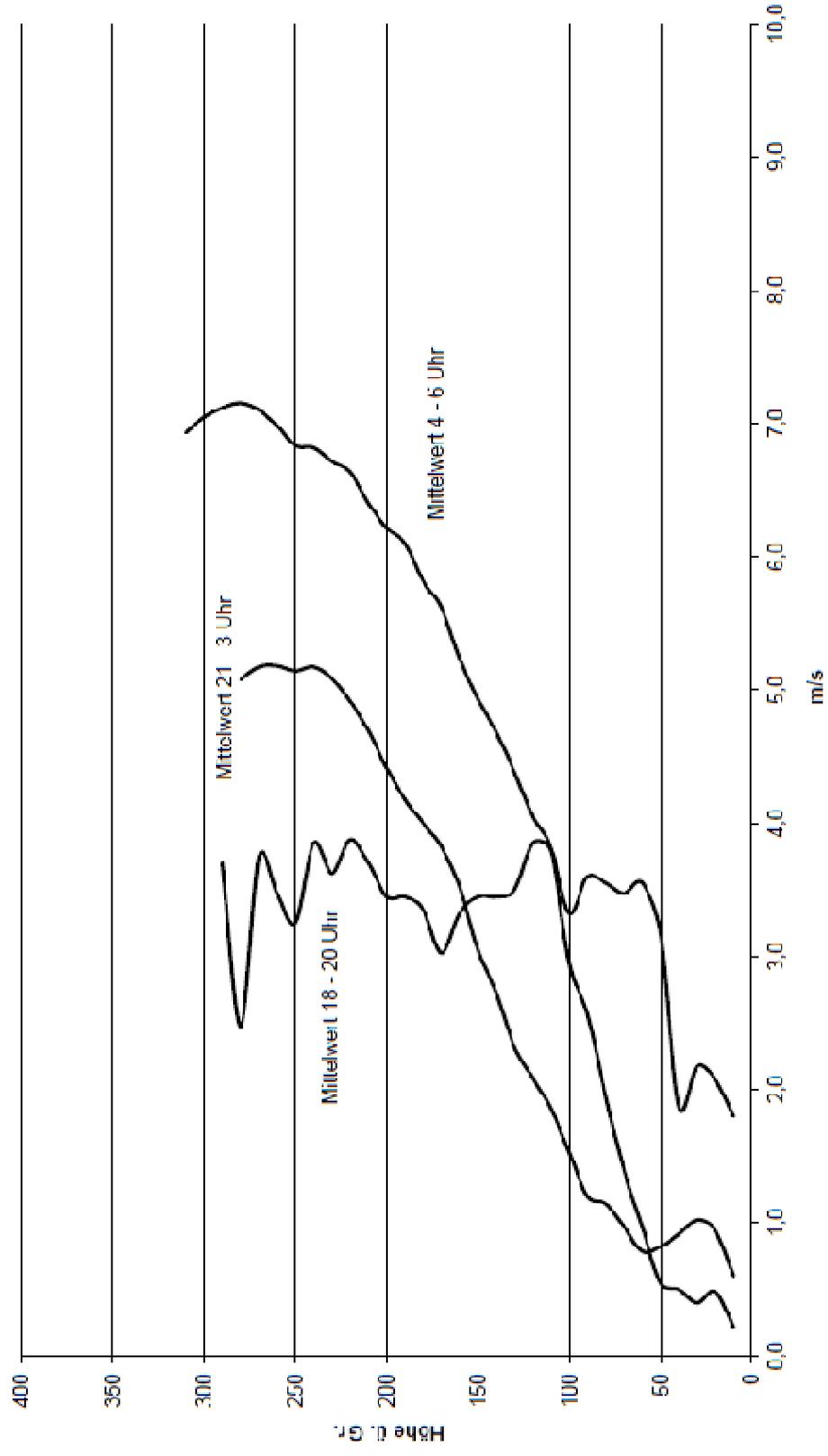


Abbildung 22f: Vertikale Windgeschwindigkeitsverteilung Eisenbrunnen (26./27.5.99)

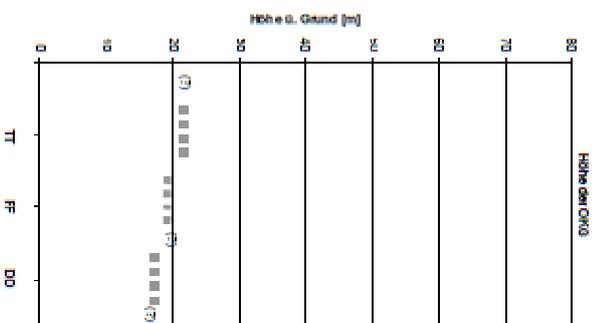
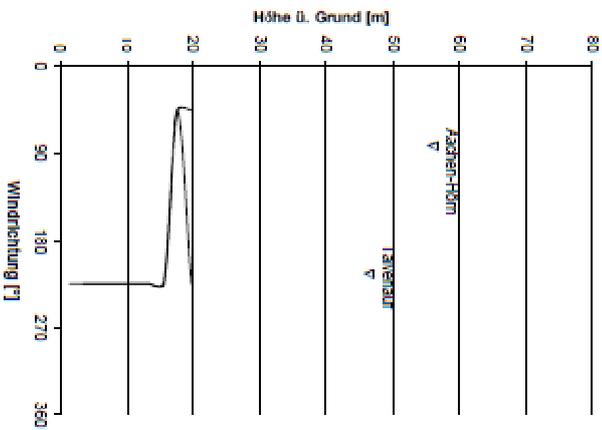
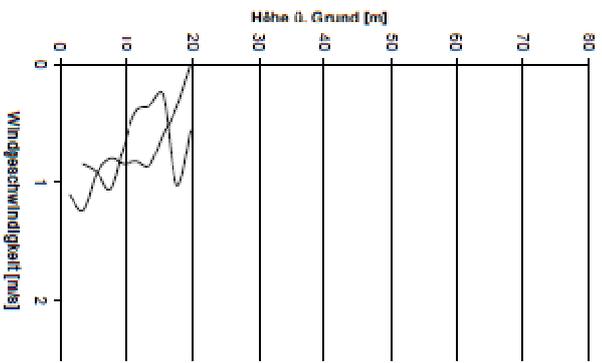
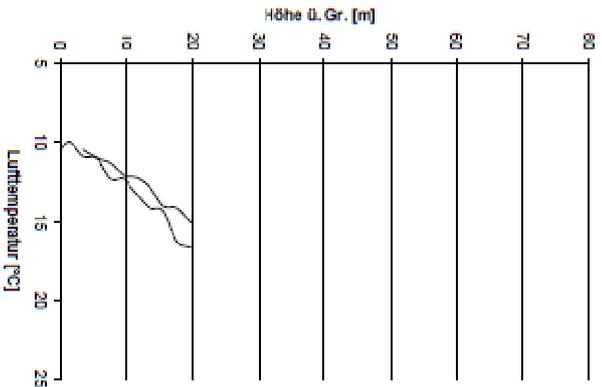


Abbildung 26a: Ergebnisse der Kleinsondenmessungen - Rolletal / Venbahnbrücke - 13.5.92 22.30-23.00 Uhr

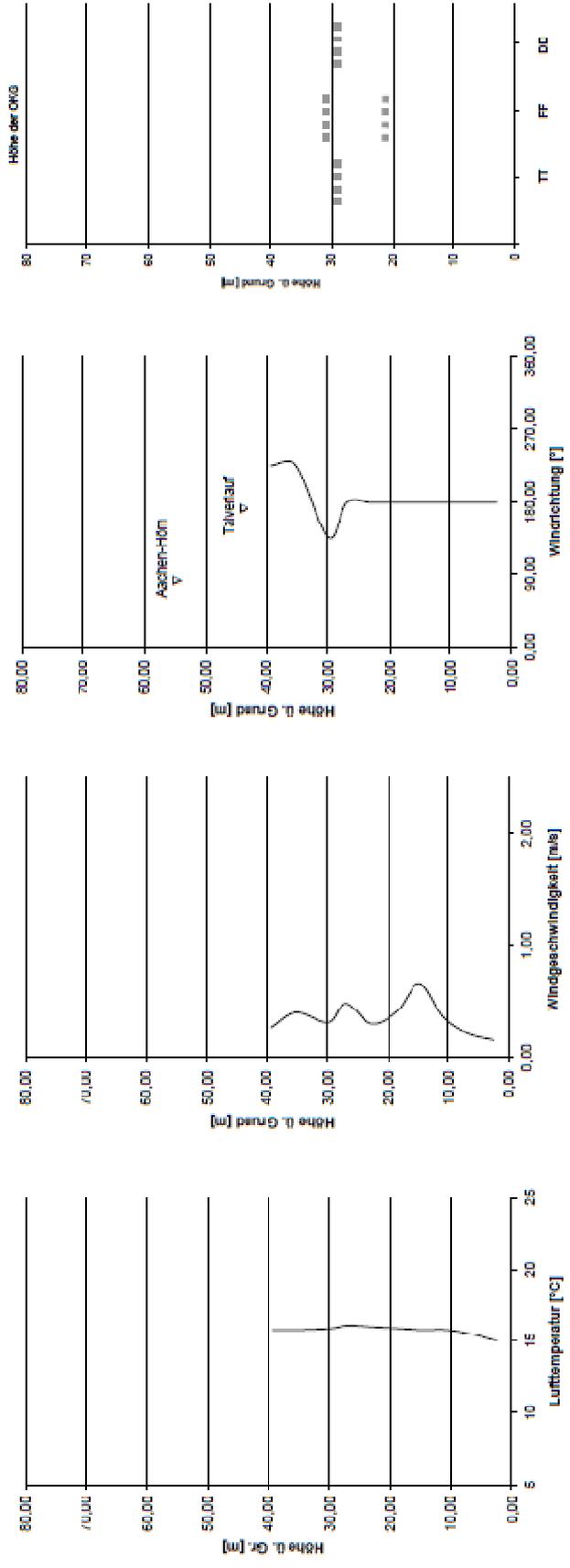


Abbildung 26b: Ergebnisse der Kleinsondenmessungen - Gillesbachtal / Branderhofer Weg - 8.7.1992 23.00-23.10 Uhr

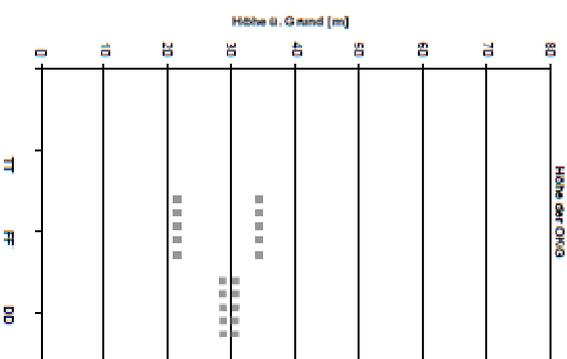
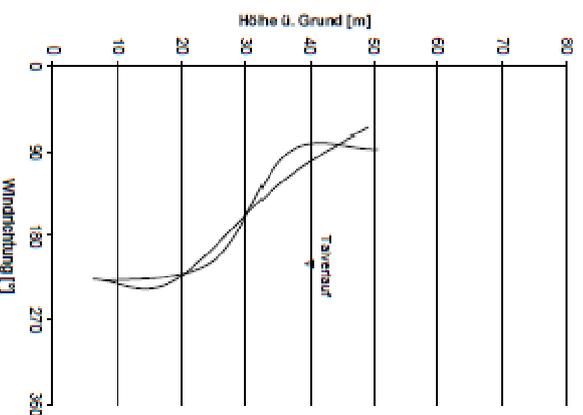
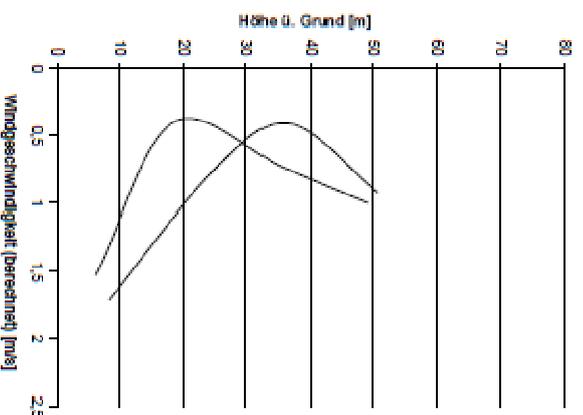
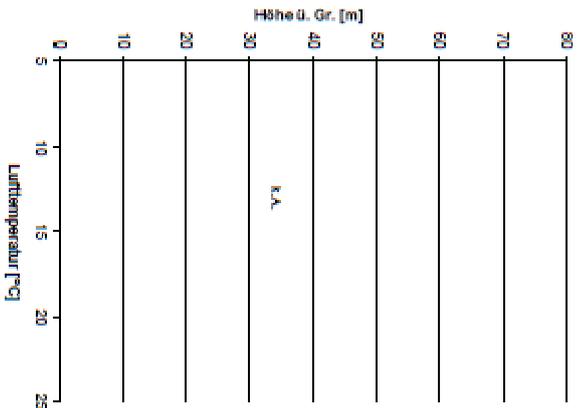


Abbildung 26c: Ergebnisse der Kleinsondennmessungen - Kannegelebachtal / Brüsseler Ring - 25.5.87 21.30-22.00 Uhr

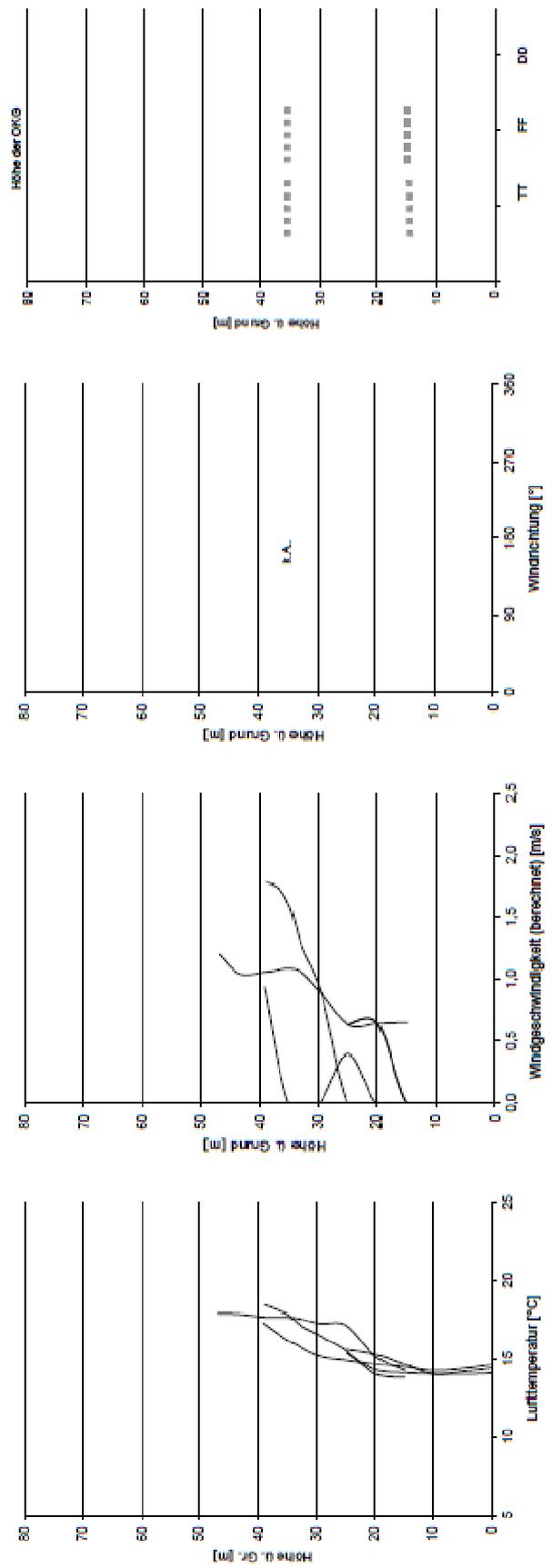


Abbildung 26d: Ergebnisse der Kleinsondenmessungen - Ponellbachtal / Schillerstraße - 8.10.95 19.30-21.30 Uhr

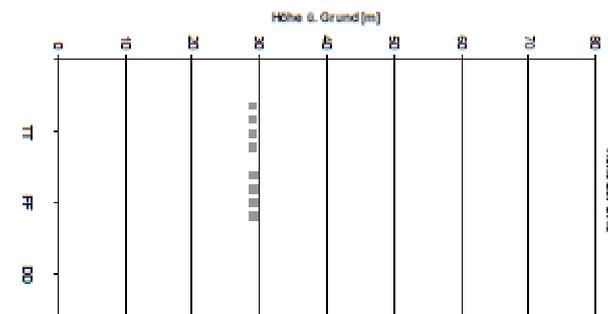
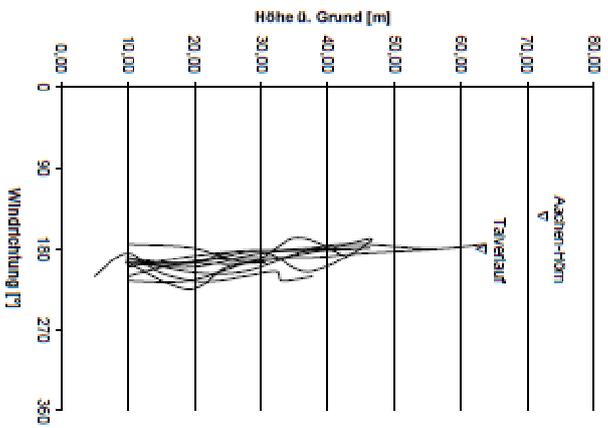
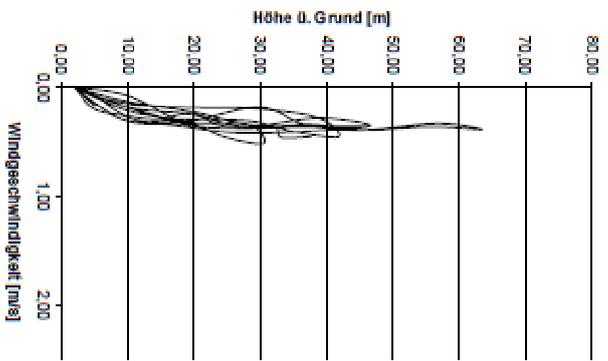
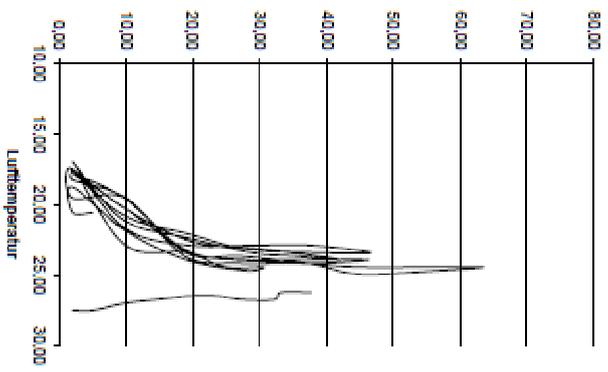


Abbildung 26e: Ergebnisse der Kleinsondenmessungen - Johannistal / Auf der Mauer - 27.5.1999 19.30-23.15 Uhr

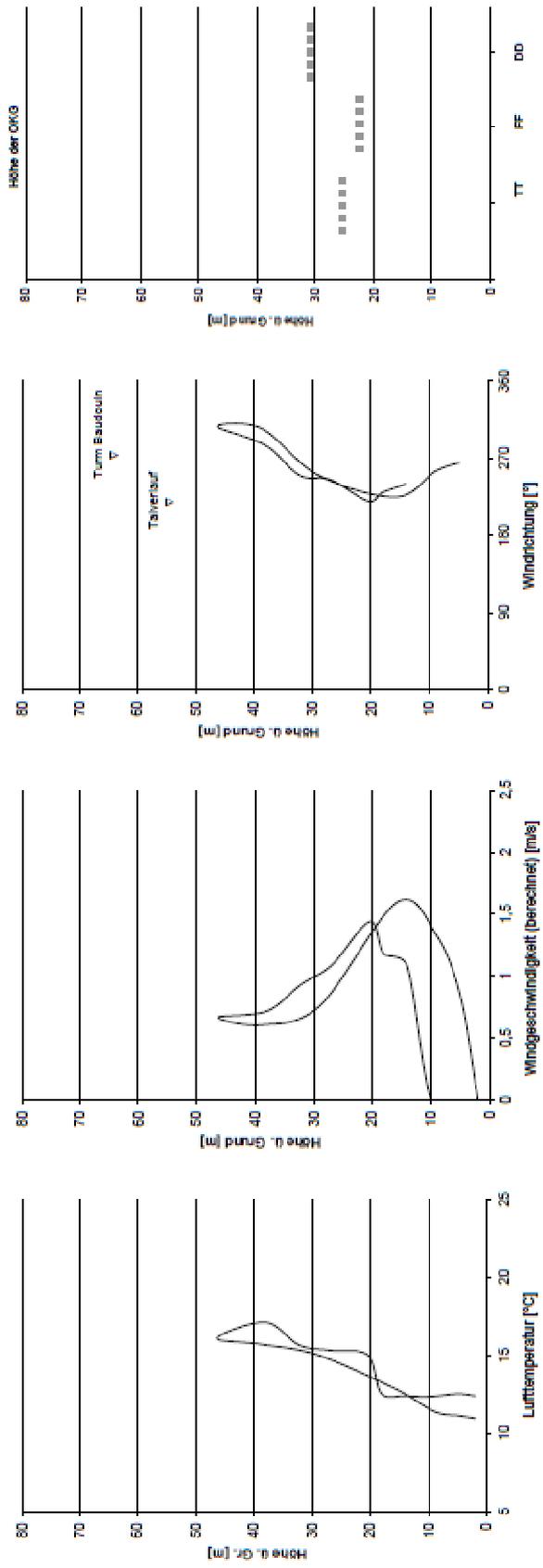


Abbildung 26f. Ergebnisse der Kleinsondenmessungen - Steppenbergr / Dorfbachtal - 26.05.1999 21.40-22.20 Uhr

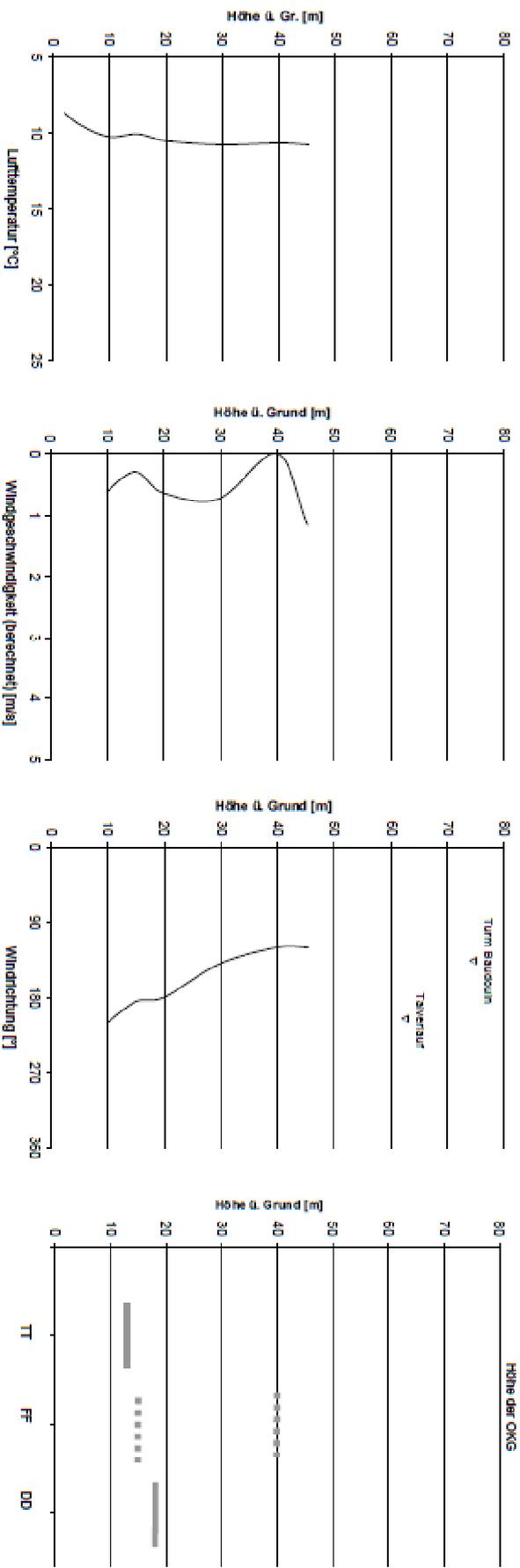


Abbildung 26g: Ergebnisse der Kleinsondenmessungen - Westbahnhof / Kopernikusstraße - 31.03.1999 22:20 - 22:40 MESZ

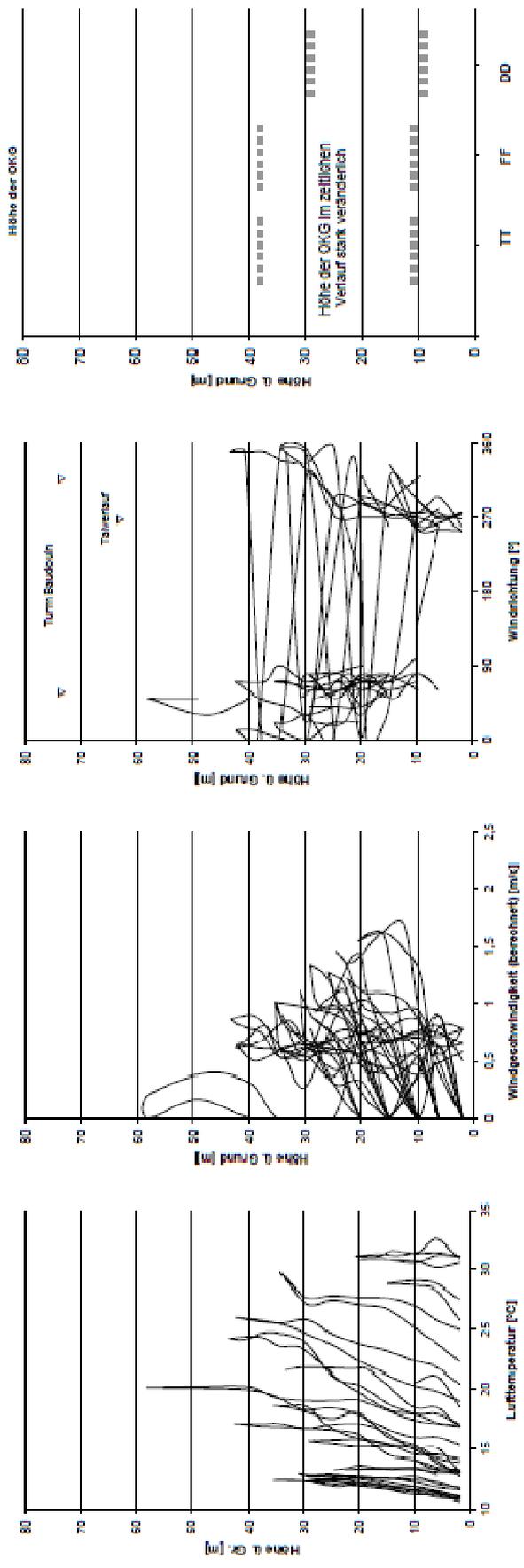


Abbildung 26h: Ergebnisse der Kleinsondenmessungen - Laurensberg / Wildbachtal - 08./09.08.1988 18.00-7.40 Uhr

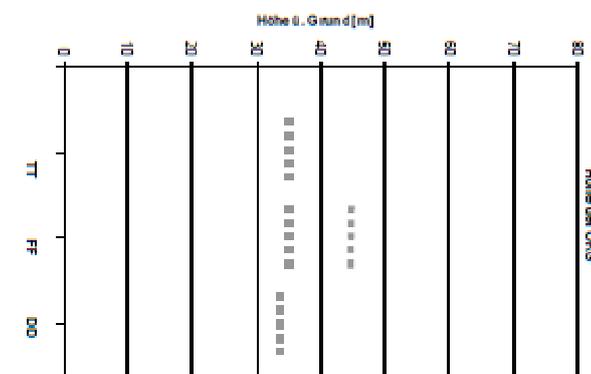
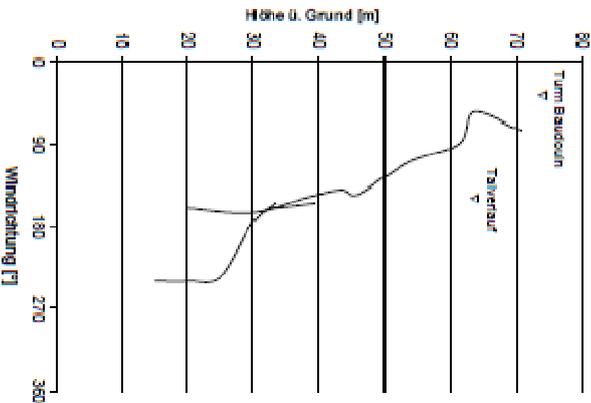
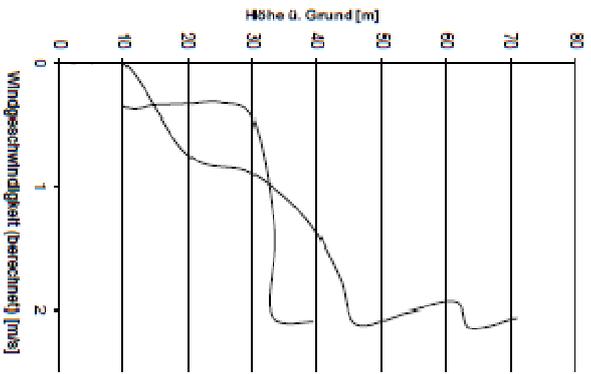
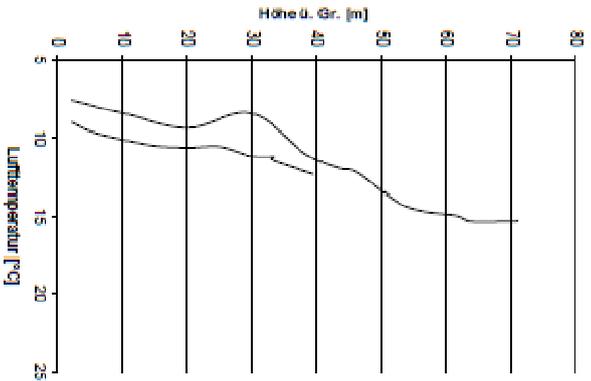


Abbildung 26: Ergebnisse der Kleinsondenmessungen - Eilendorf / Haarbachtal - 26./27.5.1999 23.30-0.30 Uhr

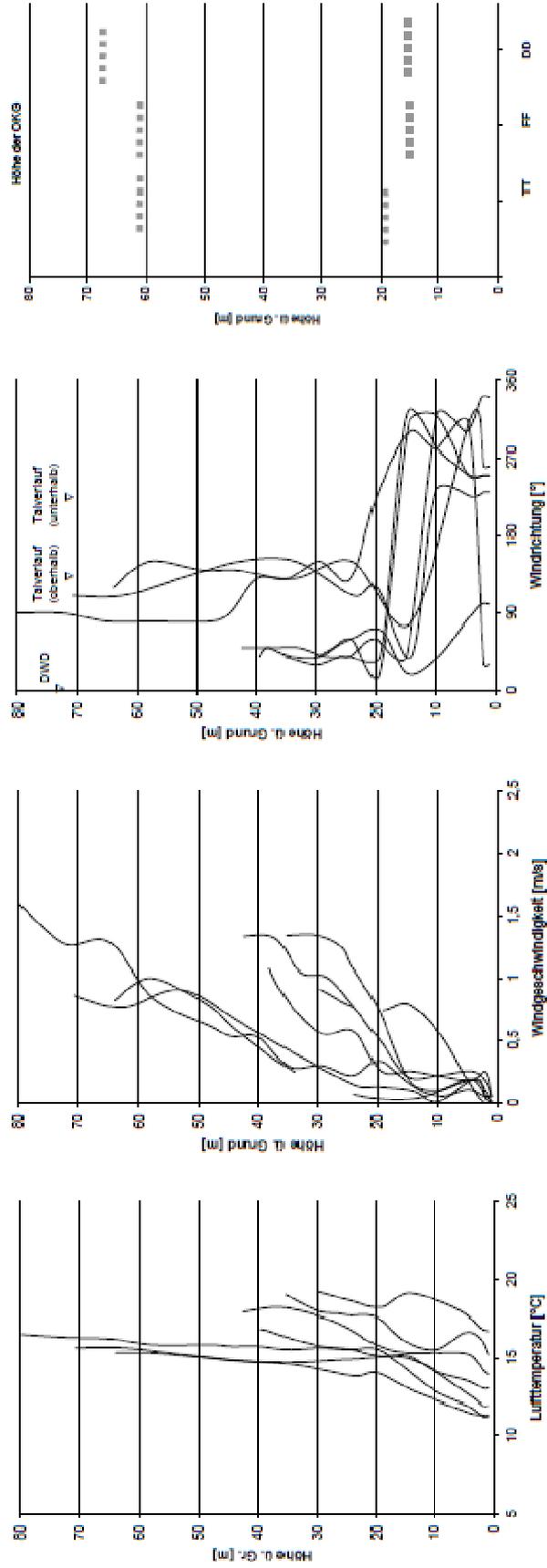


Abbildung 26j: Ergebnisse der Kleinsondenmessungen - Soers / Stadtgartnerlei - 4.5.89 20.00-0.30 Uhr



## **Anhang V. Erläuterungen zu den Rauchversuchen**

Erläuterung zu den Rauchgasversuchen vom 26.05.99

Standort Burtscheid

1. Zündpunkt: Hein-Görgen-Str. / Ecke Siegelallee 22:20 Uhr

Der Rauch bewegte sich mit geringer bis mäßiger Strömungsgeschwindigkeit in 0 bis 4m Höhe in nördlicher Richtung entlang der Hein-Görgen-Straße. Nach etwa 50 m Entfernung vom Zündpunkt breitete sich die Rauchwolke aus und bewegte sich diffus wahrnehmbar in der gleichen Richtung weiter.

2. Zündpunkt: Grünfläche am zukünftigen Luftmeßcontainer; 22:30 Uhr

Der Rauch stieg zunächst senkrecht auf und bewegte sich in einer Schicht von etwa 2 – 5 m Höhe in Richtung der Kleingärten. Dort sank der Rauch z.T. wieder bis in Bodennähe ab. Die Rauchwolke breitete sich im Bereich der Kleingärten in westlicher bis nördlicher Richtung aus und verlagerte sich langsam in Richtung Burtscheid Zentrum.

3. Zündpunkt: Malmedyer Str. / Ecke Siegelallee 22:45 Uhr

Der Rauch bewegte sich mit geringer bis mäßiger Strömungsgeschwindigkeit in 0 – 5m Höhe parallel zur Straße in nördlicher Richtung. Er war dort noch nach 150 – 200m wahrnehmbar.

4. Zündpunkt: Malmedyer Str., am Gymnasium; 22:50 Uhr

Auch hier bewegte sich der Rauch dem Gelände folgend straßenparallel in Richtung Burtscheid Zentrum. Die Strömungsgeschwindigkeit blieb dabei gering; der Rauch breitete sich zu einer Wolke von 0 – 8m Höhe aus, die sich nur sehr langsam verlagerte.

5. Zündpunkt: Malmedyer Str. Kapelle; 23:00 Uhr

Der Rauch bewegte sich zunächst in einer Höhe von 0 – 5 m langsam auf die Kreuzung zu. Dort wurde die Rauchwolke von einer turbulenten, scheinbar überregionalen Strömung erfaßt, der den größten Teil des Rauches mit geringer bis mäßiger Geschwindigkeit in die Heißebergstraße (hangaufwärts) verfrachtete. Die Rauchwolke, die dabei auf eine Mächtigkeit von über 10m angewachsen war, blieb einige Zeit in der Straßenschlucht liegen, bevor sie sich langsam aufzulösen begann.

Ein geringerer Teil des Rauches floß mit sehr geringer Strömungsgeschwindigkeit in etwa 4 – 6m Höhe über die Kreuzung hinweg weiter entlang der Malmedyer Straße.

Standort Lousberg, Purweider Feld

1. Zündpunkt: Wiese unterhalb des Wasserbehälters; 21:30 Uhr

Der Rauch bewegte sich mit mäßiger bis starker Strömung zunächst bodennah in nordöstlicher Richtung auf die Siedlung zu. Dabei wurde die Rauchfahne immer wieder von Turbulenzen erfaßt (scheinbar überregional bedingt), die den Rauch bis

in eine Höhe von 5m verwirbeln ließ. Mit abnehmender Strömungsgeschwindigkeit drang der Rauch schließlich in die Siedlung ein. Der Champierweg wurde nicht überströmt.

2. Zündpunkt: Champierweg, am unteren Ende der Wiesenfläche; 21:40 Uhr

In diesem Bereich war eine deutliche kühle Strömung wahrnehmbar. Die zuvor noch vorhandenen Turbulenzen waren jetzt nicht mehr vorhanden.

Vom Zündpunkt aus bewegte sich der Rauch bodennah (0 – 2m) mit mäßiger Strömungsgeschwindigkeit über den Champierweg auf das Gärtneriegelände. Dort breitete er sich aus (Höhe bis 4m) und bewegte sich langsam in nordöstlicher bis östlicher Richtung.

3. Zündpunkt: Champierweg, unterhalb der Gewächshäuser; 21:50 Uhr

Hier stieg der Rauch in einer schrägen Rauchsäule in Richtung Gärtneriegelände auf. Der breitete sich in einer Höhe von 2 – 5m aus und blieb bei nur geringer Bewegung in nordöstlicher bis östlicher Richtung längere Zeit auf dem Gelände liegen.

4. Zündpunkt: Wiese im westlichen Bereich (unterhalb Buchenallee); 22:00 Uhr

Der Rauch bewegte sich bodennah (bis 2m) mit ausgeprägter Strömungsgeschwindigkeit dem Gelände folgend hangabwärts. Eine vorhandene Baumreihe wurde im unteren Stammraum sofort durchströmt. Weiter unterhalb nahm die Geschwindigkeit nach und nach ab. Teile des Rauches wurden mit geringer Geschwindigkeit in einer Höhe von 0-5 m in den bebauten Bereich hinein verfrachtet; der größte Teil des Rauches floß jedoch langsam westlich an der Bebauung vorbei.

#### Standort Dorbachtal

1. Zündpunkt: am Dorbach; 20:55 Uhr

Der Rauch bewegte sich als zusammenhängende Wolke von 0 – 3 m Höhe (z.T. bis 5m Höhe) mit mäßiger Strömungsgeschwindigkeit zunächst bachparallel, später etwas mehr ostwärts.

2. Zündpunkt: Dorbach, am Ballonaufstiegsort; 21:05 Uhr

Der Rauch stieg bis in eine Höhe von 8-10 m auf und bewegte sich mit mäßiger Geschwindigkeit in Richtung Friedhofsgelände. Hier staute sich der Rauch zunächst vor dem dichten Gehölzbestand und breitete sich dort aus, sickerte dann aber in die Vegetation ein und bewegte sich langsam talabwärts durch den Friedhof.

3. Zündpunkt: Brachfläche am Dorbach; 21:10 Uhr

Der Rauch entwickelte sich nach der Zündung bis in eine Höhe von etwa 3m. Ein geringer Teil des Rauches floß bodennah in Talrichtung ab. Der größte Teil wurde jedoch mit mäßiger Strömungsgeschwindigkeit als kompakte Wolke in die Schrebergärten in nordwestlicher Richtung verfrachtet.

4. Zündpunkt: Wiese am Friedrichweg; 21:30 Uhr

Der Rauch zog bodennah (max. 2m hoch) mit sehr rascher Geschwindigkeit als geschlossener Verband dem Gelände folgend talabwärts.

5. Zündpunkt: unterhalb des Klosters; 21:40 Uhr

Der Rauch entwickelte sich in zwei Schichten. Die erste Schicht blieb bodennah in einer Höhe bis maximal 1m, die zweite Schicht entwickelte sich in 2 bis 10m Höhe. Beide Schichten zogen mit ausgeprägter Strömungsgeschwindigkeit jeweils als zusammenhängendes Band parallel zur Bahntrasse in nordöstlicher Richtung.

Standort Westbahnhof /Kopernikusstraße

1. Zündpunkt: Wiesenfläche neben den Parkplätzen im Südwesten der RWTH, 22:05 Uhr

Der Rauch bewegte sich sehr langsam abfließend in zwei Schichten. Ein geringer Teil des Rauches blieb bodennah in einer Höhe von maximal 50cm und floß in nordöstlicher Richtung entlang der Kopernikusstraße ab. Der größte Teil des Rauches breitete sich in einer Höhe von 3 – 5 m aus. Diese Wolke staute sich zunächst einige Minuten über dem Zündpunkt und bewegte sich dann (langsamer als die bodennahe Schicht) ebenfalls in entlang der Kopernikusstraße.

2. Zündpunkt: Wiesenfläche unterhalb der Kleingärten; 22:15 Uhr

Der Rauch bildete eine Schicht von 0 – 3m. Dabei stieg der Rauch am Zündpunkt zunächst etwa 1,5m senkrecht auf, sank aber kurz darauf wieder bis auf den Boden ab. Der Rauch wurde dann als breite Wolke mit ausgeprägter Strömungsgeschwindigkeit in Richtung Seffenter Weg verfrachtet. Der Rauch konnte in die Bebauung auf der gegenüberliegenden Straßenseite nicht eindringen und bewegte sich schließlich sehr langsam entlang des Seffenter Weges in südöstlicher Richtung. Im Bereich der Kreuzung Seffenter Weg/ Mies-van-der-Rohe-Str. kam es zur Stagnation.

3. Zündpunkt: Wiesenfläche vor dem Seffenter Weg; 22:25 Uhr

Der Rauch bildete zunächst eine Schicht von 1 bis 3m Höhe über Grund, die sich mit mäßiger Geschwindigkeit in Richtung Seffenter Weg bewegte. Vor der jenseits des Seffenter Weges befindlichen Bebauung kam es zu einem Stau, wobei die Wolke bis in eine Höhe von 8m anwuchs. Der Rauch zog schließlich parallel zum Seffenter Weg langsam in Richtung Kreuzung ab.

Standort Wildbachtal / Laurensberg

1. Zündpunkt: Wiesenfläche am Wildbach; 21:00 Uhr

Es entwickelte sich eine Rauchwolke von 0 – 5m , die in Richtung Osten mit einer geringen Strömungsgeschwindigkeit abfloß. Die Wolke teilte sich dann in zwei Schichten, wobei sich die untere Schicht absetzte und kaum weiterbewegte, die obere Schicht zog langsam weiter. Mit Erreichen des Gehöftes vor dem Bahndamm kam ein Teil der Rauchwolke zur Stagnation. Ein Teil des Rauches zog durch den

Viadukt in Richtung Osten weiter. Ein weiterer Teil überquerte den Bahndamm und zog entlang des Bahndammes in nordöstlicher Richtung weiter.

2. Zündpunkt: Schurzelter Straße, Freifläche gegenüber dem Gewerbegebiet; 21:10 Uhr

Die Rauchwolke zog mit mäßiger Strömungsgeschwindigkeit in zwei Schichten in Richtung Osten. Die bodennahe Schicht (bis 2m) bewegte sich entlang der Straße in Richtung Osten, die darüberliegende Schicht (bis 5m) zog leicht hangaufwärts über den Kindergarten hinweg.

3. Zündpunkt: Rathausstraße, Sportplatz; 21:30 Uhr

Die Rauchwolke stieg ohne gerichtete Bewegung bis in ca. 12m Höhe auf. Ein Teil des Rauches zog dann in Richtung Mittelstraße, blieb dort jedoch nach 20m stehen. Ein anderer Teil des Rauches zog in Richtung Bahndamm und floß dort langsam in nordöstlicher Richtung weiter.

4. Zündpunkt: Viadukt; 21:45 Uhr

Die Rauchwolke zog mit geringer Geschwindigkeit und einer Höhe von ca. 15m zuerst ostwärts, dann südostwärts. Ein kleiner Teil des Rauches bewegte sich bodennah (bis 2m) entlang der Rathausstraße. Der Geruch dieses Rauches war auch im weiteren Verlauf der Rathausstraße noch einige Zeit wahrnehmbar.

5. Zündpunkt: Schloßparkstraße, vor dem Wall; 22:00 Uhr

Der Rauch stieg ohne gerichtete Bewegung bis in etwa 20m Höhe auf. Die Rauchwolke blieb ohne erkennbare Strömungsrichtung zwischen den Häuserzeilen liegen.

Standort Eilendorf-Ost; Wolfsberg

1. Zündpunkt: (s. Karte); 22:15 Uhr

Der Rauch zog als zusammenhängendes Band (0 – 3m Höhe) mit einer ausgeprägten Strömungsgeschwindigkeit hangabwärts (Richtung Südwest)

2. und 3. Zündpunkt: (s. Karte); 22:20 Uhr / 22: 25 Uhr

Der Rauch floß mit ausgeprägter Strömungsgeschwindigkeit in Bodennähe (bis in eine Höhe von 3m) dem Gelände folgend in westlicher Richtung hangabwärts. Mit Erreichen der Bachniederung nahm der Rauch die Fließrichtung des Baches auf bewegte sich böschungsparell in nördlicher Richtung.

## Erläuterung zu den Rauchgasversuchen vom 31.03./01.04.99

Standort Dorbachtal/Senke

Durchführung am 31.03.99

1. Zündpunkt: Am Ballonaufstiegsort; 21:15 Uhr

Der Rauch wurde von einer pulsierenden Kaltluftströmung erfaßt. Zeitweilig stieg der Rauch zunächst senkrecht auf und wurde dann von der überregionalen Südost-Strömung erfaßt; bei einsetzender Kaltluftströmung wurde der Rauch in Bodennähe bachparallel verfrachtet. Die so gebildete breite Wolke verlagerte sich schließlich mit teils geringer, teils mäßiger Geschwindigkeit in nordöstlicher Richtung (Höhe der Rauchwolke 0-8m). Ein Teil des Rauches stagnierte im Bereich des Friedhofes, der größere Teil bewegte sich entlang des Dorbaches verfrachtet wo er im Bereich der nordöstlich gelegenen Brachfläche diffus wurde.

2 u. 3. Zündpunkt: Brachfläche; 21:25 Uhr / 21:30 Uhr

Im Bereich der Brachfläche, wo noch Reste der Rauchwolke aus der ersten Zündung wahrnehmbar waren, wurde erneut gezündet. Der Rauch stieg dabei fast vollständig senkrecht auf und wurde schließlich von der überregionalen Strömung erfaßt. Der Rauch bewegte sich als kompakte Wolke in 5-10m Höhe über die Kleingärten in nordwestlicher Richtung. Ein sehr schwach ausgeprägter bodennaher Abfluß war lediglich im direkten Bereich des Bachlaufes (Höhe < 1m) erkennbar. In gleicher Weise verhielt sich der Rauch auch am äußersten nordöstlichen Ende der Brachfläche. Reste des Rauches blieben jeweils auf der Brachfläche liegen.

4. Zündpunkt: unterhalb Kloster Marienheim; 21:50 Uhr

Der Rauch wurde von einer ausgeprägten Strömung erfaßt, die aus einer Verwirbelung des überregionalen Windes stammen könnte. Entgegen der erwarteten Strömungsrichtung bewegte sich der Rauch sehr rasch in einer breit auseinandergesogenen Wolke (ca. 2-10m hoch) in südwestlicher Richtung und überquerte schließlich im Bereich der Grenze zwischen Friedhof und Freiland den Bahndamm.

Zündungen auf den höher gelegenen Flächen waren aufgrund des überregionalen Südost-Windes nicht möglich.

Standort Westbahnhof/Kopernikusstraße

Durchführung am 31.03.99

1. Zündpunkt: Wiesenfläche neben den Parkplätzen im Südwesten der RWTH; 22:15 Uhr

Ein kleiner Teil des Rauches bewegte sich in Richtung Kopernikusstraße (bodennah bis 2m Höhe). Der größte Teil stieg zunächst senkrecht auf und bewegte sich dann als Wolke nach Norden zum Gebäudekomplex der RWTH. Die Wolke änderte hier mehrfach die Richtung, veränderte ihre Lage aber nicht mehr. Höhe der Rauchwolke 5-10m.

## 2. Zündpunkt: Wiesenfläche unterhalb der Kleingärten; 22:25 Uhr

Der Rauch stieg überwiegend senkrecht auf und wurde von der überregionalen Strömung erfaßt. Ein kleinerer Teil bewegte sich zuerst bodennah, später in 2 - 5m Höhe, in nördlicher Richtung auf die Kopernikusstraße zu, überquerte schließlich die Kopernikusstraße und den Parkplatz der RWTH und zog (nur noch diffus wahrnehmbar) in Richtung Güterbahnhof.

## 3. Zündpunkt: Wiesenfläche vor dem Seffenter Weg; 22:30 Uhr

Der Rauch stieg auf und breitete sich großflächig aus. Ein sehr kleiner Teil überquerte den Damm des Seffenter Weges (Strömungsrichtung NO), wobei auf der Grünfläche in der Nähe des Zündpunktes bodennah die Luft rauchfrei blieb. Strömungshöhe 2 - 5m.

Der größere Teil der Rauchwolke verlagerte sich nach einiger Zeit über die Kopernikusstraße in Richtung Güterbahnhof (Höhe 5-10m). Reste des Rauches blieben auf der Grünfläche liegen.

## Standort Laurensberg/Wildbachtal

Durchführung am 01.04.99

### 1. Zündpunkt: Wiesenfläche am Wildbach; 5:35 Uhr

Ein kleiner Teil des Rauches driftete bodennah (0 - 3m) in Richtung Viadukt. Der größte Teil des Rauches stieg zunächst weitgehend senkrecht auf, bildete eine ausgedehnte Wolke (in 5 - 15m Höhe), die sich langsam in Richtung Nordost (parallel zum Wildbach) verlagerte. Vor dem Hofgebäude wechselte sie die Richtung und verlagerte sich zum Viadukt. Die Rauchwolke änderte noch mehrmals ihre Richtung, bevor sie etwa 15 - 20 Minuten später den Viadukt durchströmte.

### 2. Zündpunkt: Schurzelter Straße, Freifläche gegenüber dem Gewerbegebiet; 5:45 Uhr

Etwa 2/3 des Rauches verlagerte sich mit geringer bis mäßiger Geschwindigkeit entlang der Schurzelter Straße. Das restliche Drittel zog direkt in das nördlich angrenzende Gewerbegebiet (0 - 8m Höhe). Der sich entlang der Schurzelter Straße bewegende Rauch bildete eine langgezogene Wolke (2 - 10m Höhe). Mit Erreichen der Wohnbebauung verlangsamte sich ihre Geschwindigkeit. Zunächst fast stagnierend sickerte der Rauch langsam in die Siedlung ein, überquerte dann im Bereich der Einmündung Wildbachstraße die Straße und bewegte sich in das nördlich angrenzende Wohngebiet. Kleinere Teile der langgezogenen Rauchwolke überqueren die Schurzelter Straße bereits vor Erreichen der Wohnhäuser.

## Laurensberg/Rathausstraße, Schoßparkstraße

### 3. Zündpunkt: Rathausstraße, Viadukt; 6:00 Uhr

Der Rauch bewegte sich mit mäßiger bis starker Geschwindigkeit entlang der Rathausstraße, wobei er zunächst eine Schicht von 0 - 4m Höhe, weiter unterhalb bis 10m Höhe einnahm. Aufgrund der starken Strömung wurde der Rauch relativ

schnell diffus. Er war aber noch bis kurz vor Erreichen der Kreuzung Roermonder Straße wahrnehmbar.

4. Zündpunkt: Schloßparkstraße, vor dem Wall; 6:15 Uhr

Der Rauch bewegte sich zunächst mit geringer Geschwindigkeit in Richtung Kreuzung Roermonder Straße. Vor Erreichen der Kreuzung breitete sich der Rauch in alle Richtungen aus und blieb ohne einheitliche Strömungsrichtung im Wesentlichen dort liegen.

Standort Haaren-Nord

1. Zündpunkt: Kreuzstraße, oberhalb der Siedlung; 6:40 Uhr

Der Rauch bewegte sich mit hoher Strömungsgeschwindigkeit entlang der Kreuzstraße und in die rechts angrenzende Bebauung. Zunächst wurde der Rauch bodennah verdriftet, weiter unterhalb auf der Kreuzstraße nahm er dann einen Bereich von 0 - 10m ein. Dieser Kuppenstandort wurde offenbar vom überregionalen Wind erfaßt (auf den darüber gelegenen Freiflächen war es windig). Im Bereich "Am Haarberg" war der Rauch nur noch diffus zu erkennen.

2. Zündpunkt: Kreuzstraße, oberhalb des Sportplatzes; 6:50 Uhr

Der Rauch stieg zunächst senkrecht auf, verlagerte sich dabei geringfügig ostwärts, bewegte sich dann aber als kompakte Wolke zurück zur Kreuzstraße. Hier zog sie mit einer Höhe von 0 - 10m sehr langsam zunächst hangaufwärts. Noch vor Erreichen der Kreuzung "Am Haarberg" driftete sie in die östlich angrenzende Bebauung, wo sie sich langsam verlor. Einige Rauchreste blieben im Bereich der Kreuzung liegen.

3. Zündpunkt: Kreuzstraße, an der Schule; 7:00 Uhr

Der Rauch stieg zunächst weitgehend senkrecht auf, verlagerte sich dann langsam in Richtung Schulhof, wo er sich flächig in 5 - 10m Höhe ausbreitete. Nach einiger Zeit verlagerte sich die Wolke langsam in Richtung Südwest (talabwärts).

Standort Lousberg, Purweider Feld

Durchführung am 01.04.99

1. Zündpunkt: westliche Wiesenfläche, oberhalb der Wohnbebauung; 21:00 Uhr

Der Rauch bewegte sich mit geringer Strömungsgeschwindigkeit in 0 - 5m Höhe in die nördlich angrenzende Wohnbebauung, wo er sich im Bereich der Gärten zu einer Rauchwolke ausbreitete, die sich nur noch langsam in nördlicher Richtung bewegte. Durch die Bebauung war der Sichtkontakt bald nicht mehr möglich.

2. Zündpunkt: Champierweg, unterster Punkt; 21:15 Uhr

Der Rauch bewegte sich in Bodennähe zunächst mit mäßiger Geschwindigkeit auf das Gelände der Gärtnerei. Dort bildete sich eine ausgedehnte Wolke mit einer Höhe von etwa 0 - 8m. Diese bewegte sich langsam in nordöstlicher Richtung in die dortige Wohnbebauung hinein.

3. Zündpunkt: Champierweg, Bereich Talbothof; 21:20 Uhr

Auch hier wurde der Rauch zunächst mit mäßiger Geschwindigkeit auf das Gelände der Gärtnerei verfrachtet. Wie bereits an dem unterhalb gelegenen Zündpunkt bildete sich wiederum eine ausgedehnte Wolke, die sich langsam in nordnordöstlicher Richtung bewegte.

4. Zündpunkt: Wiesenfläche, unterhalb Wbh., 21:30 Uhr

Der größte Teil des Rauches zog in einer Höhe von 0 - 4m in nordöstlicher Richtung über den Champierweg zum Gärtnereigelände. Ein geringer Teil des Rauches zog in fast nördlicher Richtung auf die dortige Wohnbebauung zu.

Standort Eilendorf-Ost; Wolfsberg

Durchführung am 01.04.99

1. Zündpunkt: Am Haarbach; 21:50 Uhr

Der Rauch stieg senkrecht auf, breitete sich großflächig aus und sickerte schließlich mit geringer Geschwindigkeit in nordwestliche Richtung.

2. Zündpunkt: (s. Karte); 22:00 Uhr

Der Rauch bewegte sich zu gleichen Teilen jeweils mit mäßiger bis starker Strömungsgeschwindigkeit dem Gelände folgend (0 - 4m Höhe) bzw. durch den überregionalen Wind beeinflusst in nordwestlicher Richtung (2 - 10m Höhe).

3. und 4. Zündpunkt: (s. Karte); 22:10 Uhr / 22:15 Uhr

Der Rauch bewegte sich mit mäßiger bis starker Geschwindigkeit dem Relief folgend. Es entwickelte sich ein langgezogener Rauchstreifen mit einer Höhe von etwa 0 - 5m. Eine weitere Zündung in Verlängerung der Zugbahn kurz vor Erreichen des Bachlaufes ergab hier eine Änderung der Zugrichtung parallel zum Haarbach. Der Rauch fiel dabei z.T. in das tief ausgeschnittene Bachtal hinein, teilweise blieb er auf der Höhe des Geländes, so daß sich eine recht hohe Rauchwolke von etwa 0 - 15 m über dem Bachniveau ergab. Auch hier war noch eine mäßige Strömungsgeschwindigkeit zu erkennen.

Abbildung 28a:

Rauchgasversuch, Burtscheid am 26. Mai 1999

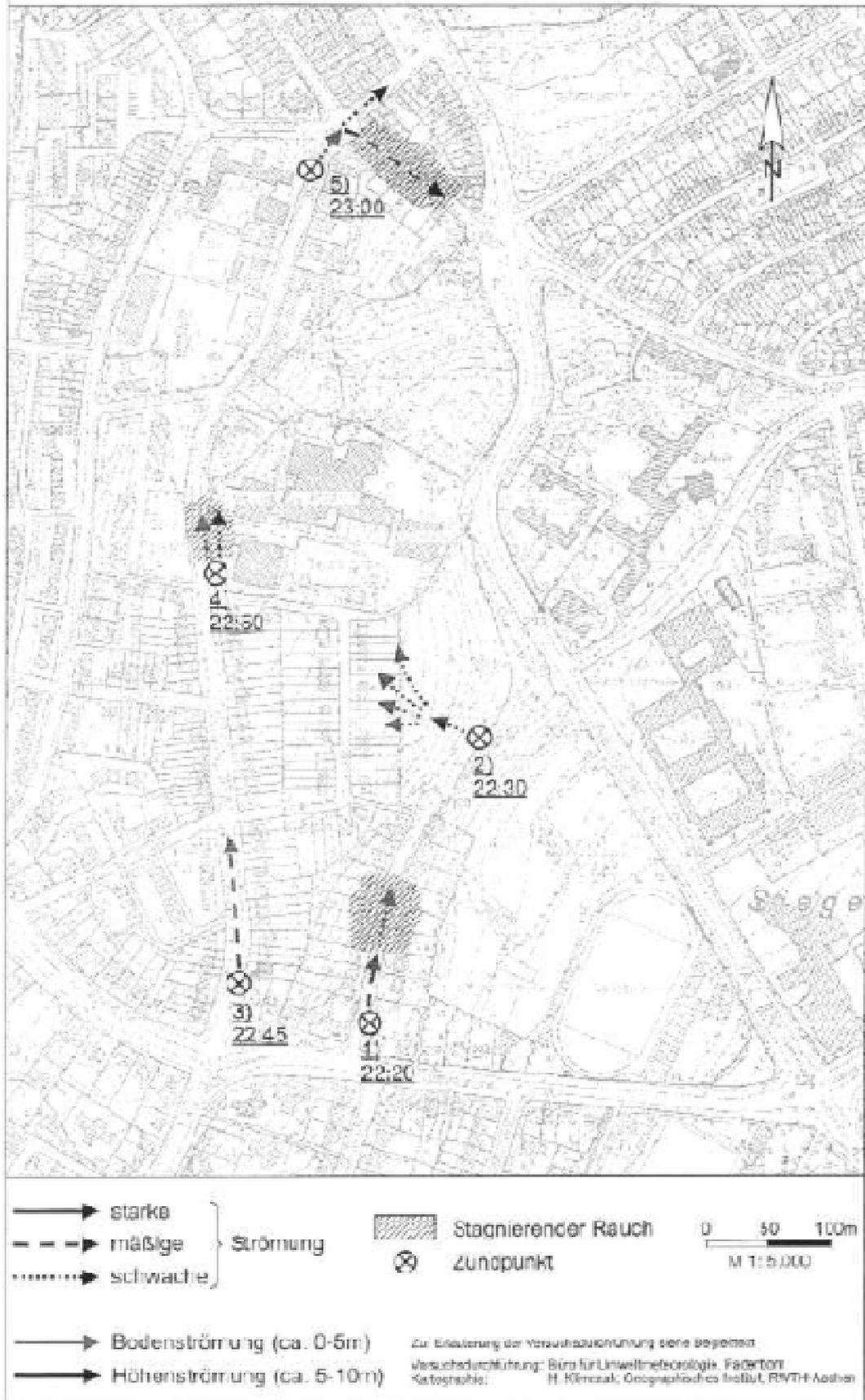
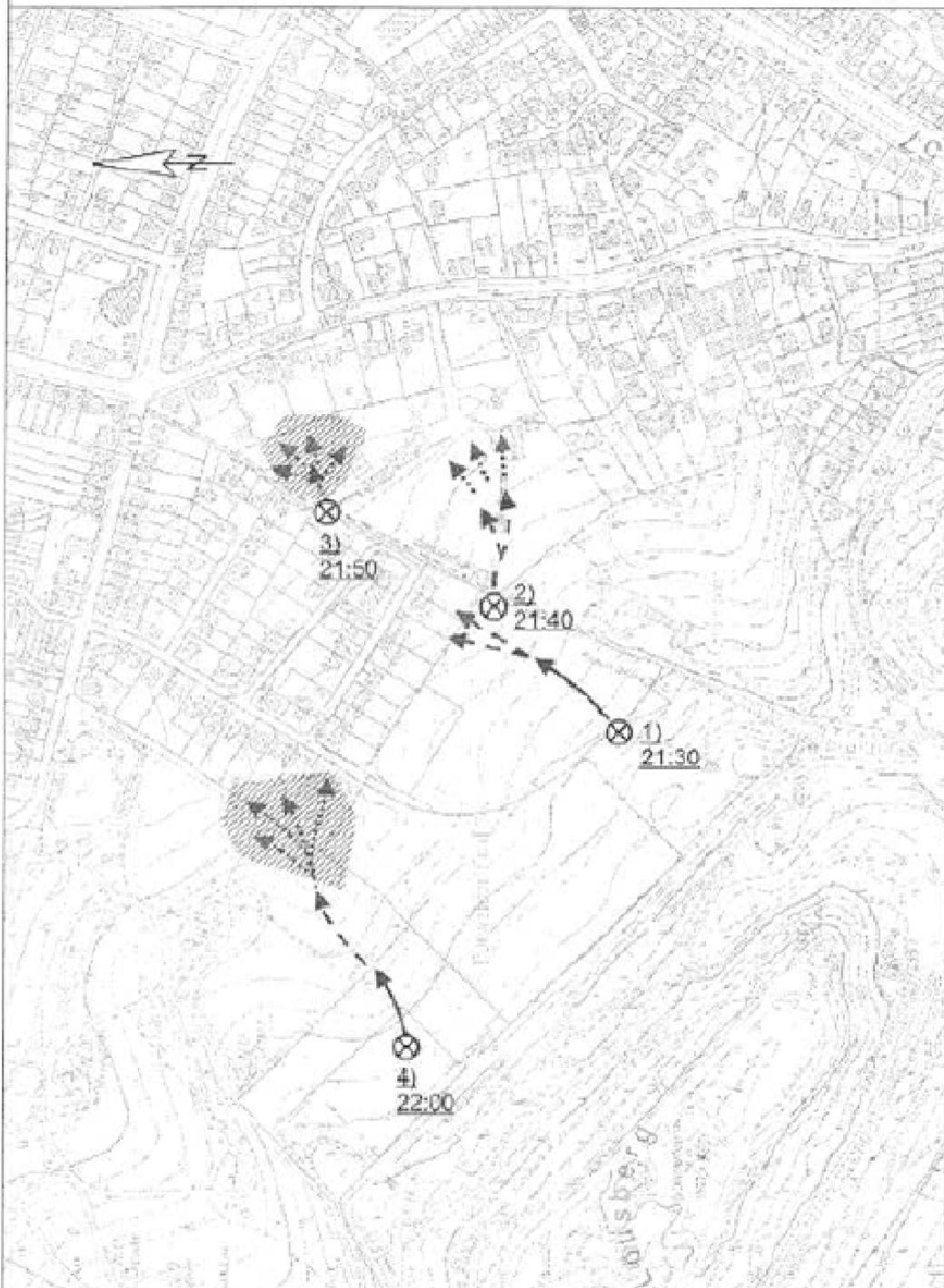


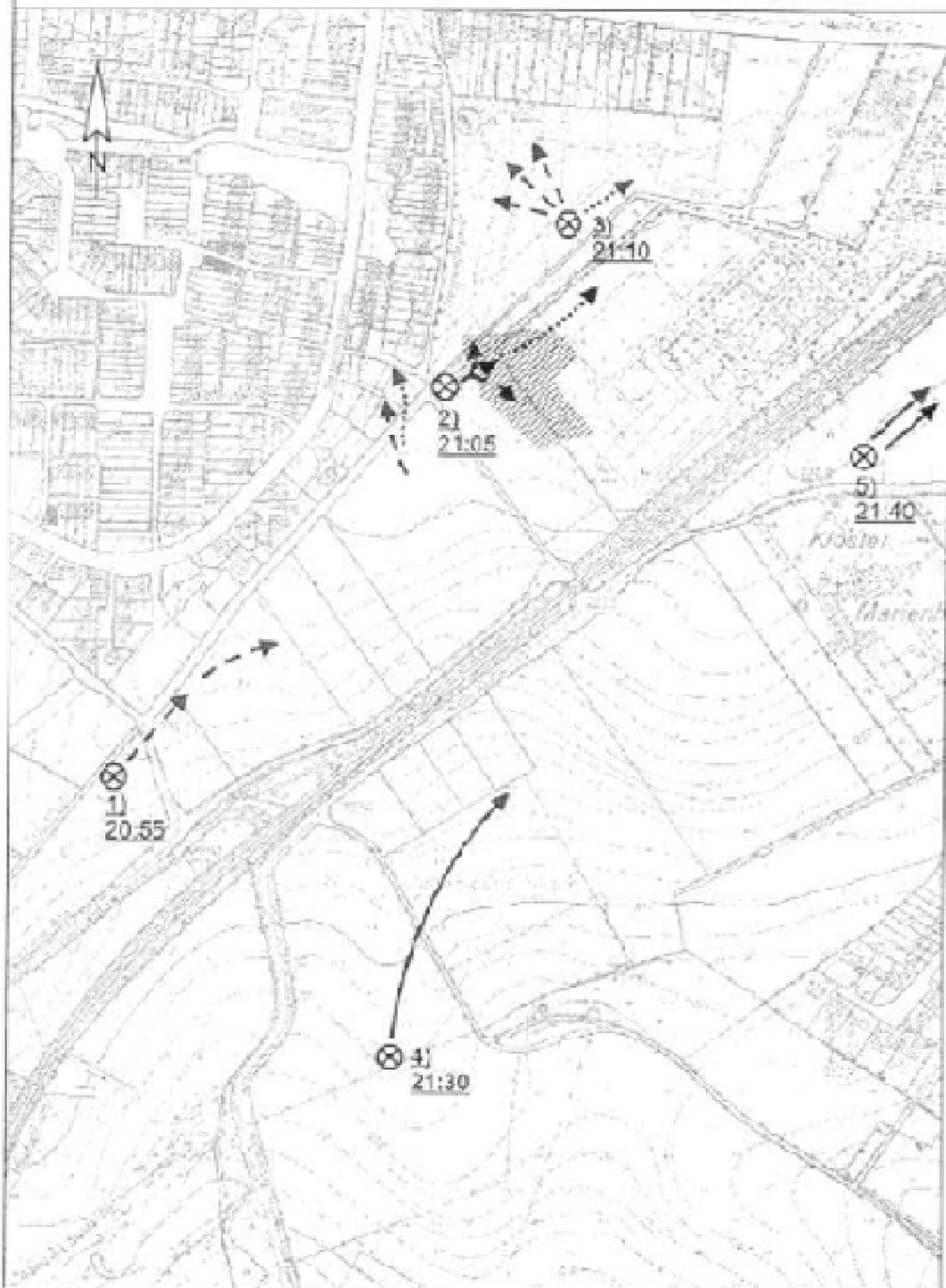
Abbildung 28b:  
Rauchgasversuch, Lousberg-Purweider Feld am 26. Mai 1999



<ul style="list-style-type: none"> <li>—→ starke</li> <li>- - -→ mäßige</li> <li>.....→ schwache</li> </ul>	}	Strömung	<div style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background: repeating-linear-gradient(45deg, transparent, transparent 2px, black 2px, black 4px); border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> Stagnierender Rauch	0    50    100m M 1: 5.000
<ul style="list-style-type: none"> <li>—→ Bodenströmung (ca. 0-5m)</li> <li>—→ Höhenströmung (ca. 5-10m)</li> </ul>			<div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; border-radius: 50%; text-align: center; line-height: 15px; margin-right: 5px;">X</div> Zündpunkt	
<p style="font-size: small;">Zur Erläuterung der Versuchsdurchführung siehe Begleittext          Versuchsdurchführung: Büro für Umweltmeteorologie, Paderborn          Kartographie: H. Klimczak, Geographisches Institut, RWTH-Aachen</p>				

Abbildung 28c:

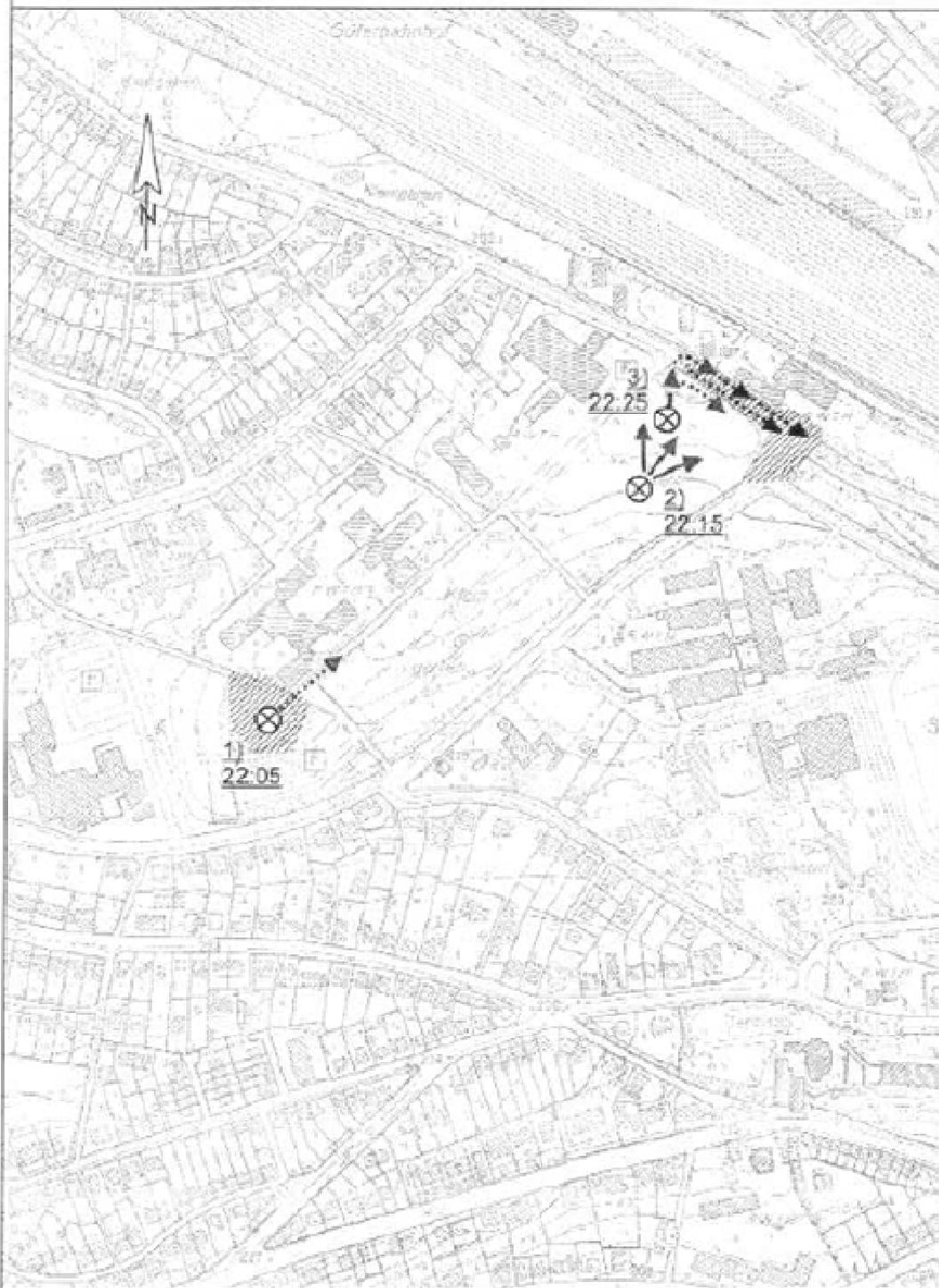
Rauchgasversuch, Dorfbachtal am 26. Mai 1999



<ul style="list-style-type: none"> <li>—→ starke</li> <li>- - -→ mäßige</li> <li>.....→ schwache</li> </ul>	} Strömung	Stagnierender Rauch	Zündpunkt	0 50 100m M 1: 5.000
<ul style="list-style-type: none"> <li>—→ Bodenströmung (ca. 0-5m)</li> <li>—→ Höhenströmung (ca. 5-10m)</li> </ul>		Zur Erklärung der Versuchsdurchführung siehe Begleittext Versuchsanleitung: Büro für Umweltschutz, Passau Kartographie: H. Kimmig, Geographisches Institut, RWTH Aachen		

Abbildung 28d:

Rauchgasversuch, Westbahnhof/Kopernikusstraße am 26. Mai 1999

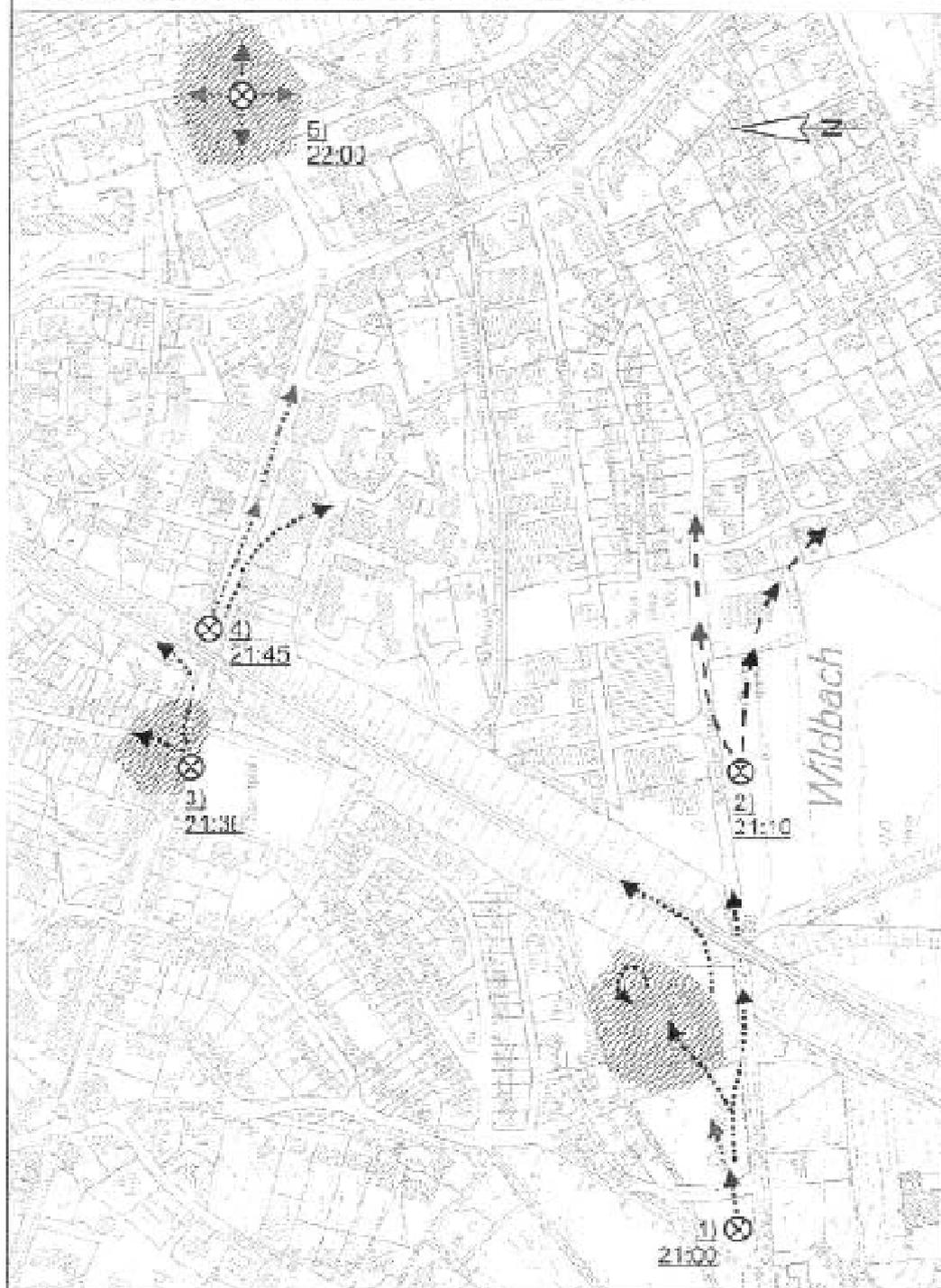


- > Bodenströmung (ca. 0-5m)
- > Höhenströmung (ca. 5-10m)

Zur Erläuterung der Versuchsdurchführung siehe Begleitend  
 Versuchsdurchführung: Büro für Umweltpolitik, Paderborn  
 Kartographie: H. Künzler, Geographisches Institut, RWTH-Aachen

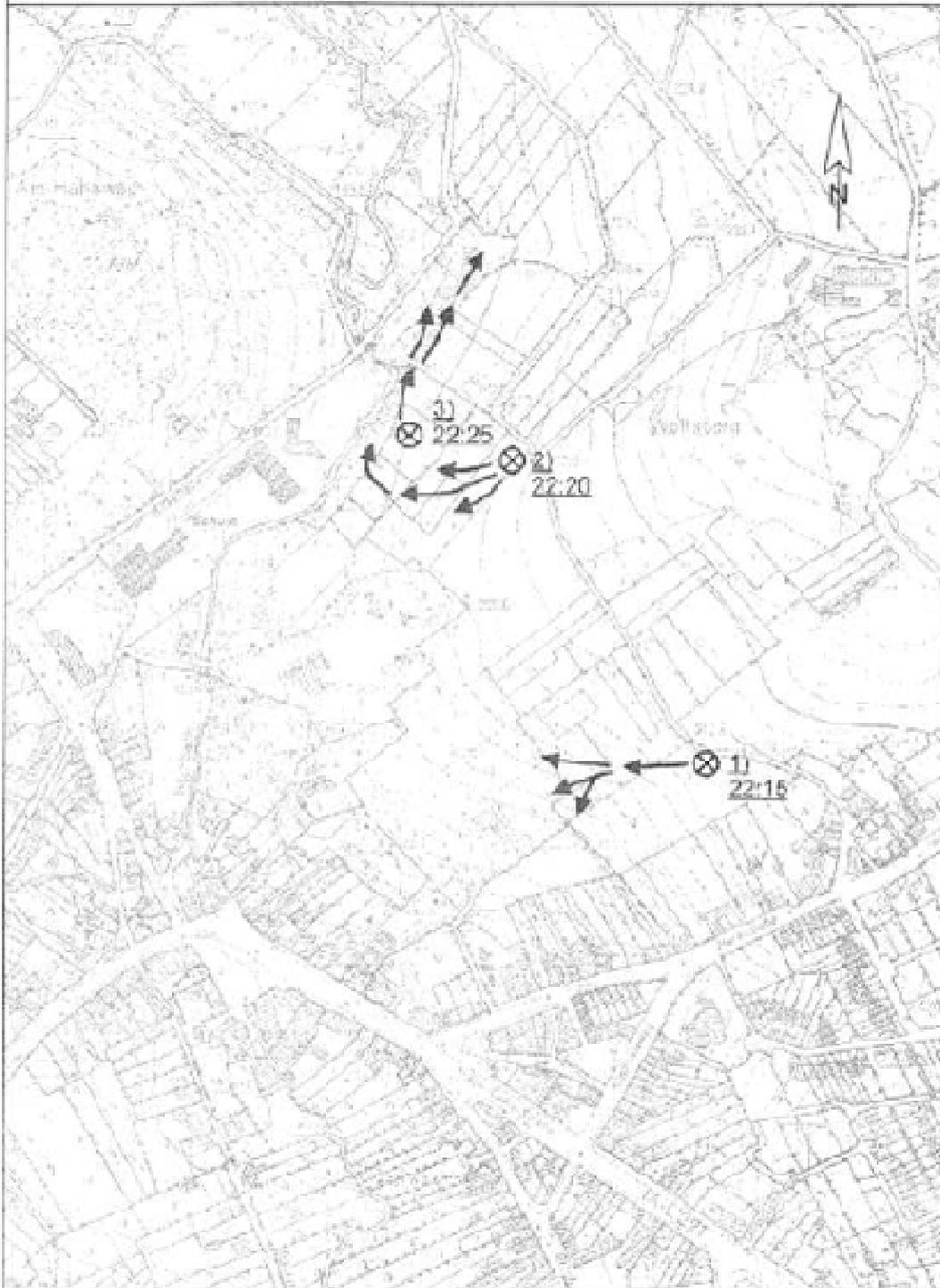
Abbildung 28e:

Rauchgasversuch, Laurensberg am 26. Mai 1999



<p>  starke   mäßige   schwache                 </p>	<p>  Strömung                 </p>	<p>  stagnierender Rauch   Zündpunkt                 </p>	<p>                     0 50 100m                      M 1:5.000                 </p>
<p>  Bodenströmung (ca. 0-5m)   Höhenströmung (ca. 5-10m)                 </p>	<p>                     Zur Erläuterung der Versuchsdurchführung siehe Begleittext                      Versuchsleitung: Büro für Umweltemeteorologie, Passabum                      Kartographie: K. Klimczak, Geographisches Institut, DWTU-Leoben                 </p>		

Abbildung 28f:  
Rauchgasversuch, Elländer-Ost-Wolfsberg am 26. Mai 1999



—————> starke  
 - - - - -> mäßige  
 .....> schwache

} Strömung

[hatched] Stagnierender Rauch  
 ⊗ Zündpunkt

0 50 100m  
 M 1: 5.000

—————> Bodenströmung (ca. 0-5m)  
 —————> Höhenströmung (ca. 5-10m)

Zur Erläuterung der Versuchdurchführung siehe Begleitband  
 Versuchsdokumentation: Euro für Umweltsanalogie Hazardam  
 Kartographie: H. Hübner, Geographisches Institut, RWTH-Aachen

Abbildung 28g:

Rauchgasversuch, Dorfbachtal-Senke am 31. März 1999

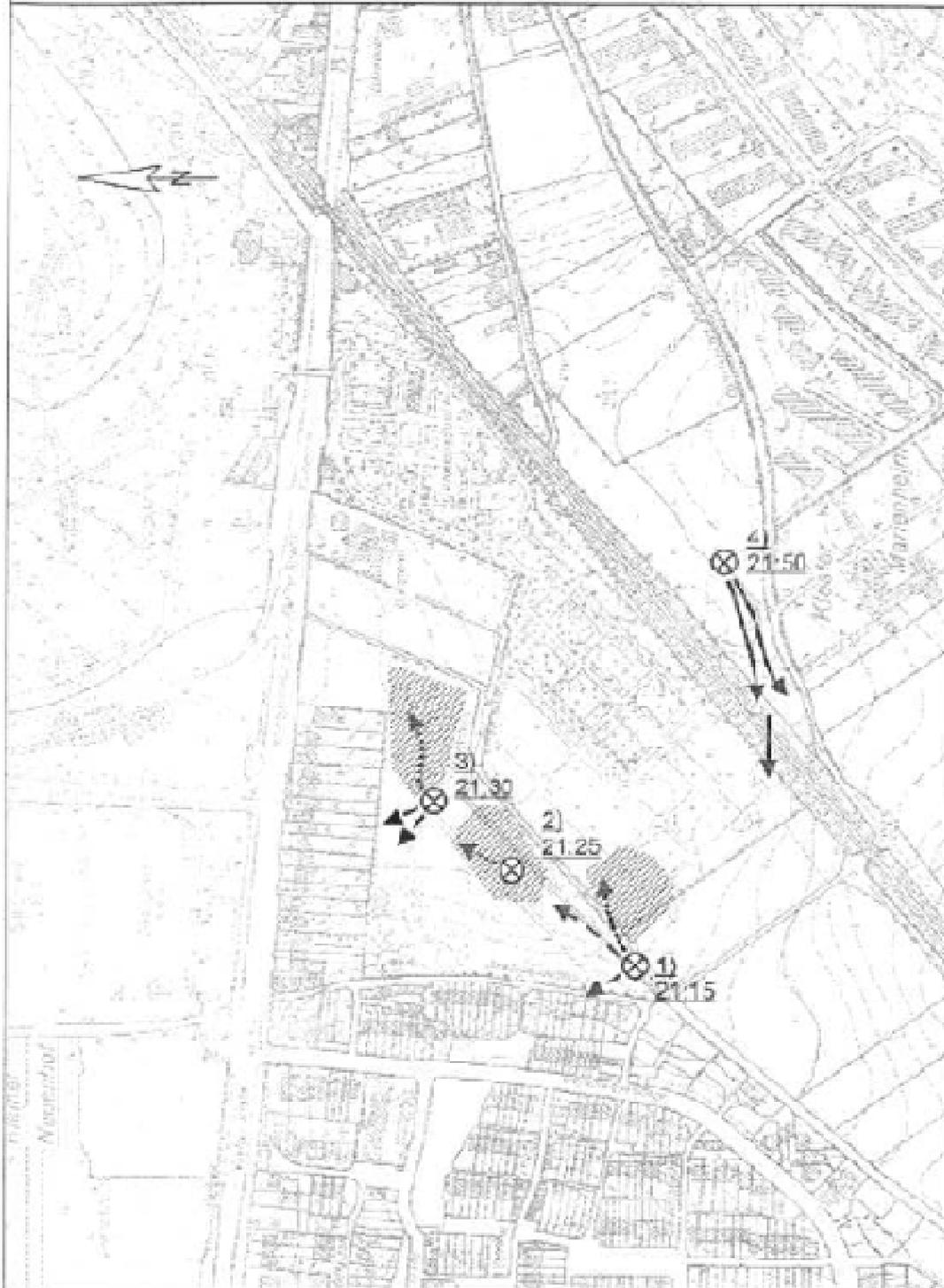
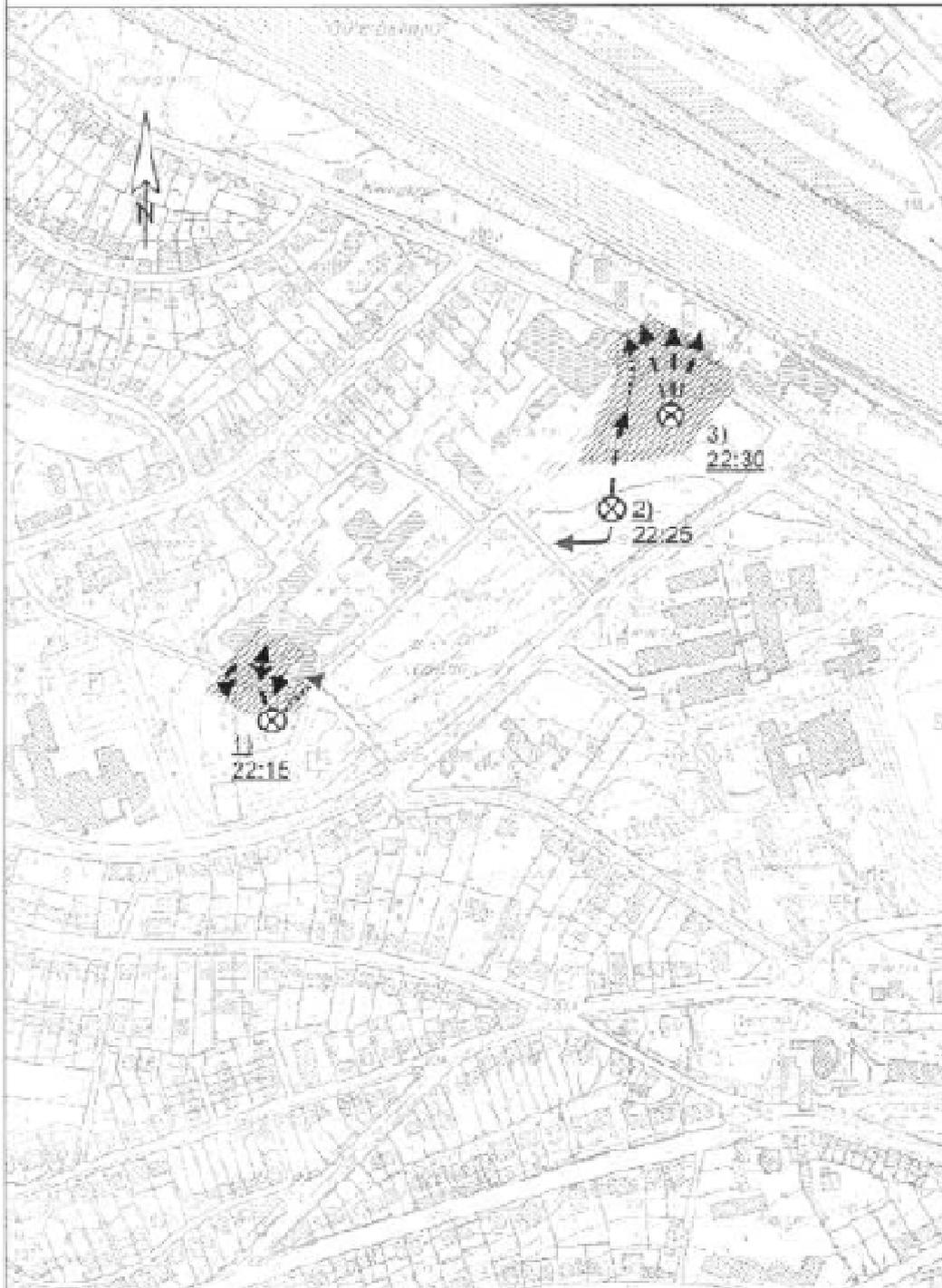


Abbildung 28h:

Rauchgasversuch, Westbahnhof/Kopernikusstraße am 31. März 1999



- starke
  - - -→ mäßige
  - .....→ schwache
- } Strömung

- Stagnierender Rauch
- Zündpunkt

0 50 100m  
M 1:5.000

- Bodenströmung (ca. 0-5m)
- Höhenströmung (ca. 5-10m)

Zur Erläuterung der Versuchsdurchführung siehe Beigilität  
 Versuchführung/Anlage: BGU für Umweltmeteorologie, Peterborn  
 Meteorologie: H. Kleinertz, Geographisches Institut, RWTH-Aachen

Abbildung 28i:

Rauchgasvortuch, Laurensberg am 01. April 1993

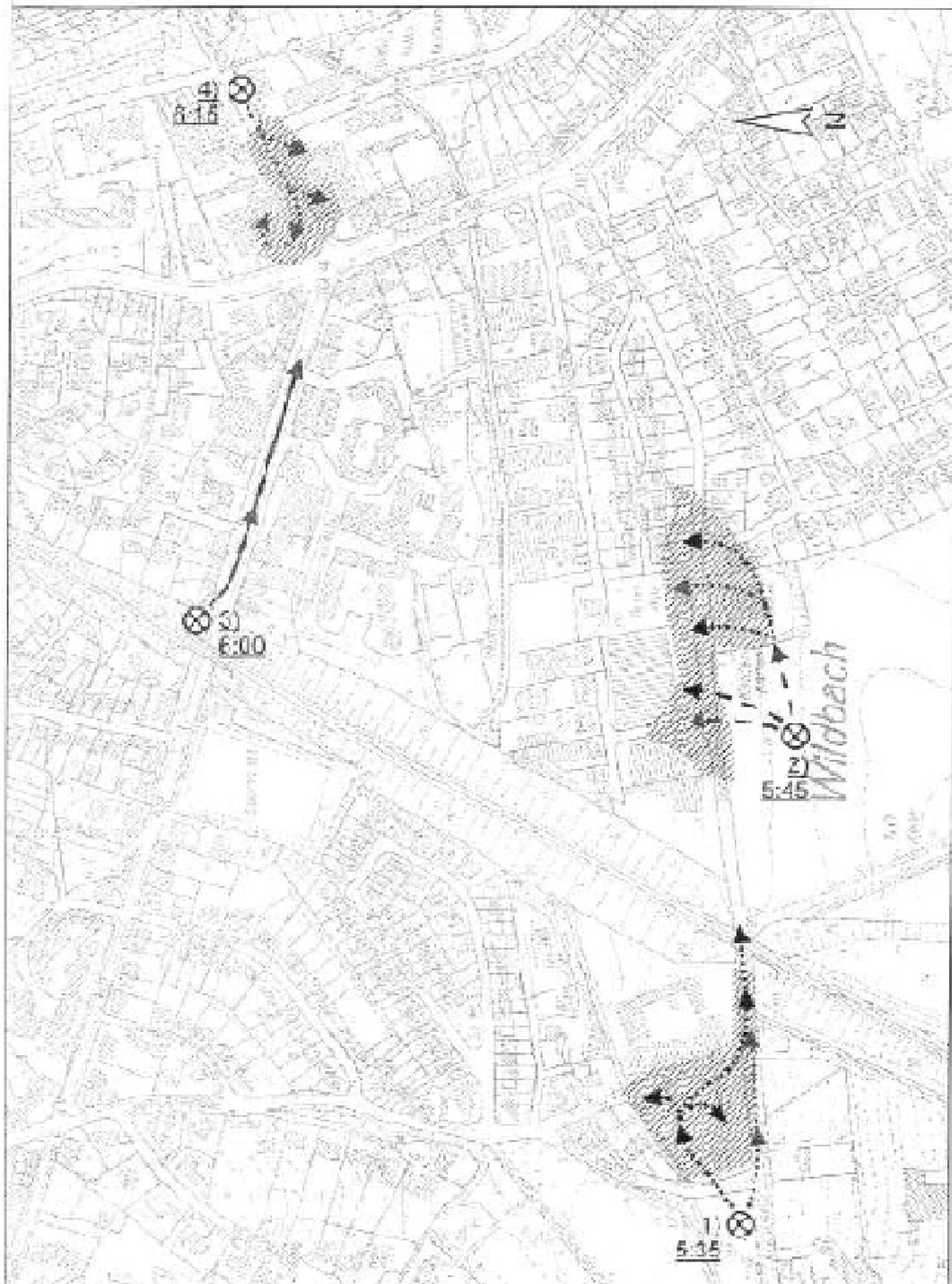
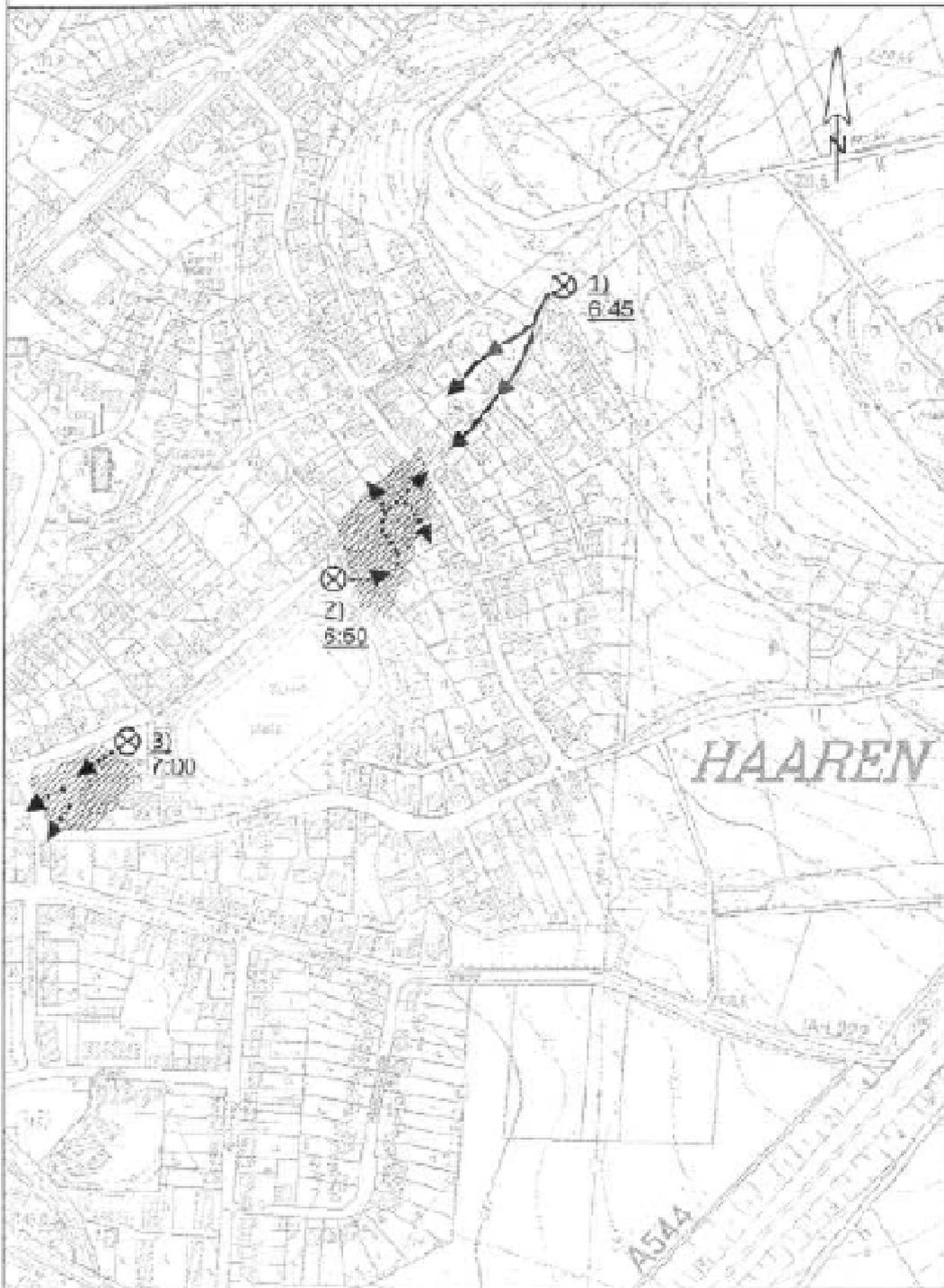


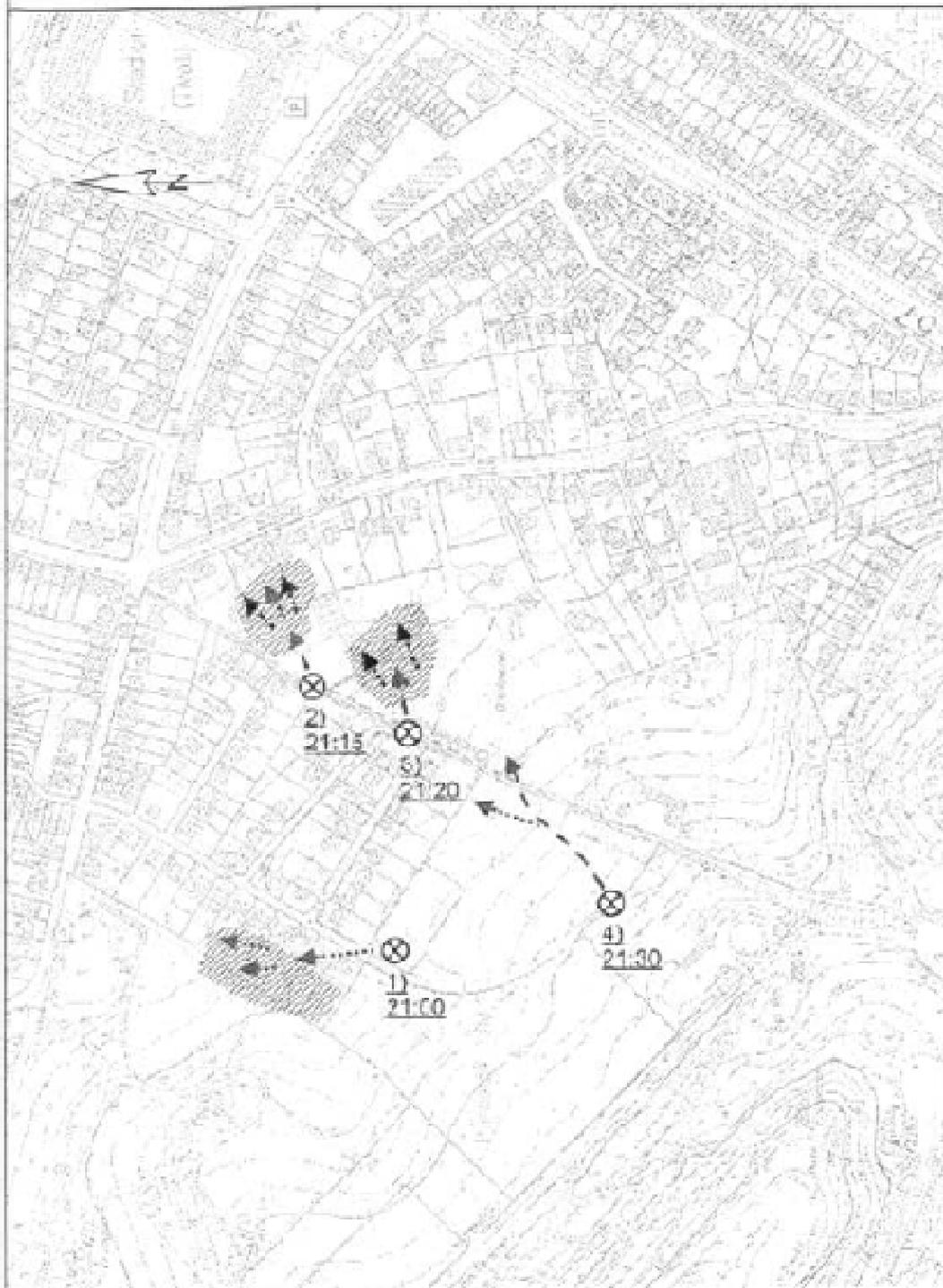
Abbildung 28j:  
Rauchgasversuch, Haaren-Nord am 01. April 1999



<ul style="list-style-type: none"> <li>—▶ starke</li> <li>- - -▶ mäßige</li> <li>⋯▶ schwache</li> </ul>	} Strömung	Stagnierender Rauch	0 50 100m M 1: 5.000
		Zündpunkt	
<ul style="list-style-type: none"> <li>—▶ Bodenströmung (ca. 0-5m)</li> <li>—▶ Höhenströmung (ca. 5-10m)</li> </ul>		Zur Erläuterung der Versuchsdurchführung siehe Begleittext Versuchsdurchführung: Büro für Umwelteinwirkung, Paderborn H. Klemm, Geographisches Institut, RWTH-Aachen	

Abbildung 28k:

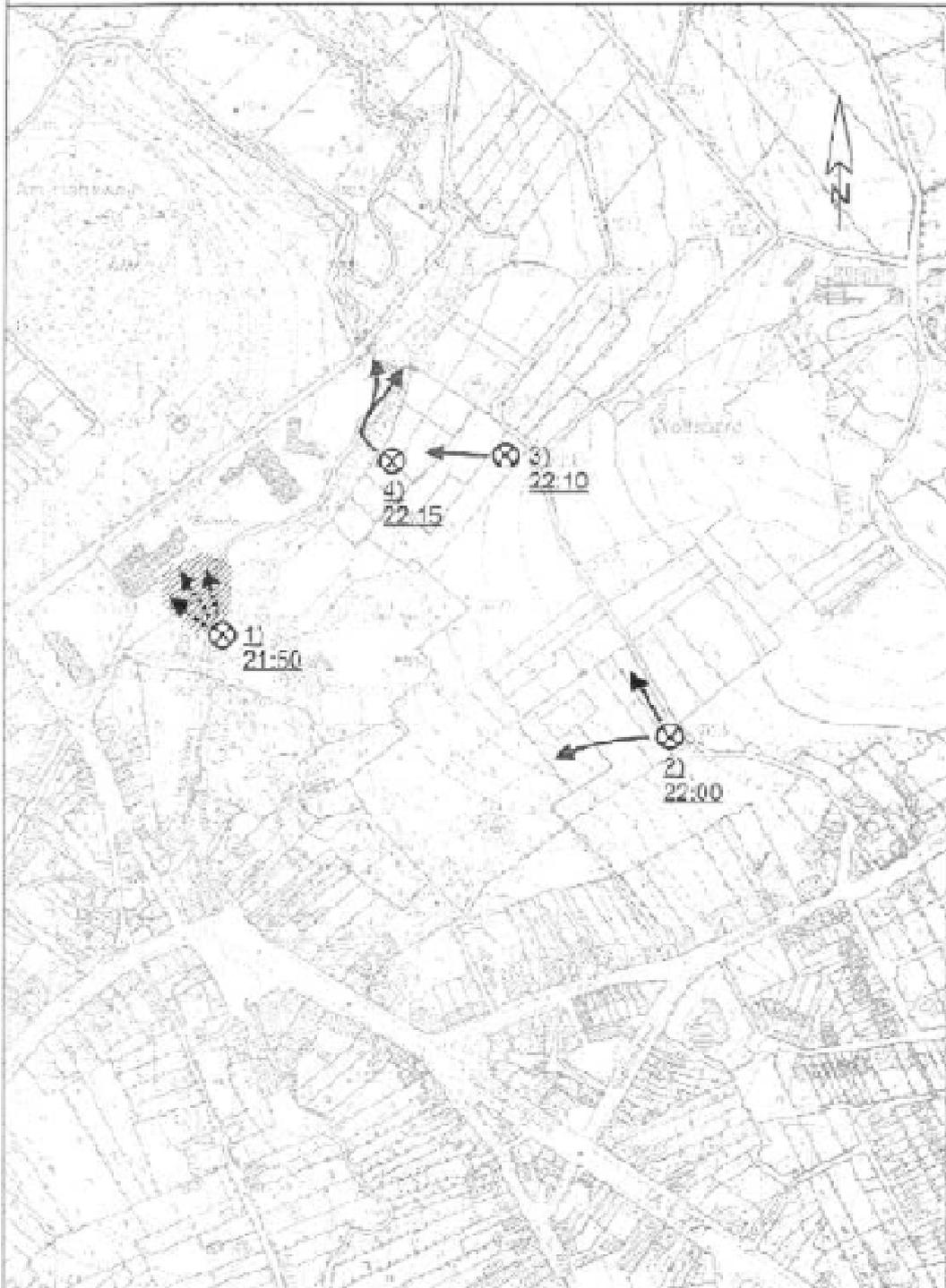
Rauchgasversuch, Lousberg-Purweider Feld am 01. April 1999



<p>  starke   mäßige   schwache                 </p>	<p>  Stagnierender Rauch   Zündpunkt                 </p>	<p>                     0 50 100m                      M 1: 5.000                 </p>
<p>  Bodenströmung (ca. 0-5m)   Höhenströmung (ca. 5-10m)                 </p>	<p>                     Zur Erläuterung der Messwerte siehe Anlage 1                      Messungsort: Büro für Umweltökologie, Fachbereich                      Meteorologie, Geographisches Institut, RWTH Aachen                 </p>	

Abbildung 281:

Rauchgasversuch, Ellendorf-Ost-Wolfsberg am 01. April 1999



- ▶ starke
  - - -▶ mäßige
  - .....▶ schwache
- } Strömung



Stagnierender Rauch



Zündpunkt



- ▶ Bodenströmung (ca. 0-5m)
- ▶ Höhenströmung (ca. 5-10m)

Zur Erläuterung der Versuchsdurchführung siehe Begleittext  
Versuchsdurchführung: Büro für Umweltmeteorologie, ForderON  
Kartographie: H. Klemm, Geographisches Institut, RWTH Aachen

Achtung: Leerseite

## Anhang VI. Erläuterungen zur Thermalscannerbefliegung

System- und Aufnahmeparameter der Thermalscannerbefliegung Aachen

Größe	Wert	Bemerkung
Aufnahme	Abendaufnahme Morgenaufnahme	23.09.98 / 19:55 bis 21:02 Uhr MESZ 24.09.98 / 05:27 bis 06:47 Uhr MESZ
System, Aufnahme- plattform	Thermalscanner Cessna 208 Turbo- Prop Flugführungssystem	DAEDALUS AADS 1250 Flugfirma: Rheinbraun AG, Köln Global Positioning System (GPS)
Befliegungsgebiet (Breite, Länge)	20 km x 30 km	Stadtgebiet Aachen und Um- gebung
Anzahl Flugstreifen, Querüberlapp	7 / 40 %	Beginn jeweils mit dem westlich- sten Streifen
Flughöhe	ca. 3000 m	über Grund; Bezugshöhe 350 m ü. NN.
Geometrische Auflö- sung	ca. 7,5 m	Größe eines Bildelementes im Nadir
Radiometrische Auf- lösung	ca. 0,1 K	8 Bit Datenaufzeichnung
Aufnahmekanal (Wel- lenlänge)	8 - 14 $\mu$ m	thermisches Infrarot

## **Anhang VII. Erläuterungen zur Radarbefliegung**

### **Einleitung**

Die Bedeutung der Oberfläche für die Ausprägung des Mikroklimas ist evident. Sie resultiert aus der engen physikalischen Wechselwirkung zwischen Boden, unterer Luftschicht und den durch Relief, Nutzung und Rauigkeit bedingten thermodynamischen Prozessen.

Die Radaraufnahme liefert flächendeckende, hochauflösende Daten der Oberfläche. Mikrowellenpulse werden vom Flugzeug aus zur Seite und schräg nach unten abgestrahlt. An der Erdoberfläche reflektierte Radar-Echos werden entlang des Flugweges empfangen und als Rohdaten aufgezeichnet. Ein Radarbild (aus der Rückstreuung) wird als schwarz-weißes „Intensitätsbild“ digital erzeugt und gespeichert. Beim interferometrischen Radar wird nun eine zweite Empfangsantenne für die Radarechos installiert. Sie ist quer zur Flugrichtung gegenüber der ersten Antenne um etwa 1 - 1,5 m versetzt am Flugzeugrumpf angeordnet. Durch den unterschiedlichen Abstand beider Antennen zur Erdoberfläche entsteht eine minimale Laufzeitdifferenz der Radar-Echos. Dieser Versatz ist als Phasenverschiebung der Signale meßbar, welche bei der Datenverarbeitung in Höhenunterschiede der Oberfläche umgerechnet wird.

Die für Aachen durchgeführte Befliegung lieferte neben dem Intensitätsbild auch ein Höhenbild. Aus diesen Daten wurden nach digitaler Bildverarbeitung zwei Produkte abgeleitet:

- Orthorektifiziertes Radarbild, gewonnen aus den Rückstreudaten (Intensitätsbild).
- Digitales Höhenmodell, gewonnen aus den interferometrisch prozessierten Höheninformationen.

Digitales Höhenmodell und orthorektifiziertes Radarbild werden zu flächendeckenden Landschaftsmodellen kombiniert. Als Rasterdatensatz erhält hierin jeder einzelne Bildpunkt sowohl die zugehörige Höheninformation als auch den Radarrückstreuungswert als Helligkeit (Intensität) des jeweiligen Bildelements. Besonders in der Landschaftsinventur von offenen- und Siedlungsflächen der Siedlungsumgebung verbucht das Verfahren mit interferometrischem Radar klare Vorteile gegenüber den auf „normalem Weg“ gewonnenen Karten: Höhenlinien sind in traditionellen Karten lediglich aus Netzen von Meßpunkten (photogrammetrisch und am Boden gewonnen) interpoliert. Feine Reliefdetails wie Geländekanten und flache Mulden können sie meist nicht in ihrem realistischen Verlauf wiedergeben und sie erreichen nicht die, etwa für Klimasimulationen, nötige Höhengenaugigkeit. Beides leistet die Radartechnik.

In einem weiteren Schritt kann aus den Radarbildern mit Hilfe spezieller Bildverarbeitung die Flächennutzung kartiert werden. Interferometrische Radardaten enthalten dazu alle Informationen, wie die exakte, dreidimensionale Darstellung von Bäumen und Einzelgehölzen im Gelände oder kleinräumlich wechselnde Nutzung in

Hausgärten im Siedlungsrandbereich. Solche Informationen sind üblicherweise nicht oder nur mit unverhältnismäßigem Aufwand zu kartieren.

### Datenaufnahme

Für die Radarbefliegung Aachen wurde das System "STAR-3i" der kanadischen Firma Intermap, Ottawa eingesetzt. Das Aufnahmegebiet entspricht dem der Thermalaufnahmen. Die Aufnahmen fanden im Rahmen einer umfangreichen Flugmission in Nordrhein-Westfalen in der Zeit zwischen dem 21.07.98 und dem 31.07.98 statt.

System- und Aufnahmeparameter der Radarbefliegung Aachen

Größe	Wert	Bemerkung
<b>Aufnahme</b>	<b>Juli 1998</b>	<b>bei (nahezu) jedem Wetter möglich</b>
<b>System, Aufnahmeplattform</b>	<b>IFSARE  LEAR Jet 36 Flugführungssystem</b>	<b>Interferometric Synthetic Aperture Radar for Elevation: "STAR-3i", Intermap, Ottawa (Kanada)  Flugfirma: Intermap, Ottawa (Kanada) Differential Global Positioning System (DGPS); Inertial Navigation System (INS)</b>
<b>Befliegungsgebiet (Breite, Länge)</b>	<b>20 km x 30 km</b>	<b>Stadtgebiet Aachen und Umgebung</b>
<b>Anzahl Flugstreifen, Segmente</b>	<b>20 / 60</b>	<b>für die Datenverarbeitung Aufteilung jedes Flugstreifens in 3 Segmente</b>
<b>Flughöhe</b>	<b>ca. 6.100 m</b>	<b>über Grund</b>
<b>Geometrische Auflösung horizontal</b>	<b>ca. 2,5 m</b>	<b>Größe eines Bildelementes im Nadir</b>
<b>Geometrische Auflösung vertikal</b>	<b>ca. 1,0 m</b>	<b>Höheninformation</b>
<b>Aufnahmekanal (Wellenlänge)</b>	<b>X-Band (3 cm), C-Band (5 cm)</b>	<b>Mikrowellen (Radar)</b>

### Digitales Höhen- und Geländemodell

Die „interferometrische“ Datenverarbeitung erzeugt ein hochauflösendes dreidimensionales Rasterbild. Für jeden Bildpunkt wird die exakt berechnete Höhe ü. N.N. angegeben. Ein flächendeckendes digitales Höhenmodell zeigt feinste Details von Relief, Gebäuden und Baumbewuchs. Die Genauigkeit der Höheninformation wird von der Signalqualität des Radar-Echos bestimmt und reicht von wenigen Dezimetern (Gebäude, Straßen, Felder) bis zu ca. 1,5 Metern (Baumkronen).

Für das Stadtgebiet von Aachen wurde ein Datensatz erzeugt, der die Höhenstrukturen mit einer räumlichen Auflösung von 2,5 m und einer mittleren vertikalen Auflösung von 1 m enthält. Um daraus die Nutzungshöhen (Gebäude, Vegetation) abzuleiten, muß die Geländehöhe (Relief) subtrahiert werden. Dies geschieht durch Festlegung von Basishöhen in freien, unbebautem Gebiet. Es entstehen damit getrennte Datensätze zum Relief (digitales Geländemodell) und zur Rauigkeit. Diese Daten sind in die Analyse des Lokalklimas eingeflossen.

## **Flächenutzungskartierung**

Radarbilder geben die Siedlungslandschaft nicht wie ein Luftbild wieder, sondern setzen die Radar-Echos von Gebäuden und Bewuchs in Radar-Bildsignaturen, in sehr spezifische Pixelmuster (Muster unterschiedlich heller Rasterelemente) des Bildes um. Siedlungen, wie Baumgruppen und Waldflächen, erscheinen im Radarbild als Texturen. Bei hochauflösenden Radarbildern bildet jede Signatur eines Gebäudes oder Baumes noch einmal eine Textur in sich. Radar-Bilddaten gelten aufgrund der komplexen Texturen als im Detail schwer auswertbar. Normale Klassifikations-Algorithmen aus der digitalen Verarbeitung optischer Bilder versagen in der Regel. Die meisten bekannten Software-Werkzeuge zur Texturerkennung bringen, auf das nicht vorverarbeitete Radarbild angewendet, ebenfalls wenig verwertbare Information.

In Zusammenarbeit mit Dr. Geile, Geomatics Consulting, Bad Krozingen sowie dem Institut für Navigation (INS), Stuttgart wurden neue Verfahren entwickelt die eine umfangreiche Klassifikation der Daten ermöglichen. Dabei gelingt die Differenzierung von ca. 20 Nutzungsklassen. Bei Redaktionsschluß für das Gesamtstädtische Klimagutachten lagen die Ergebnisse noch nicht vor; das Verfahren soll dennoch schon an dieser Stelle kurz vorgestellt werden.

Der Schlüssel zur Klassifizierung von Radar-Bildtexturen liegt in der sequentiellen Vorverarbeitung mit Hilfe verschiedener Filtertechniken, speziell mit Hilfe von „bi-direktionaler Differenzfilterung“ und Berechnung der „co-occurrence-Matrix“. Beide Verfahren nutzen die visuell kaum auswertbaren Texturmerkmale, wie lokale Grauwert-Gradienten zwischen den Radar-Bildsignaturen, etwa von Gebäuden und Bewuchs, und deren Bildumgebung, sowie lokale statistische Parameter innerhalb der Radar-Bildtexturen. Die sequentielle Anwendung der bi-direktionalen Differenzfilterung macht die spezifischen Eigenschaften der Gebäude- und Bewuchs-Texturen im Radarbild der weiteren Verarbeitung zugänglich. Die Berechnung der Co-Occurrence-Matrix extrahiert dann aus diesen Texturen städtische Baukörperstrukturen und trennt diese von Wald- und Agrarflächen. Eine anschließende Klassifizierung mit üblichen Werkzeugen einer Standard-Software zur Bildverarbeitung erzeugt Raster-Abbildungen verschiedene Klassen der Überbauung und der übrigen Flächennutzung. Nach der Übernahme dieser klassifizierten Rasterdaten in ein Geo-Informationssystem (GIS) lassen sich vektorisierte Karten städtischer Baukörperstruktur und der bewachsenen Freiflächen erzeugen.

## Bi-direktionale Filterung

Bei der bi-direktionalen Differenz-Filterung wird zunächst vom Bild eine, in den Grauwerten um jeweils 1 Pixel (Rasterelement des Bildes) horizontal und vertikal verschobene Kopie erzeugt. Diese Kopie wird dann vom Ursprungsbild abgezogen, es entsteht also eine bi-direktionale Differenz beider Bilder. Ergebnis ist die

- Differenzierung der Signaturen einzelner Gebäude gegenüber Baum- und Buschbewuchs, innerhalb der Siedlung sowie für die Abgrenzung der Siedlungsfläche im Siedlungsrandbereich, bzw. von Freiflächen wie Parks oder Grünzäsuren,
- klare Abgrenzbarkeit von Waldflächen gegenüber offenen Bereichen.
- Identifikation von einzelnen Bäumen, wie Streuobst, Baumreihen, oder Gehölzen im offenen Gelände.

## Berechnung der co-occurrence Matrix (COM)

Wie der Name bereits erklärt, stellt die COM gemeinsame - genauer gesagt, das nachbarschaftliche - Auftreten verschiedener Grauwerte (oder Bildhelligkeiten) im Rasterbild dar. In ein Diagramm, eine zwei- oder mehr-dimensionale Matrix, wird eingetragen, wie häufig jeder Grauwert in der Nachbarschaft eines Pixels auftritt. Dabei kann das dem Referenz-Pixel direkt benachbarte, das übernächste, oder das drittnächste (usw.), Pixel betrachtet werden, ebenso, wie nur in einer oder in mehreren Richtungen um das zentrale Referenz-Pixel die benachbarten Grauwerte aufgenommen werden können. Die COM-Berechnung kann dann noch auf das ganze Bild oder nur auf bestimmte Bildausschnitte angewendet werden. Schließlich läßt sich die Fenstergröße, in der die Grauwertaufnahme für die COM folgt noch einstellen.

Die Auswertung der COM ergibt dann ein Maß für die Homogenität oder Heterogenität, anders gesagt für die Grobheit oder Glattheit einer Textur. Finden sich in der Nachbarschaft eines Pixels gleiche oder ähnliche Grauwerte, ergibt sich in der COM eine Wertehäufung entlang der Diagonalen. Die Bildtextur ist glatt. Bei groben, rauen Texturen differieren die Grauwerte benachbarter Pixel stärker, und die Wertehäufungen in der COM liegen in den Ecken der Matrix. Das Ergebnis ist

### a) Texturklassifikation des nicht vorverarbeiteten Radar-Rohbildes:

- Unterschiedlich homogene, also relativ glatte Texturbereiche geben Wasser- und verschiedene Agrarflächen wieder.
- Als relativ heterogen klassifizierte Texturbereiche stellen Siedlungs- und Waldflächen dar.
- Siedlungs- und Waldflächen sind nicht vollständig trennbar.
- Innerhalb der Siedlungsflächen deuten unterschiedlich heterogene Texturbereich verschiedene Formen der Überbauung an.

b) Texturklassifikation des zuvor Differenz-gefilterten Radarbildes:

- Wald und Siedlungsflächen werden von Agrar- und Wasserflächen unterschieden.
- Siedlungsflächen werden von Waldflächen getrennt.
- Innerhalb der Siedlungsflächen werden verschiedene Formen der Überbauung, unter anderem über die eingestreuten, als Vegetation klassifizierten Pixel unterschieden.
- Waldflächen können begrenzt als Laub- und Nadelholz, Altbestände, Stangenholz und Aufforstungsflächen unterschieden werden.
- Die Differenzierung der Agrarflächen beschränkt sich noch auf Acker- und Grünlandparzellen.

Grund für die, vor allem lokal und in der Klassendifferenzierung abweichenden Ergebnisse unter a) und b) ist die unterschiedliche Ausprägung der Texturen im nicht vorverarbeiteten und im Differenz-gefilterten Radarbild. In letzterem greift die COM-Berechnung direkt auf die hell-dunkel Kanten der Gebäude-Signaturen nach der Differenz-Filterung zu, während die, durch die Differenz-Filterung gleichzeitig geglätteten Texturen der Agrarflächen weniger gut für die COM-Analyse genutzt werden können.

### Klassifizierung

Das Ergebnis der Bildverarbeitung wird in einem ersten Schritt als drei-kanaliger Datensatz (bi-direktionale Filterdaten, COM-Daten und Intensitätsbild) mit Methoden der Standard-Bildverarbeitung (z.B. Maximum Likelihood) automatisch klassifiziert. Das Ergebnis dieser „unüberwachten“ Klassifizierung liefert insgesamt 14 verschiedene Flächennutzungsklassen :

- niedrige Einzelhausbebauung mit hohem Durchgrünungsgrad
- einzelstehende, mehrgeschossige Gebäude mit Grünflächen
- hohe Einzelgebäude (z.B. Wohnhochhäuser) mit Grünflächen
- Blockrandbebauung
- geschlossene, mittelhohe städtische Bebauung
- innerstädtische hohe Bebauung
- Kleingärten
- öffentliches Grün (überwiegend Rasenflächen)
- Freiflächen mit niedrigem Bewuchs (Wiesen)
- vegetationslose, sehr glatte Flächen
- zusammenhängende Asphaltflächen
- Parks mit hohem Baumbewuchs

- Waldflächen (Laub-, Misch- u. Nadelwald als gemeinsame Klasse)
- Wasserflächen und Radarschatten (noch als gemeinsame Klasse)

In einem zweiten Schritt erfolgt die Klassifikation „überwacht“, d.h. es werden anhand der von Aachen zur Verfügung gestellten DGK5 (Digitale Grundkarte, 1:5.000) Trainingsgebiete als Referenzflächen ausgewählt. Als weiterer Kanal wird das aus den Radardaten abgeleitete Digitale Geländemodell verwendet. Das Ergebnis liefert eine Verschärfung, Erweiterung und bessere Verifikation der obigen Klassen. Damit ist eine verlässliche Flächenutzungskartierung im Maßstab 1:5.000 möglich.

## **Anhang VIII. Erläuterungen zur Bestimmung von Kaltluftflächen im GIS-Modell**

### **1. Kriterium: Freiflächeneigenschaft**

Da Kaltluftabfluß - in dem für diesen Zusammenhang vornehmlich interessanten Rahmen - nur über Flächen möglich ist, die weitgehend frei von Hindernissen (Gebäuden, höherem Bewuchs) sind, mußte zunächst ein Freiflächenmodell entwickelt werden.

Bei der Bearbeitung wurde von dem aus der Radar-Befliegung abgeleiteten digitalen Höhenmodell ausgegangen. Dieses beinhaltet die absolute Höheninformation für jeden Punkt des Untersuchungsgebiets in einem 2,5 m-Raster. Um zwischen Rasterpunkten, die auf Hindernissen (Gebäude, Bäume etc.) liegen, und solchen, die einer Freifläche zuzuordnen wären, unterscheiden zu können, wurden diese Daten folgender Prozedur unterzogen.

Auf Basis eines 50 m x 50 m-Rasters wurde zunächst für jedes Raster der jeweils tiefstgelegene Punkt mit genauer Lage und Höhe ermittelt und dabei angenommen, daß dieser sicher auf dem "natürlichen" Erdboden liegt (d.h. z.B. zwischen Gebäuden im Straßenniveau oder in einer Lichtung zwischen Bäumen auf dem Waldboden). Aus diesen Daten wurde durch Interpolation ein "wahres" digitales Höhenmodell errechnet. Somit liegen nun für jeden Punkt drei Höheninformationen vor: die absolute Höhe der "wahren" Oberfläche (= interpolierte Erdoberfläche), die absolute Höhe der Oberkante ggf. vorhandener Hindernisse (Gebäude, Bäume etc.) und der Höhenunterschied zwischen beiden, also die Hindernishöhe.

Das "wahre" Höhenmodell und die daraus abgeleiteten Modelle sind allerdings mit gewissen Fehlern behaftet; diese gehen im wesentlichen auf die Bearbeitung mit dem überlagerten 50 m x 50 m-Raster zurück. Denn hier handelt es sich um einen Kompromiß, der bereits Punkte beinhaltet, die entweder gar nicht auf dem "natürlichen" Erdboden liegen oder, wenn doch, dann vielleicht auf stark geneigten, also nicht repräsentativen, Hangabschnitten. Würde diese Rasterweite kleiner gewählt, dann werden mit zunehmender Wahrscheinlichkeit keine Punkte mehr gefunden, die auf dem "natürlichen" Erdboden liegen; dies ist z.B. gegeben, wenn in der Bebauung Innenhöfe komplett überbaut sind oder das Kronendach eines Gehölzbestands keine Lücken aufweist. Wird die Rasterweite hingegen größer, dann werden vorhandene Reliefformen (kleine Täler etc.) nicht mehr erfasst. Die verwendete Rasterweite wurde so ausgewählt, daß eine gewisse Unterschätzung der nach diesem "wahren" Höhenmodell errechneten Hindernishöhen in Kauf genommen wird, um die für Aachen wichtigen Kleinformen des Reliefs (v.a. die "Bachtäler" mit Querschnitten von wenigen hundert Metern) noch ausreichend abbilden zu können.

Das Radarbild erfaßt alle Objekte in hoher Auflösung. Da einzelne hohe, aber räumlich begrenzte Hindernisse (z.B. ein einzelner Baum) oder Hindernisse mit geringer Höhe (z.B. der Rand eines Getreidebestands) für die Aufgabenstellung von untergeordneter oder ohne Bedeutung sind, müssen die Hindernis-Informationen gefiltert werden. Aus verschiedenen klimatologischen Gründen bietet es sich an, erstens die

Daten für größere Flächen (in einer Größenordnung von 100 m x 100 m) zu aggregieren, und zweitens für diese Flächen statt eines Höhen- ein Rauigkeitsmaß zu verwenden (GIS-technisch bot sich die Vereinfachung an, statt der aufwendigen Berechnung der Rauigkeit oder des H/W-Ratio nach OKE (1978) auf die räumliche Standardabweichung zurückzugreifen). Aus einzelnen Beispielflächen wurden Schwellenwerte für die Standardabweichung abgeleitet, die eine Klassifizierung von Gebieten entsprechend den über das H/W-Ratio definierten Anströmungstypen von OKE ermöglichen. Für das Freiflächenmodell finden nur die Rasterflächen der niedrigsten Klasse Berücksichtigung.

In einem weiteren Bearbeitungsschritt wurden solche Flächen ausgegrenzt, bei denen auf Grundlage der vom Umweltamt der Stadt Aachen bereitgestellten Vektordatensätze in jedem Fall angenommen werden muß, daß auf ihnen solche Nutzungen überwiegen, die relevante Hindernisse beinhalten (geschlossene Bebauung, Wald). Diese Bearbeitung wurde außerdem auch deshalb durchgeführt, weil so die o.g. Fehler minimiert werden, die v.a. in geschlossener Bebauung und in geschlossenen Waldbeständen auftreten. Dabei werden natürlich andere Fehler in Kauf genommen, die u.a. darauf zurückgehen, daß die verwendeten Daten u.U. nicht die Realnutzung berücksichtigen (derzeit unbebaute größere Freiflächen, Kahlschläge etc.).

Als Ergebnis liegt somit ein Freiflächenmodell für das gesamte Untersuchungsgebiet vor.

## **2. Kriterium: Temperatureigenschaft**

Für die nach obiger Vorgehensweise ermittelten Freiflächen ist nun zu überprüfen, ob die Ergebnisse der Thermalbefliegung Hinweise auf Kaltluftbildungsprozesse geben.

An dieser Stelle ist ausdrücklich auf Beschränkungen bei der Auswertung von Thermalbildern hinzuweisen. Es ist erstens zu betonen, daß die Thermaldaten die Temperaturverhältnisse nur für einen bestimmten Tag mit einem bestimmten Witterungsverlauf und auf einem bestimmten Temperaturniveau widerspiegeln. Insofern kann jede Auswertung zunächst auch nur eine räumlich und zeitlich sehr eingeschränkt repräsentative Aussage ermöglichen. Zweitens stellen die Thermaldaten nur die Temperaturen an der Erdoberfläche dar, während für viele klimatologische Fragestellungen die Lufttemperatur (z.B. in 2 m ü. Gr.) von zentraler Bedeutung ist; einen unmittelbaren Zusammenhang zwischen beiden gibt es aber nicht. Und drittens wird auch nur bedingt die tatsächliche Oberflächentemperatur dargestellt, da viele, v.a. technische Oberflächen (wie Metalldächer) einen deutlich von 1 abweichende Emissionskoeffizienten aufweisen und daher (vom Detektor gemessene) Wärmestrahlung aussenden, die einer geringeren als der tatsächlichen Temperatur entsprechen.

Bei der Bearbeitung wurde so vorgegangen, daß zunächst solche allgemeine Kriterien des Kaltluftbildungsprozesses abgeleitet wurden, bei denen überhaupt nur erwartet werden kann, daß sie im Thermalbild erkennbar werden können (z.B. ist ja der Strömungsprozeß abfließender Kaltluft als solcher gar nicht erkennbar). Dabei

konnte wegen des Vorliegens von zwei Thermalaufnahmen aus einer Nacht außer der Oberflächen­temperatur zu einem bestimmten Zeitpunkt auch die zeitliche Veränderung berücksichtigt werden.

Alle am Kaltluftbildungsprozeß beteiligten Flächen zeichnen sich generell dadurch aus, daß dort infolge der ausstrahlungsbedingten Abkühlung bereits im Tagesverlauf früh am abend relativ niedrige Temperaturen festzustellen sind. In diesem Zusammenhang sind vor allem folgende spezielle Kriterien von Bedeutung:

- a) in intensiver Bewegung befindliche Kaltluft (Kaltluftabfluß) wird während des Strömungsvorgangs durchmischt und ist daher u.U. nur mäßig kalt (für die von der Kaltluft dabei überströmten Flächen müssen ebenfalls mäßig kalte Oberflächentemperaturen vermutet werden),
- b) stagnierende, also ruhende oder nur schwach bewegte Kaltluft kühlt sich hingegen sehr stark ab, vor allem wenn sie sich vor Hindernissen aufstaut (Kaltluftstau; auch für die betroffenen Oberflächen ist ein ähnliches Abkühlungsverhalten zu erwarten),
- c) Kaltluftbildung auf höher gelegenen, größeren Flächen (in Kuppenlage) zeichnet sich dadurch aus, daß zwar zunächst eine mäßige Abkühlung eintritt, die sich aber im Laufe der Nacht deutlich abschwächt (denn die von diesen Flächen - ggf. in alle Richtungen - abfließende Kaltluft bewirkt ein Nachströmen von Luft aus höheren Luftschichten, die relativ warm ist).

Für die konkrete Anwendung auf die vorliegenden Thermal­daten wurden Temperaturwerte als Grenzwerte für diese Kriterien festgelegt. Die Grenzwerte wurden so ermittelt, daß in solchen Teilgebieten, in denen Detail­untersuchungen vorliegen, das Temperaturniveau für bekannte Flächen mit Kaltluftabfluß, -stau und -bildung - ggf. für Abend- und Morgenbefliegung - bestimmt wurde. Bei der Berechnung ist zu berücksichtigen, daß Flächen mit dem niedrigsten Temperaturwert nicht berücksichtigt werden dürfen, weil es sich um künstliche Oberflächen mit unrichtigen Temperaturwerten handeln kann (s.o.). Es wurden folgende Rechenvorschriften entsprechend der obigen Gliederung vorgegeben:

- a)  $4^{\circ}\text{C} < T_{\text{abend}} < 11^{\circ}\text{C}$ ,
- b)  $4^{\circ}\text{C} < T_{\text{abend}} < 8^{\circ}\text{C}$ ,
- c)  $8^{\circ}\text{C} < T_{\text{abend}} < 11^{\circ}\text{C}$  und  $\Delta T_{\text{abend-morgen}} < 2 \text{ K}$ .

Die Temperaturkriterien sind nicht ohne Überschneidungen zu formulieren; sie müssen durch Hangneigungskriterien ergänzt werden.

### **3. Kriterium: Hangneigungseigenschaft**

Grenzwerte der Hangneigung in Zusammenhang mit Kaltluftabfluß werden gelegentlich angeführt. Es gibt aber verschiedene Hinweise darauf, daß solche absoluten Kriterien problematisch sein können, weil sich Kaltluft - je nach konkreten Bedingungen - schon bei geringsten Hangneigungen in Bewegung setzen kann. Da es in diesem Zusammenhang nicht um die Frage geht, ob sich die Kaltluft überhaupt bewegt, sondern ob ein Strömungsverhalten eintritt, bei dem infolge schnelleren

Abflusses eine stärkere Durchmischung eintritt, wurde - wie bei der Temperatur - anhand der Verhältnisse in den genauer untersuchten Gebieten ein Schwellenwert festgelegt.

Es ergaben sich folgende Werte für die Kriterien:

- a)  $\alpha > 3^\circ$ ,
- b)  $\alpha \leq 3^\circ$ ,
- c)  $\alpha \leq 3^\circ$ .



## Anhang IX. Spezielle Planungshinweise zu Einzelvorhaben

### Sonderuntersuchungsgebiet Adenauerallee

Im Bereich südlich der Adenauerallee bzw. der Straße ‚Auf dem Vogelsang‘ im Nordwesten bzw. Nellessenpark, Beverbach und Gut Schöntal im Südosten soll eine ca. 23 ha große Fläche als Wohnsiedlungsgebiet ausgewiesen werden. Das in nordwestliche Richtung leicht abfallende Gelände wird derzeit nahezu ausschließlich als Grünland genutzt. Hochstämmige Vegetation ist nicht vorhanden.

Auf Grund seiner topographischen Lage und seiner derzeitigen Landnutzung ist das Beverbachtal ein bedeutendes Sammelgebiet wenig vorbelasteter Kaltluft. Diese strömt in den Abend- und Nachtstunden z.B. entlang der Erzbergerallee und über den Bahndamm westlich des Bahnhofs Rothe Erde in das Frankenberger Viertel ein und dort über die Kreuzung Viktoriaallee/Oppenhoffallee hinaus (vergl. hierzu KLIMCZAK, 2000), was im Windrichtungs- aber auch im Temperaturfeld der dortigen Temporären Feststation nachgewiesen werden konnte (vergl. hierzu auch "Grauenhofer Weg" und "Stettiner Straße"). Das fragliche Gebiet hat wegen der Nähe zum Zielgebiet und wegen der Flächengröße einen besonderen Anteil an der gesamten Kaltluftproduktion dieses Tals.

Bei einer Versiegelung des Bereiches ‚Adenauerallee‘ würden die Kaltluftansammlung und die daraus resultierenden Strömungsverhältnisse weitgehend entfallen. Denn nach dem gegenwärtigen Kenntnisstand muß davon ausgegangen werden, daß bei einer erheblichen Reduzierung der Kaltluftmenge der Bahndamm nicht mehr wie bisher überströmt wird. Das hätte eine nicht unerhebliche Verschlechterung der lufthygienischen Verhältnisse in Bereichen des Frankenberger Viertels zur Folge. Aus klimatologischer Sicht ist daher - wie in den anderen "Bachtälern" auch - von jeglicher Änderung der derzeitigen Situation mit großem Nachdruck abzuraten.

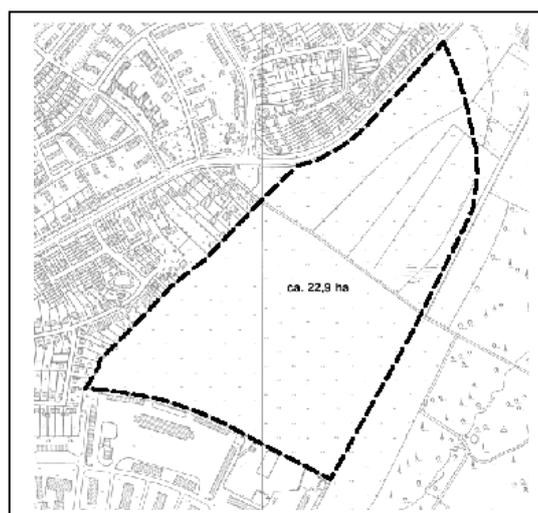
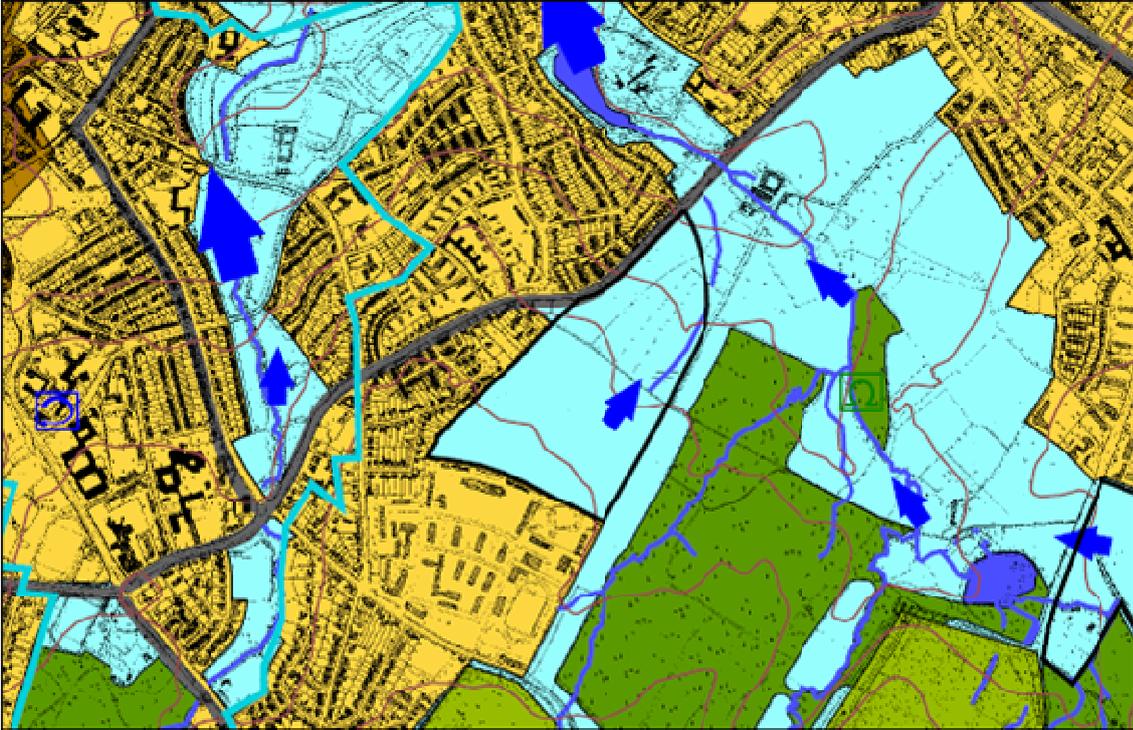


Abbildung 27a (oben und folgende Seite): Lageskizze sowie Auszüge aus der Klimafunktionskarte und der Karte der Planungsempfehlungen für das Sonderuntersuchungsgebiet Adenauerallee

# Sonderuntersuchungsgebiet Adenauerallee



Klimafunktionskarte



Karte der Planungsempfehlungen

Abbildung 27a

## Sonderuntersuchungsgebiet Lichtenbusch

Der Bereich zwischen Raafstraße und Kesselstraße sowie zwischen Staatsgrenze und Monschauer Straße ist für Wohnbebauung vorgesehen. Entlang der vorgenannten Straßen existiert bereits lockere Bebauung in Form von Einzel- bzw. Doppelhäusern.

Durch die randliche Bebauung wird der abendliche/nächtliche Luftaustausch mit der Umgebung erschwert. Daher bildet sich im vorgesehenen Bebauungsgebiet eine seichte bodennahe Kaltluftschicht aus, die jedoch keinerlei Auswirkung auf ihre weitere Umgebung hat. Nach einer Bebauung würde sich eine Situation wie im gegenüberliegenden Oberforstbach ergeben, die als unproblematisch einzustufen ist. Aus klimatologischer Sicht bestehen gegen das geplante Bauvorhaben daher keine Bedenken.

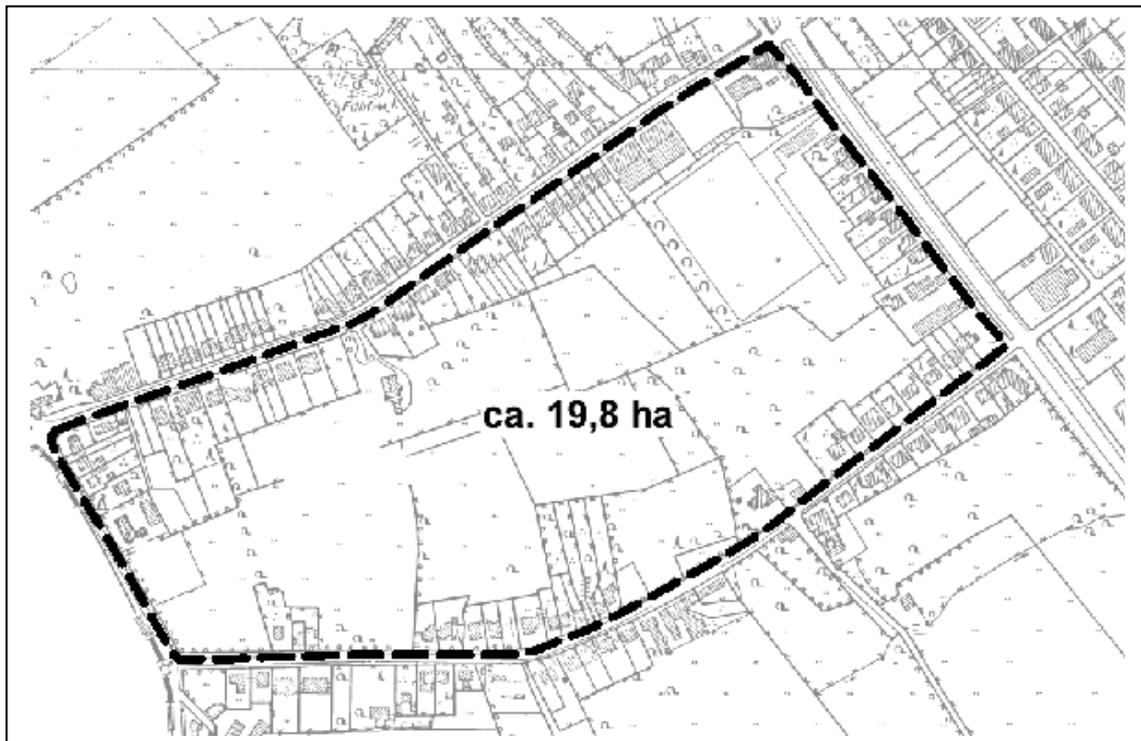
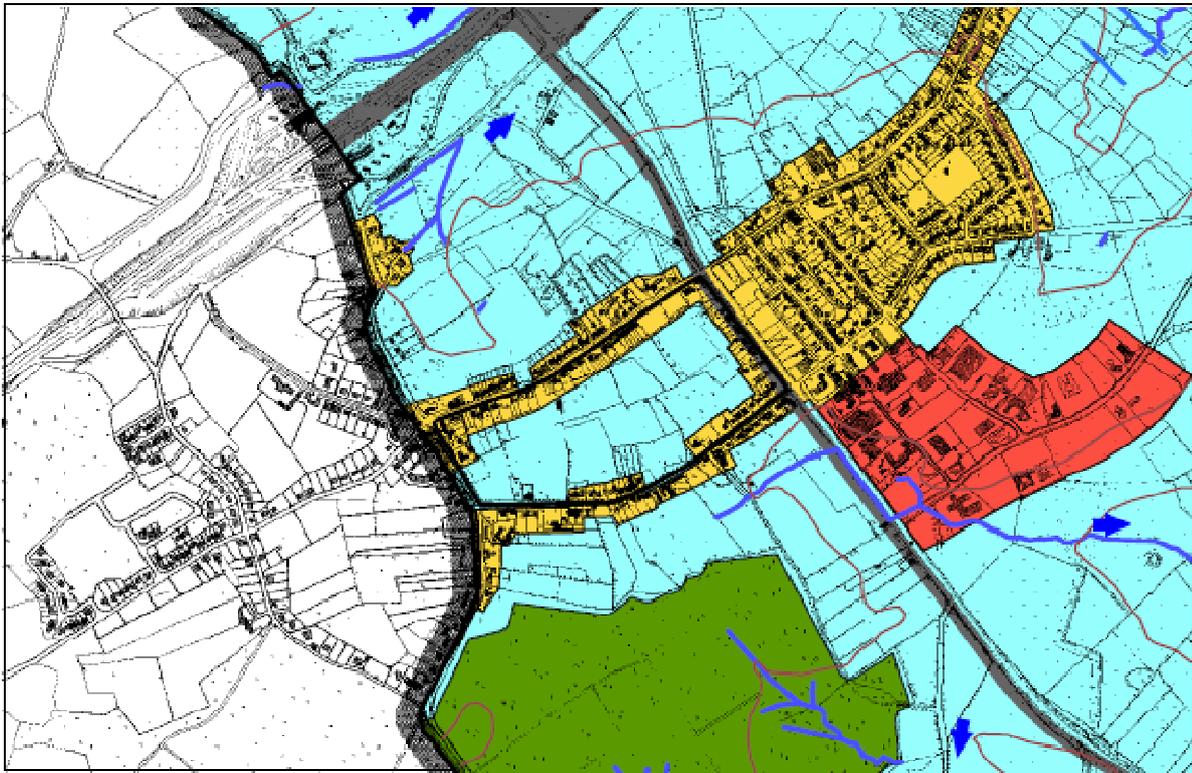
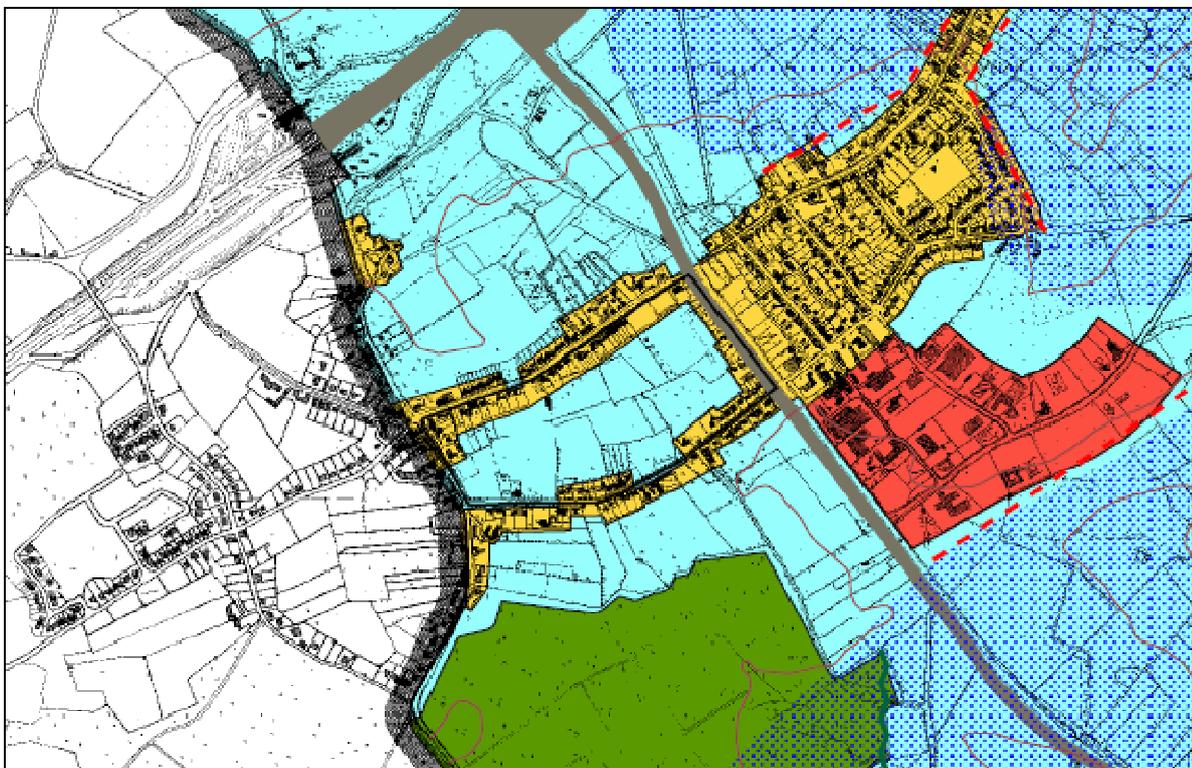


Abbildung 27b (oben und folgende Seite): Lageskizze sowie Auszüge aus der Klimafunktionskarte und der Karte der Planungsempfehlungen für das Sonderuntersuchungsgebiet Lichtenbusch

# Sonderuntersuchungsgebiet Lichtenbusch



Klimafunktionskarte



Karte der Planungsempfehlungen

Abbildung 27b

## Sonderuntersuchungsgebiet Rothe Erde

Östlich der Trierer Straße bis etwa zum Eisenbahnweg ist vorgesehen, auf dem derzeitigen Betriebsgelände der Deutschen Bahn AG auf einer Fläche von ca. 9 ha ein Gewerbegebiet zu errichten. Nähere Einzelheiten, z.B. ob vom Weiterbestehen dieses Abschnitts der Strecke Aachen Hbf. – Köln ausgegangen werden kann und, wenn ja, wie viele Gleiseinheiten erhalten bleiben sollen, sowie ob mit dem Fortbestand der noch bestehende Trasse der ehemaligen Vennbahn gerechnet werden kann, sind bisher nicht bekannt.

Eine Eisenbahntrasse von einer Breite wie im Gebiet Rothe Erde stellt generell eine sehr wirksame Belüftungsbahn dar, speziell dann, wenn sie sich in Hauptwindrichtung erstreckt wie im vorliegenden Fall. Soll die Strecke Aachen Hbf. – Köln in diesem Abschnitt weiter bestehen bleiben, so sind die zu errichtenden Gebäudeeinheiten in großem Abstand vom Gleiskörper und in Längsrichtung parallel zu diesem zu errichten, um eine solche Belüftungsfunktion auch in Zukunft zu gewährleisten. Eine weitere Belüftungsschneise befindet sich auf der vorgenannten ehemaligen Vennbahntrasse. Es sollte durch entsprechende Planung sichergestellt werden, daß diese Frischluftzufuhr aus Osten auch weiterhin bestehen bleibt und im Gelände selbst sowie in Richtung Kennedypark wirksam werden kann.

Bei Beachtung solcher Vorgaben bestehen aus klimatologischer Sicht keine grundsätzlichen Bedenken gegen das geplante Bauvorhaben.

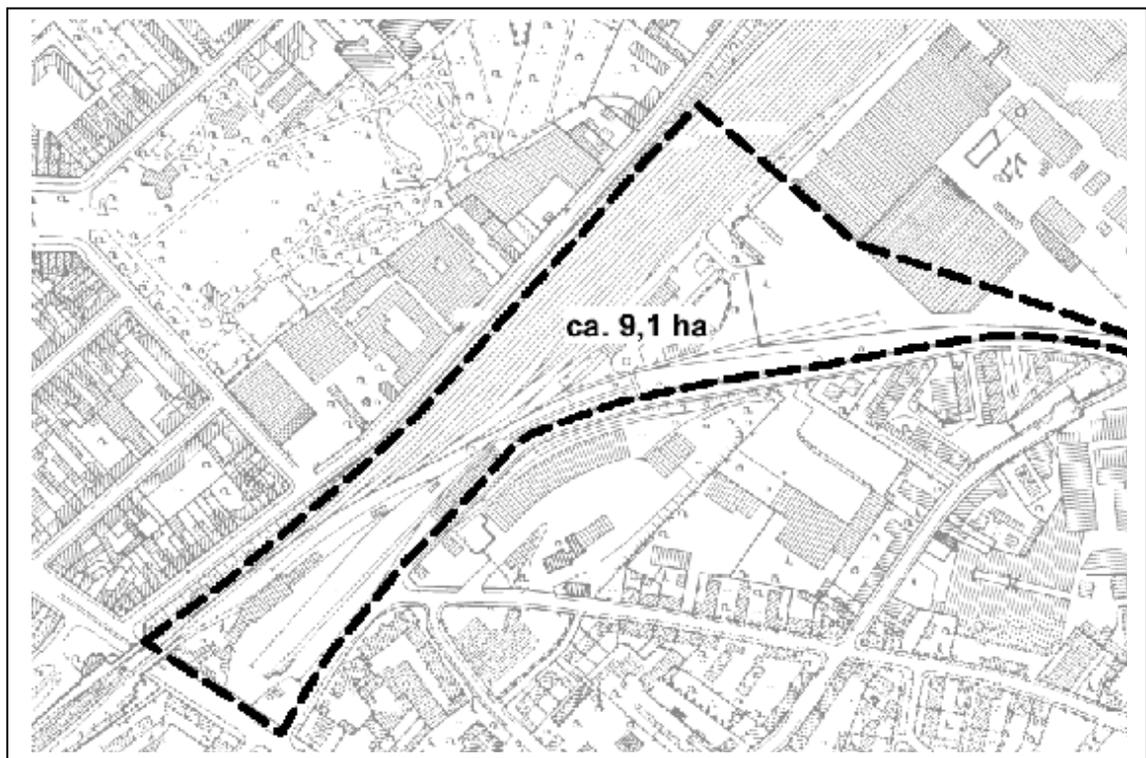
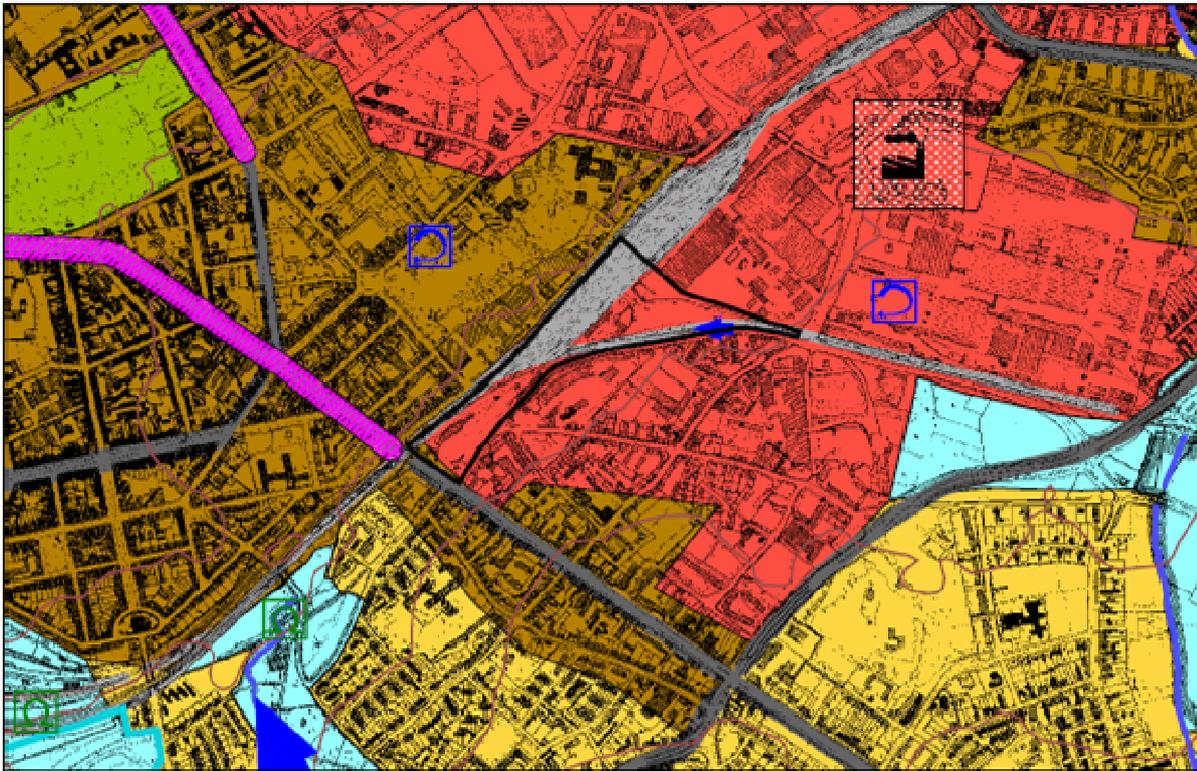
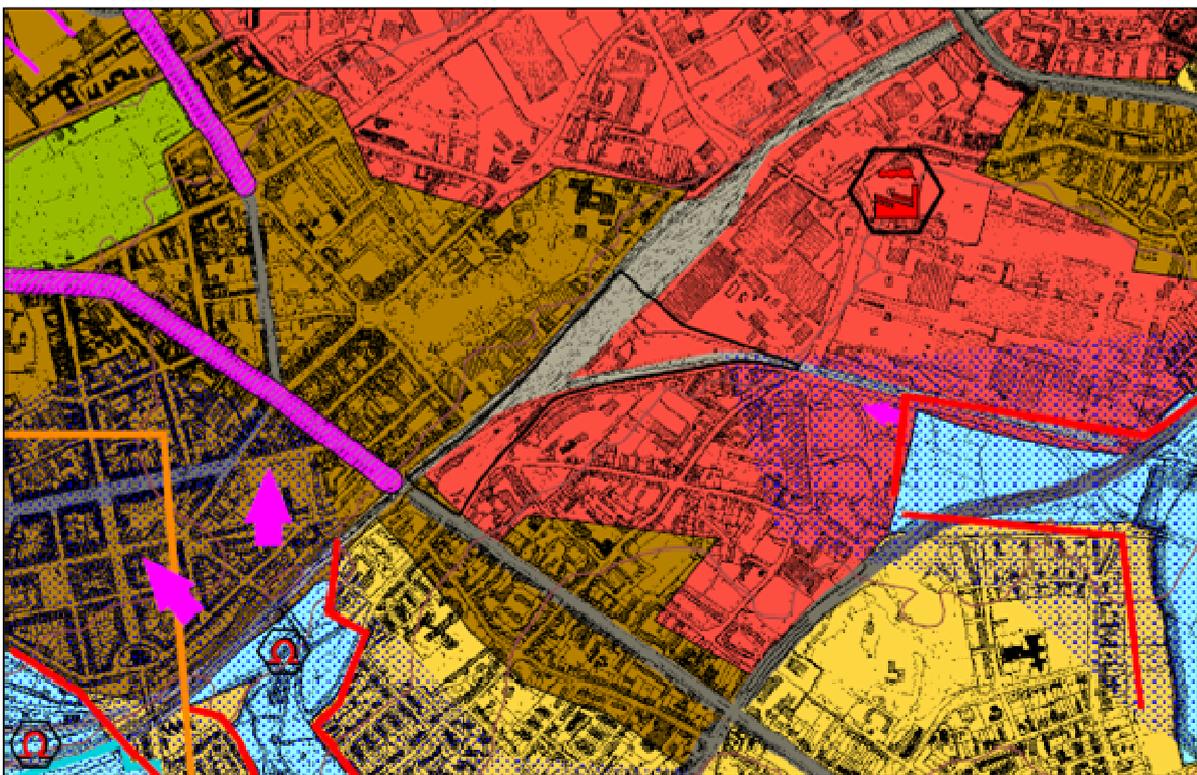


Abbildung 27c (oben und folgende Seite): Lageskizze sowie Auszüge aus der Klimafunktionskarte und der Karte der Planungsempfehlungen für das Sonderuntersuchungsgebiet Rothe Erde

# Sonderuntersuchungsgebiet Rothe Erde



Klimafunktionskarte



Karte der Planungsempfehlungen

Abbildung 27c

## Sonderuntersuchungsgebiet Schroufstraße

Am Südostrand von Brand zwischen Trierer Straße und Schroufstraße ist ein ca. 3 ha großes Areal als Wohnsiedlungsgebiet vorgesehen. Das nach Norden leicht geneigte Gebiet befindet sich in der Nähe der Wasserscheide zum Indetal hin und ist nur in südöstlicher Richtung von unbebautem Areal umgeben.

Auf Grund seiner Lage in der Nähe zur Wasserscheide und seiner geringen Größe kann sich hier auch nur in begrenztem Umfang nächtliche Kaltluft bilden. Sie dürfte jedoch ausreichen, um in die Wohnbereiche auch jenseits der Freunder Landstraße wenigstens gelegentlich einzusickern. Diese zweifellos nur begrenzte Ausgleichswirkung wäre nach erfolgter Bebauung nicht mehr gegeben. Außerdem ist nicht auszuschließen, daß der aus südöstlicher Richtung in den Bereich des Brander Kerngebiets hineinragende Freiraumzug bei entsprechenden Windrichtungen Belüftungsfunktionen übernimmt. Deshalb ist von einer geplanten Bebauung eher abzuraten.

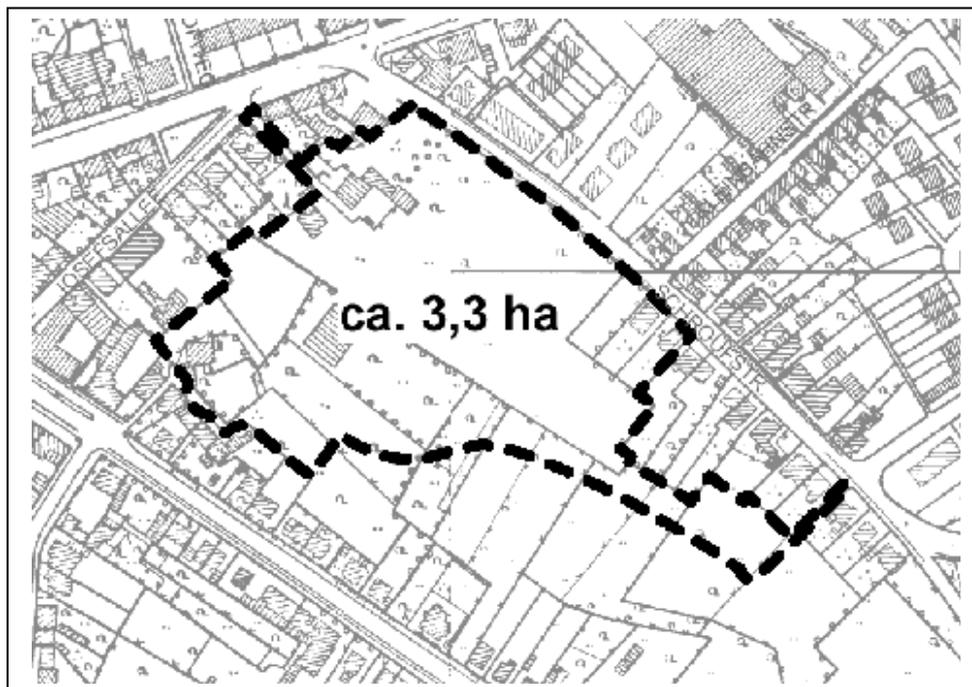
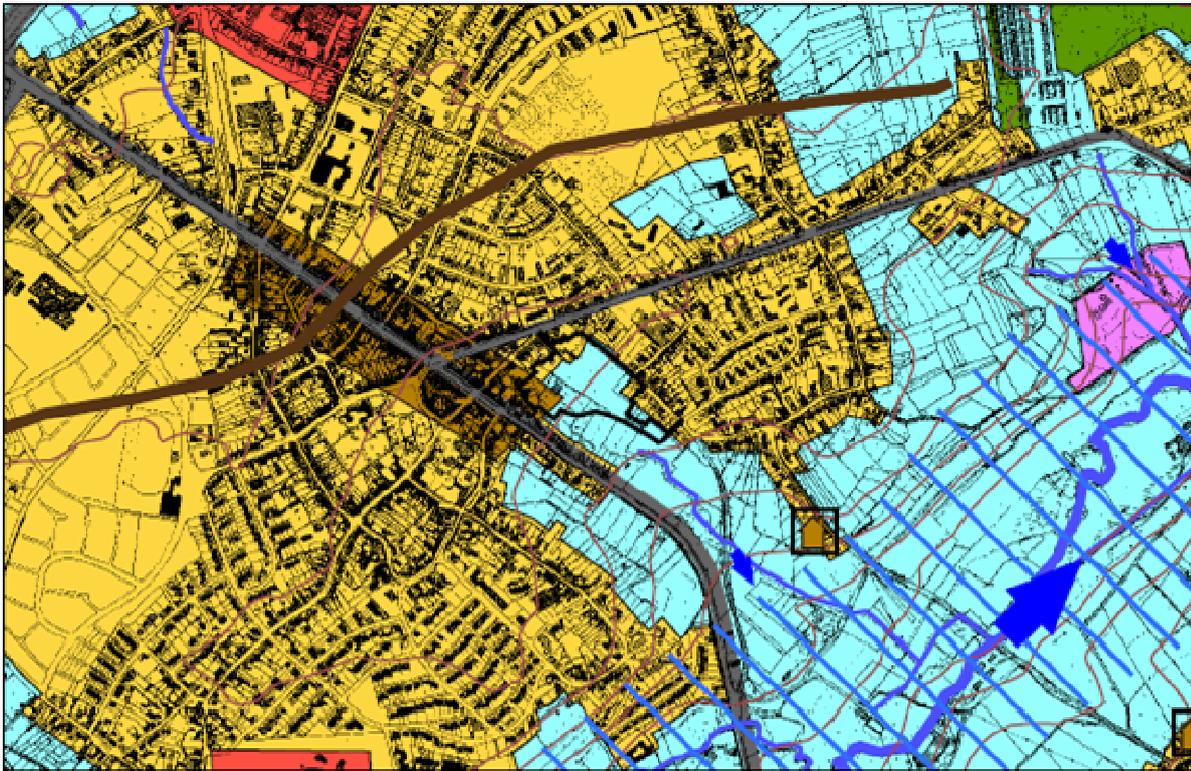
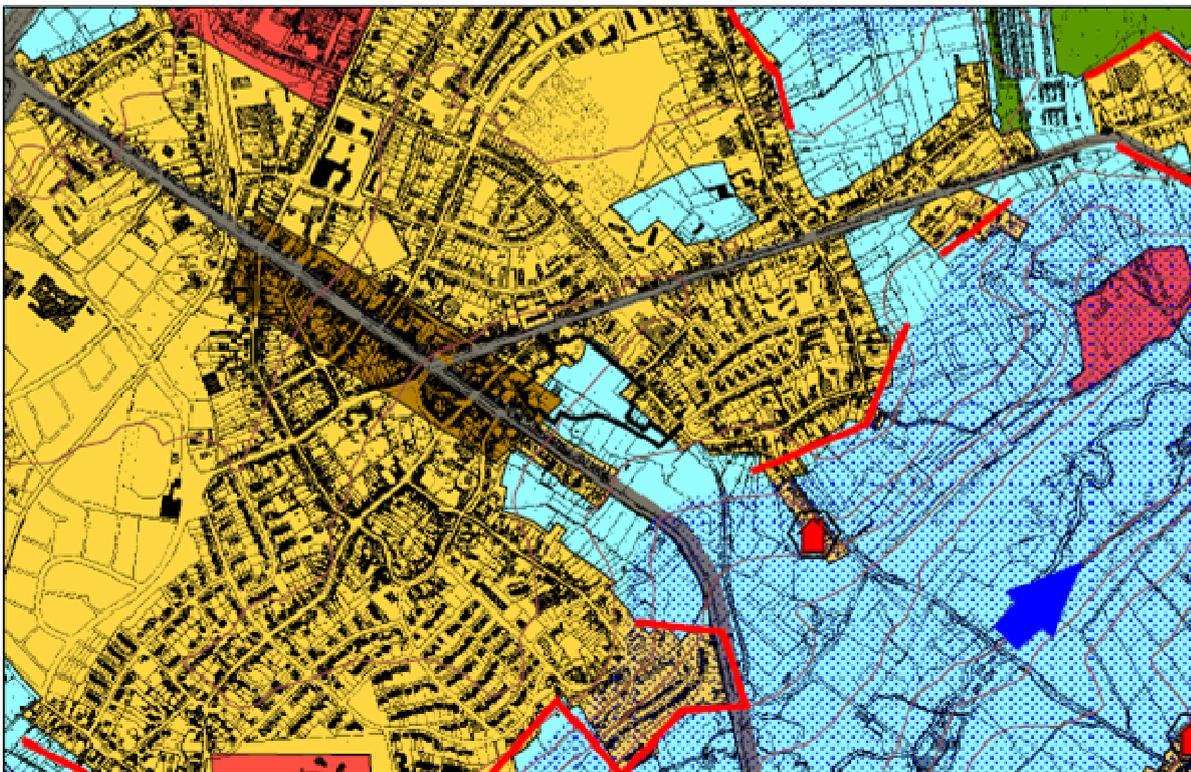


Abbildung 27d (oben und folgende Seite): Lageskizze sowie Auszüge aus der Klimafunktionskarte und der Karte der Planungsempfehlungen für das Sonderuntersuchungsgebiet Schroufstraße

# Sonderuntersuchungsgebiet Schroufstraße



Klimafunktionskarte



Karte der Planungsempfehlungen

Abbildung 27d

## Sonderuntersuchungsgebiet Kalkofen

Das Gebiet befindet sich nordöstlich des Europaplatzes und wird begrenzt im Südosten von der Autobahn A 544, im Nordosten vom Madrider Ring und im Nordwesten von der Wurm. Nähere Informationen über mögliche bauliche Maßnahmen liegen nicht vor. Es handelt sich um eine Fläche von insgesamt ca. 50 ha.

Gut Kalkofen ist eine sehr bedeutende Kaltluftentstehungsfläche innerhalb des Aachener Kessels. Der Bereich ist von größeren Gewerbegebieten entlang von Jülicher Straße im Nordwesten und Breslauer Straße im Südosten umgeben und nimmt von daher eine sehr wichtige – thermische, aber auch lufthygienische – Ausgleichsfunktion wahr. Im Falle einer Bebauung würde diese Ausgleichsfunktion entfallen. Die Folge wäre eine sehr erhebliche Verschlechterung des Lokalklimas östlich der Innenstadt sowohl in thermischer als auch in lufthygienischer Hinsicht; außerdem würden Belüftungsfunktionen für den Bereich Jülicher Straße / Haaren wegfallen. Aus diesen Gründen sind jegliche bauliche Maßnahmen mit sehr großem Nachdruck abzulehnen.

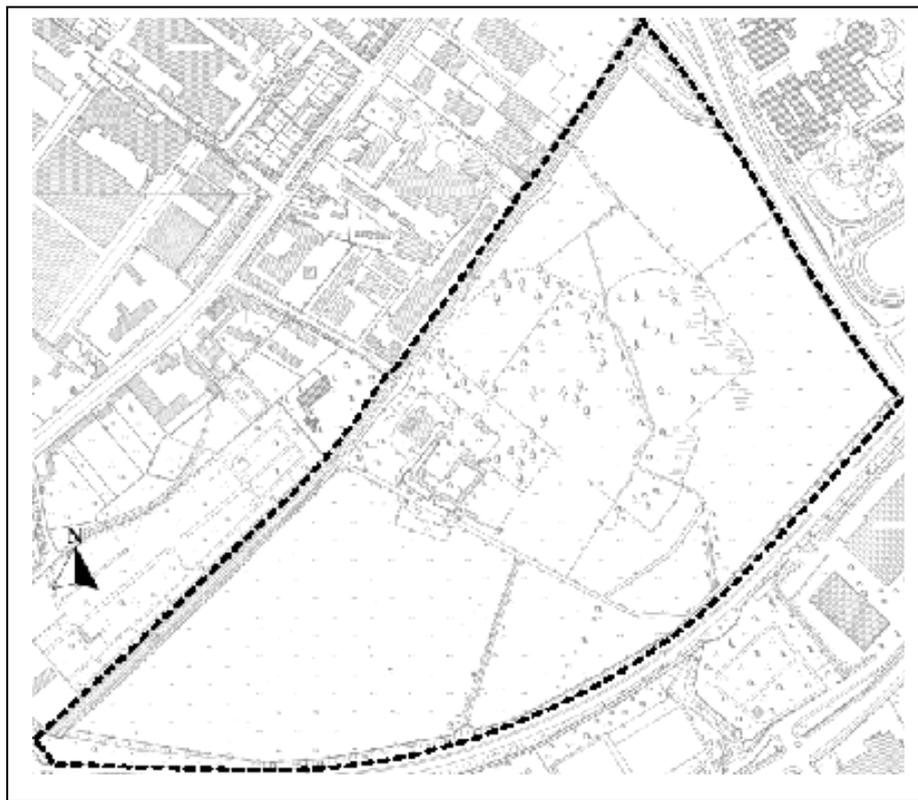
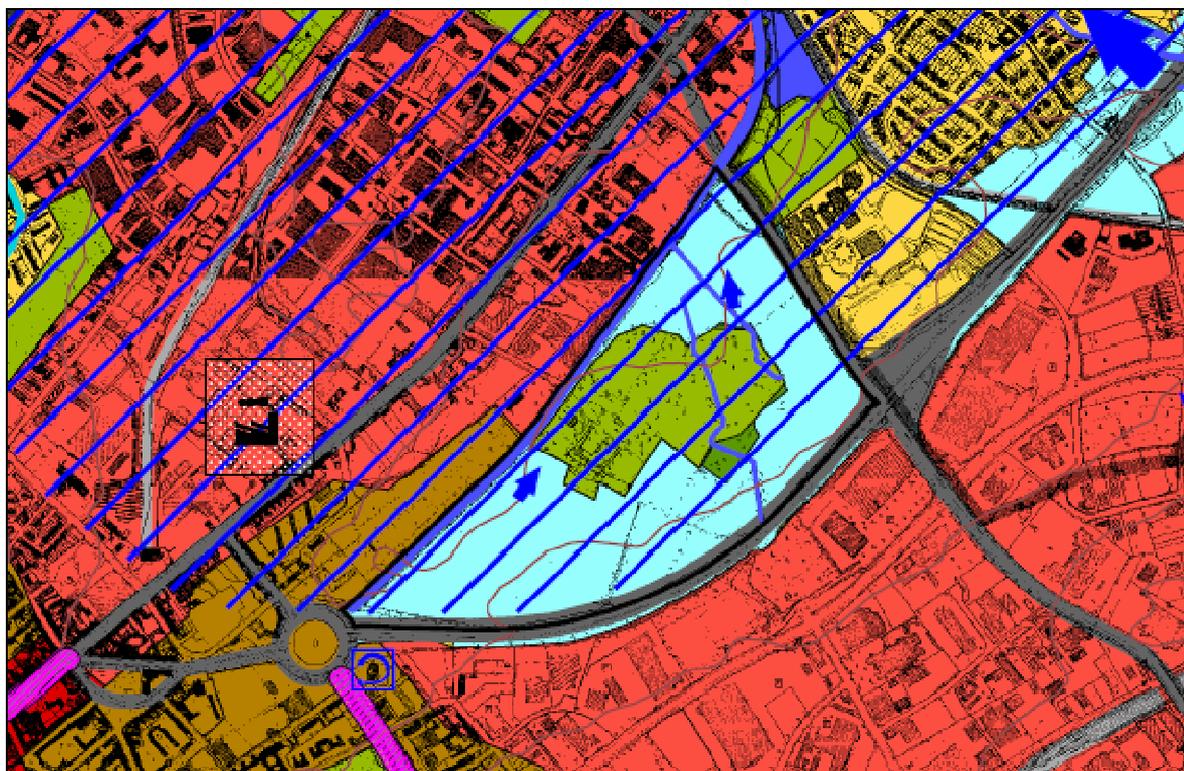
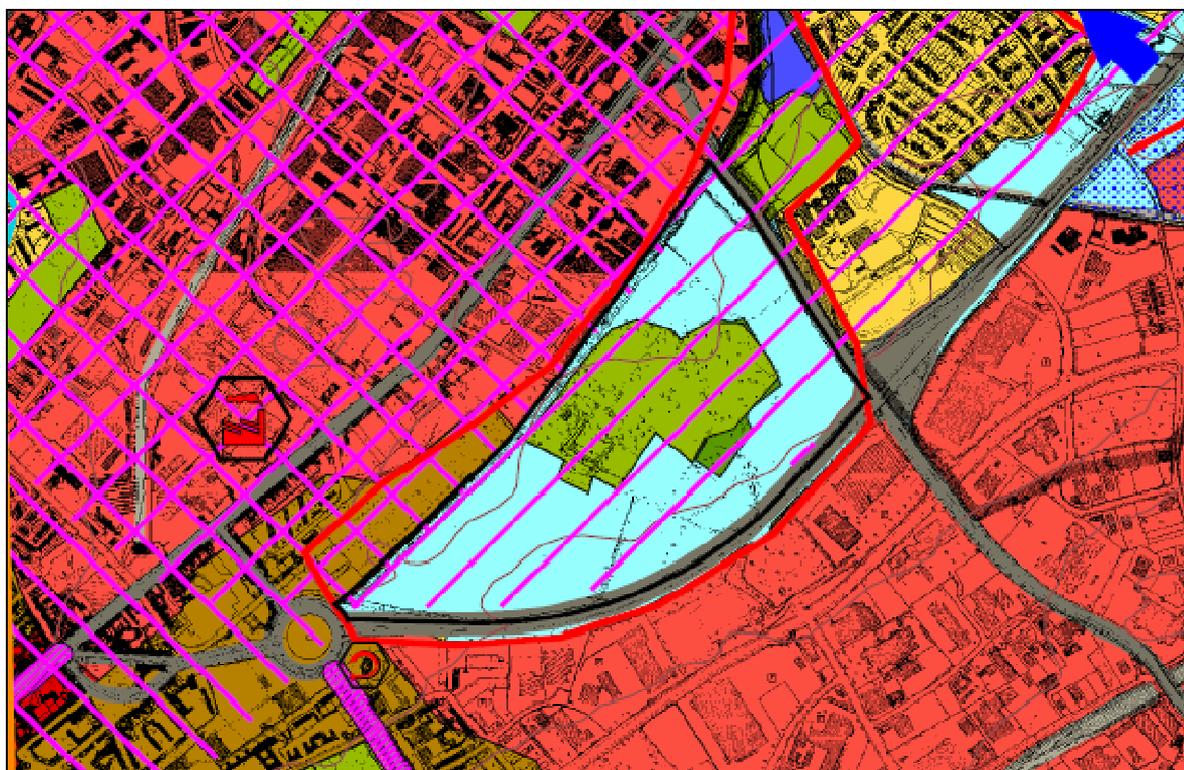


Abbildung 27e (oben und folgende Seite): Lageskizze sowie Auszüge aus der Klimafunktionskarte und der Karte der Planungsempfehlungen für das Sonderuntersuchungsgebiet Kalkofen

# Sonderuntersuchungsgebiet Kalkofen



Klimafunktionskarte



Karte der Planungsempfehlungen

Abbildung 27e

## Sonderuntersuchungsgebiet Richterich – Nord

Im Norden von Richterich ist zwischen Vetschau und Ürsfeld ein Wohnsiedlungsgebiet von - beim gegenwärtigen Sachstand - ungeklärter Größe vorgesehen, wobei eine besonders große Fläche von insgesamt ca. 156 ha. zu begutachten ist.

Das Gebiet liegt östlich eines als ‚stark ventiliert‘ ausgewiesenen Bereiches. Im nordwestlichen und östlichen Teil befinden sich lokale Kaltluftströme; mehr als die Hälfte der Gesamtfläche ist Kaltlufteinzugsgebiet. Bei der erheblichen Größe des Gebiets verbleibt allerdings ein ausreichend großes Areal ohne hochrangige klimatische Funktionen, so daß die Anlage eines Wohngebietes möglich ist, das keine Reduzierung von Kaltluftentstehungsflächen und keine nennenswerte Beeinträchtigung des derzeit gegebenen als günstig zu bezeichnenden ‚Siedlungsklimas‘ von Richterich verursachen wird. Eine nicht ganz auszuschließende Verstärkung des ‚Wärmeinseleffektes‘ dürfte ebenfalls höchstwahrscheinlich eher gering bleiben.

Als nicht unproblematisch ist dagegen die Folgewirkung in bezug auf die lufthygienische Situation in Alt-Richterich einzuschätzen, denn es muß von einer erheblichen Zunahme der Verkehrsbewegungen ausgegangen werden. Derzeit wäre ein Neubaugebiet verkehrlich nur über die Horbacher Straße angebunden. Diesbezüglich ist darauf hinzuweisen, daß an diesem – in Alt-Richterich zum großen Teil rückgebauten – Straßenabschnitt lt. Ergebnissen des Grob-Screening ‚IMMIS Luft‘ (vergl. HAVLIK u. KETZLER, 1996, Abb. 25) z.B. bei Benzol zunächst deutliche Überschreitungen der Prüfwerte berechnet worden sind (die beim Fein-Screening dann unterschritten wurden, wobei verkehrsbedingte Emissionszunahmen ohne weiteres wiederum zu einer Überschreitung führen können). Ähnliches ist auch bei anderen Schadstoffen zu vermuten. Aus lufthygienischer Sicht ist einem größeren Vorhaben daher nur bei erheblicher Verbesserung der derzeitigen Verkehrssituation zuzustimmen.

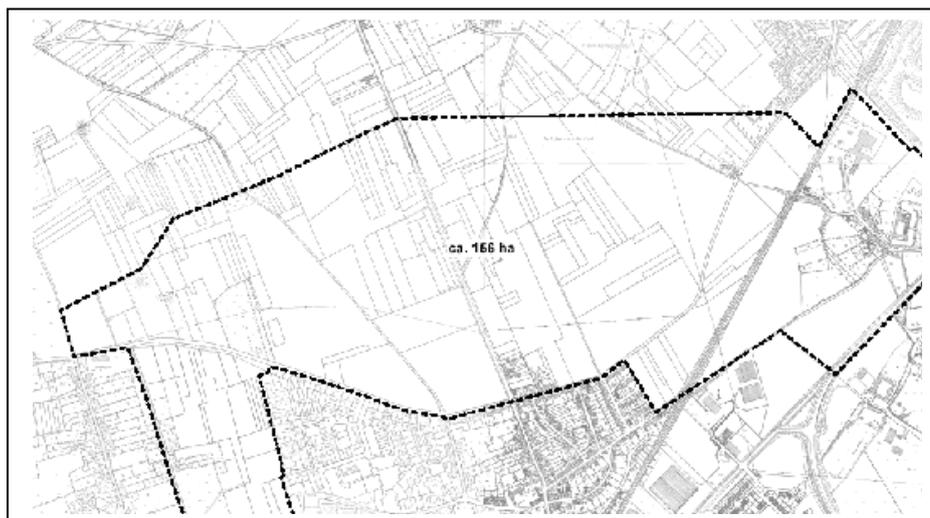
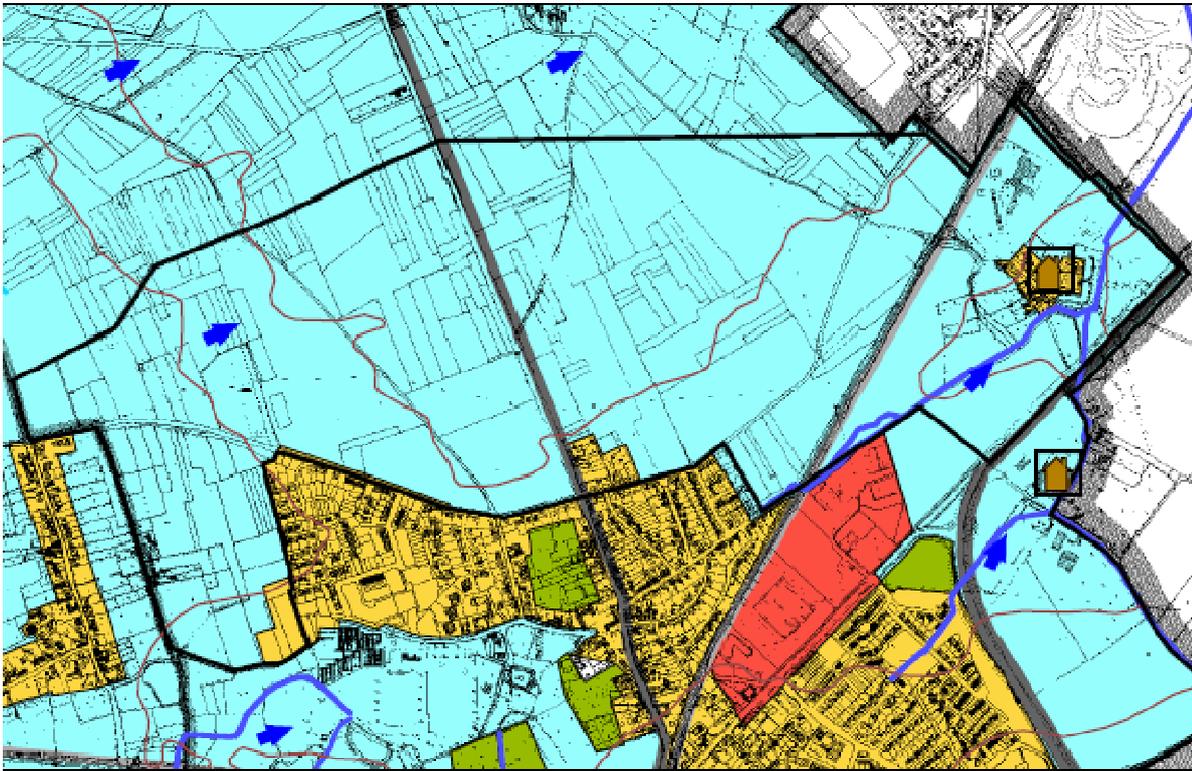
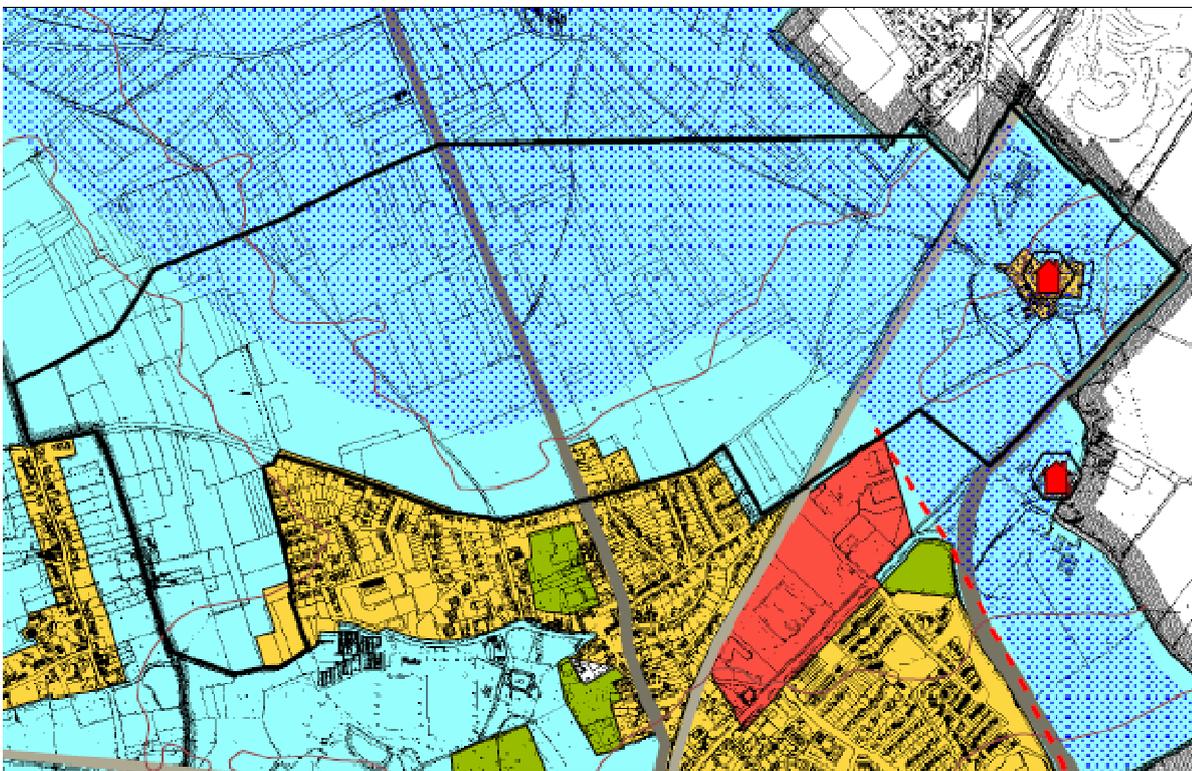


Abbildung 27f (oben und folgende Seite): Lageskizze sowie Auszüge aus der Klimafunktionskarte und der Karte der Planungsempfehlungen für das Sonderuntersuchungsgebiet Richterich-Nord

# Sonderuntersuchungsgebiet Richterich-Nord



Klimafunktionskarte



Karte der Planungsempfehlungen

### **Sonderuntersuchungsgebiet Gemmenicher Weg**

In der nordwestlichen Fortsetzung des Wohngebietes Hanbruch ist parallel zu der auf einem Damm geführten Bahnstrecke Aachen-West – Montzen ein ca. 5 ha. großes Areal als Wohnsiedlungsgebiet vorgesehen und teilweise schon bebaut. Das Gelände ist vergleichsweise stark in nordöstlicher Richtung geneigt.

Der topographischen Lage entsprechend kommt es im geplanten Bebauungsgebiet, wie auch westlich des Bahndammes zu nicht unbedeutenden Kaltluftabflüssen, teilweise auch - durch Überströmen des Bahndammes - aus dem Dorbachtal (vergl. hierzu Kap. 3.2.4.). Diese Kaltluft strömt in Richtung Vaalser Straße und trägt wesentlich zur Belüftung dieses Bereichs bis an den Westpark bei (vergl. hierzu Kap. 3.3.2., hier insbesondere Punkt 11) bei. Die Kaltluftströmung in diesem lokalklimatisch sensiblen Bereich hat also nicht unerhebliche Fernwirkung. Die vorgesehene Baumaßnahme ist aus klimatologischer Sicht von daher nachdrücklich abzulehnen.

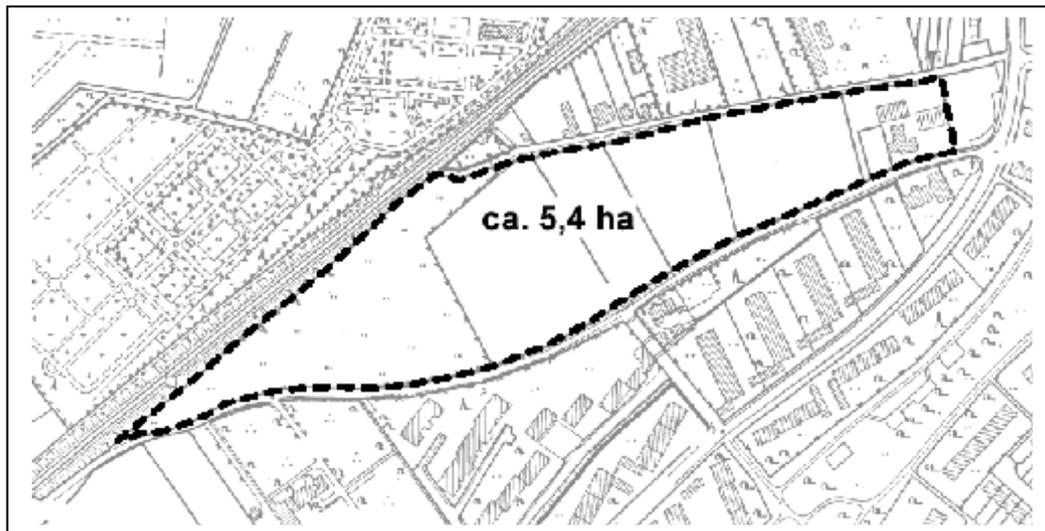
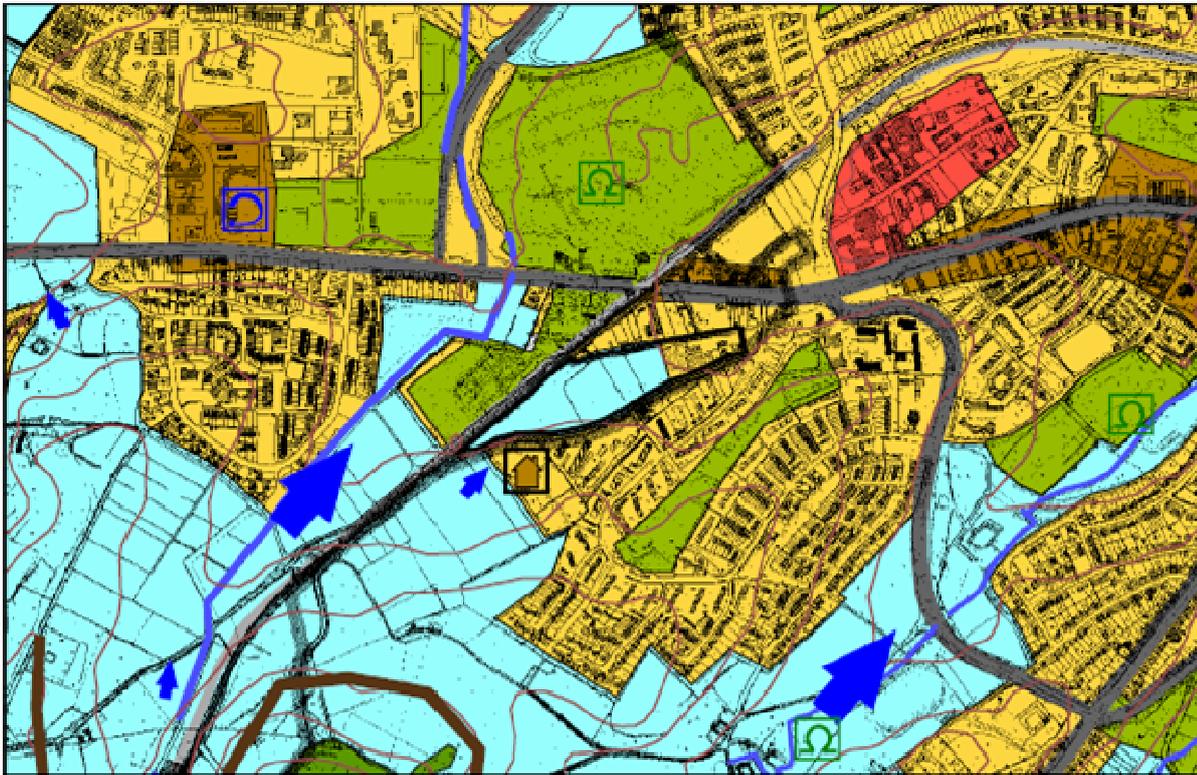
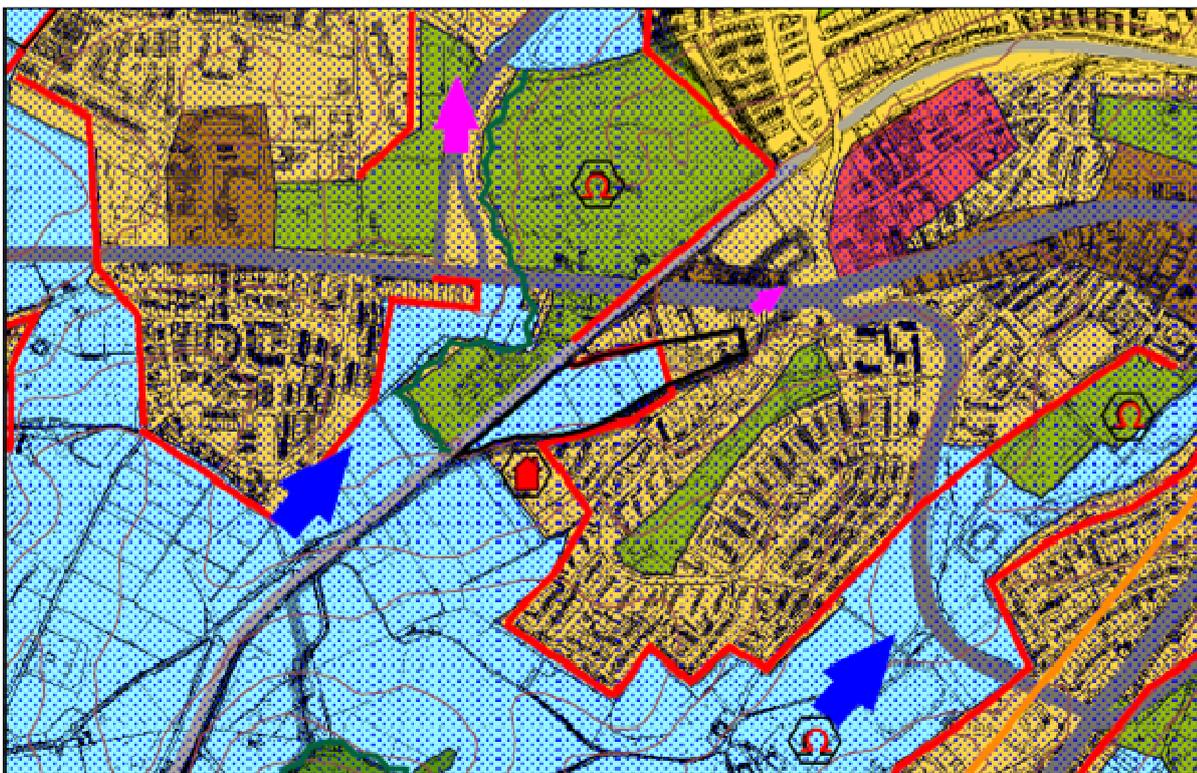


Abbildung 27g (oben und folgende Seite): Lageskizze sowie Auszüge aus der Klimafunktionskarte und der Karte der Planungsempfehlungen für das Sonderuntersuchungsgebiet Gemmenicher Weg

# Sonderuntersuchungsgebiet Gemmenicher Weg



Klimafunktionskarte



Karte der Planungsempfehlungen

## Sonderuntersuchungsgebiet Schurzelter Straße

Zwischen dem Aachener Klinikum im Nordosten und der Schurzelter Straße im Westen bzw. Südwesten ist auf einer Fläche von ca. 17 ha ein Wohnsiedlungsgebiet geplant. Es stellt die nordwestliche Erweiterung des Bereiches Kullen dar. Topographisch zählt dieser Bereich zum Talsystem Dorbach/Wildbach und wird im Westen begrenzt durch die Talfurche des Senserbaches sowie – nördlich anschließend – die Randbereiche des Schneeberggebietes.

Auf Grund seiner topographischen Lage befindet sich das Areal in einem Kaltluft-sammelgebiet. Kaltluftströme in Richtung Wildbachtal sind nachgewiesen (vergl. auch Kap. 3.3.2., hier insbesondere Punkt 11). Sie reichen bis in das tiefgelegene westliche Laurensberg. Es ist jedoch nicht abschließend zu klären, ob Kaltluftströme aus dem Dorbachtal bis in das geplante Bebauungsgebiet reichen. Ohne Zweifel würde sich das Entstehungsgebiet der das Wildbachtal durchströmenden Kaltluft durch die Baumaßnahme deutlich verkleinern, da ein erheblicher Teil des unmittelbar mit dem Wildbachtal in Verbindung stehenden Freiflächenareals oberhalb von Seffent in Anspruch genommen werden soll. Außerdem ist zu beachten, daß das hohe Verkehrsaufkommen am vor Immissionen besonders zu schützenden Klinikgelände keine Verschlechterung der Belüftungssituation zuläßt. Aus klimatologischer Sicht ist dem geplanten Bauvorhaben daher nur mit erheblichen Vorbehalten - insbesondere in bezug auf eine Bebauung in westlicher Verlängerung des Klinik-Parkplatzes und nördlich davon - zuzustimmen.

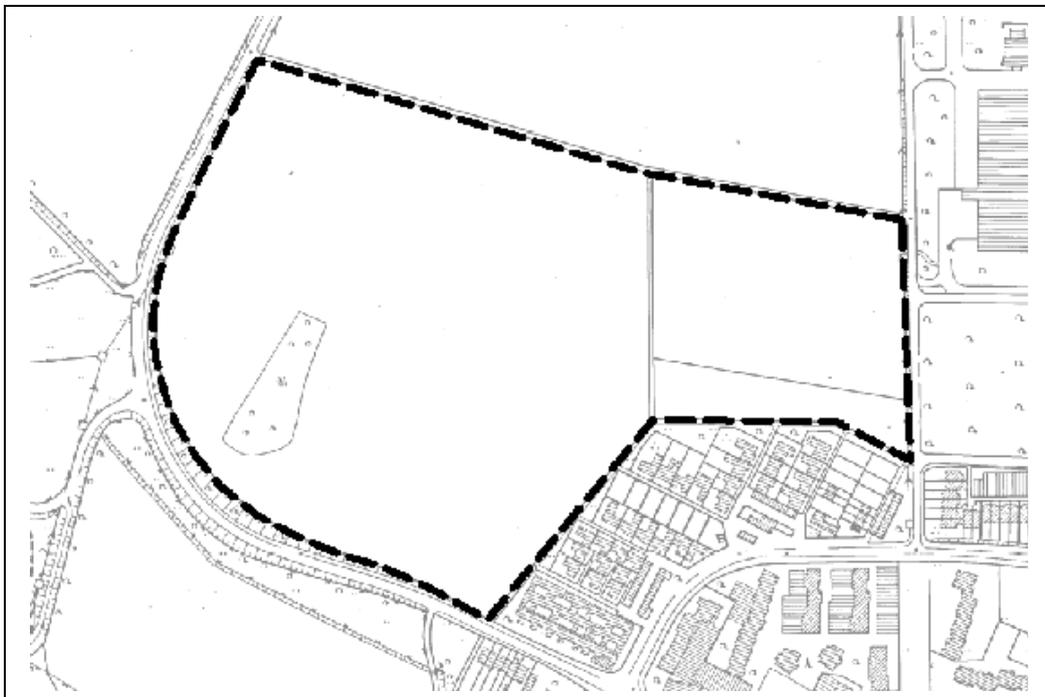
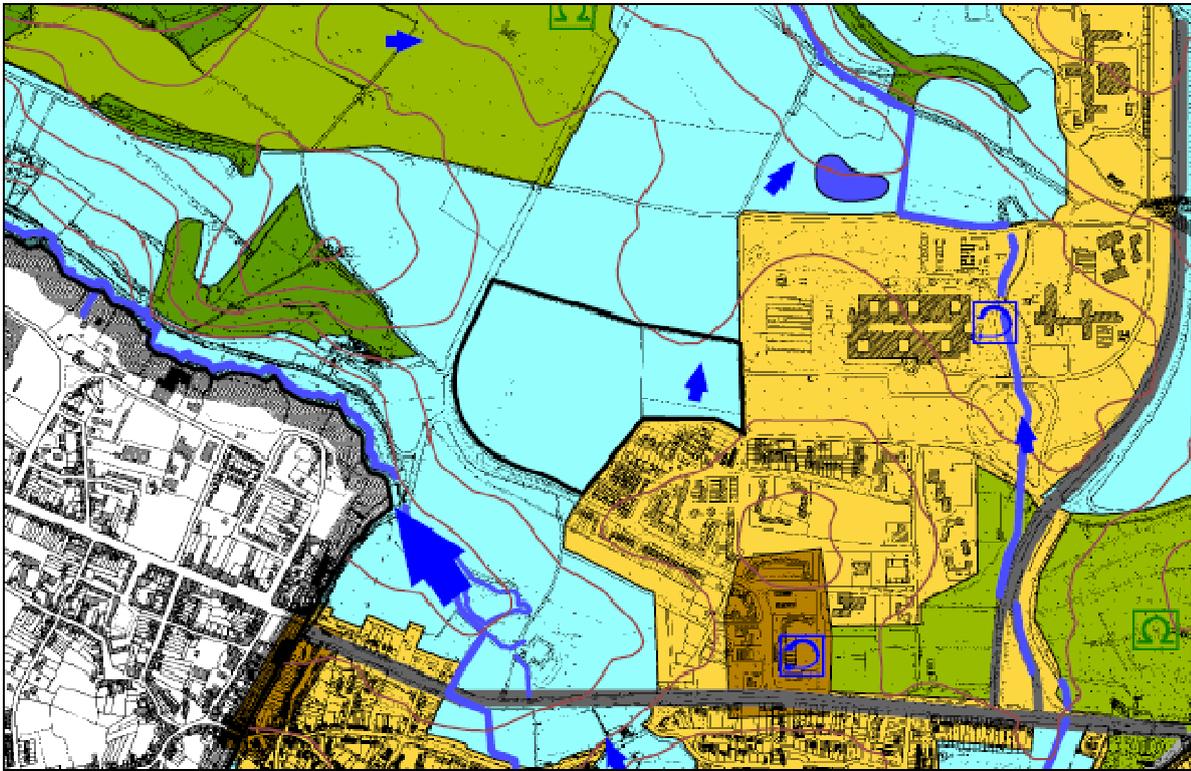


Abbildung 27h (oben und folgende Seite): Lageskizze sowie Auszüge aus der Klimafunktionskarte und der Karte der Planungsempfehlungen für das Sonderuntersuchungsgebiet Schurzelter Straße

# Sonderuntersuchungsgebiet Schurzelter Straße



Klimafunktionskarte



Karte der Planungsempfehlungen

## Sonderuntersuchungsgebiet Breitbenden

Im Südosten von Eilendorf, etwa südlich des Müselter Weges, ist auf einer Fläche von ca. 13 ha ein Wohnsiedlungsgebiet geplant. Es schließt sich im Nordwesten an lockere Einzelhausbebauung an, im Süden liegt – in einiger Entfernung – das noch im Aufbau begriffene Gewerbegebiet Eilendorf-Süd.

Die genannte Freifläche ist ein nicht unbedeutendes Kaltluftentstehungsgebiet. Kaltluftströme unterschiedlicher Intensität sind nachgewiesen. Im östlichen Teil reicht der Kaltluftstrom des Haarbachtals z.B. über Brander Straße und Lindenstraße zumindest bis zur sehr stark belasteten Von-Coels-Straße (sehr wahrscheinlich auch weiter). Dort trägt dieser zur Verbesserung der lufthygienischen Situation mit Sicherheit bei. Der westliche Teil gehört zum Einzugsgebiet eines kleineren Kaltluftstroms, der für die angrenzenden Wohnbebauung lokale Belüftungsfunktionen übernimmt.

Durch die geplante Baumaßnahme würde das derzeitige Kaltluftentstehungsgebiet zwar nicht zur Gänze aufgehoben, jedoch areal- und damit auch intensitätsmäßig sehr stark eingeschränkt werden. Damit steht zu befürchten, daß sich die Luftqualität im Süden von Eilendorf insgesamt verschlechtern wird. Aus klimatologischer Sicht ist von dem geplanten Bauvorhaben daher - insbesondere bei der vorgesehenen Größe und Lage - eher abzuraten.

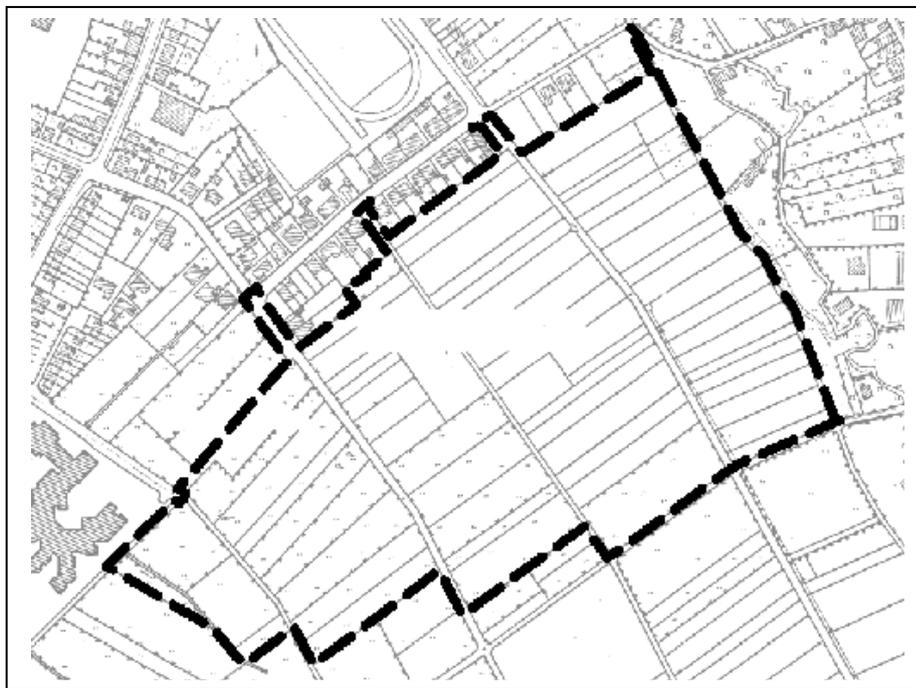
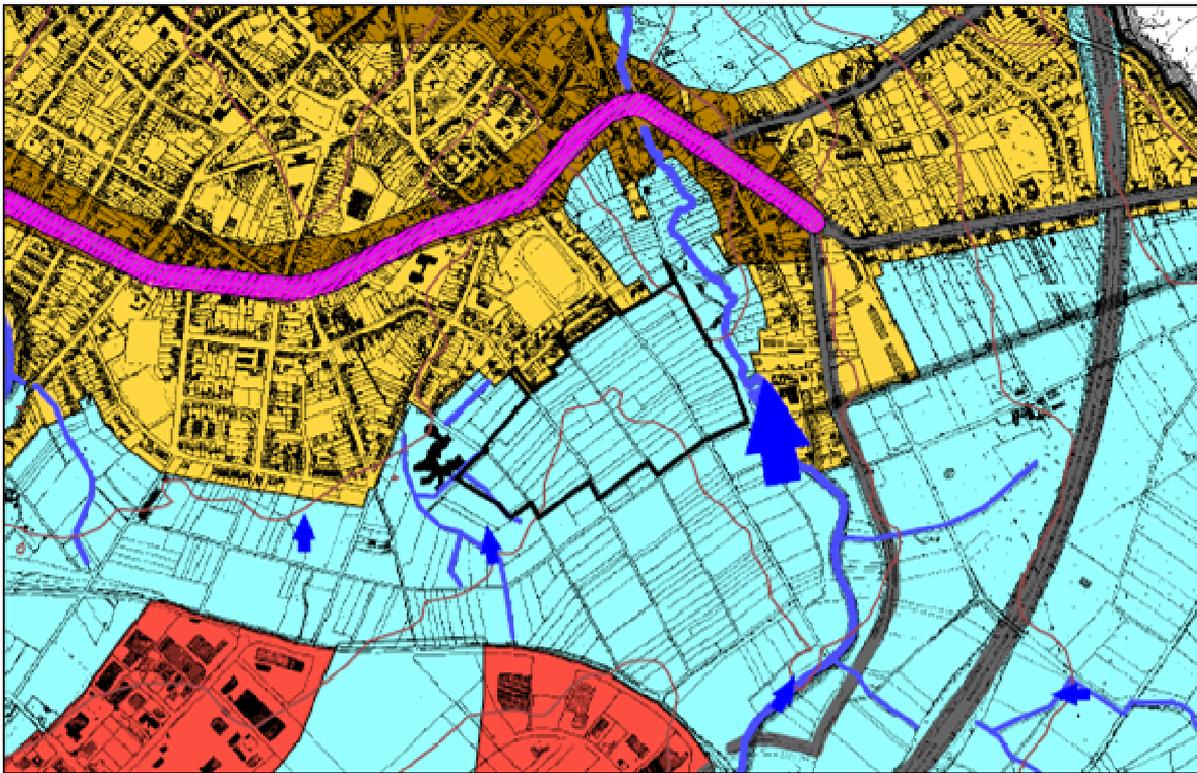
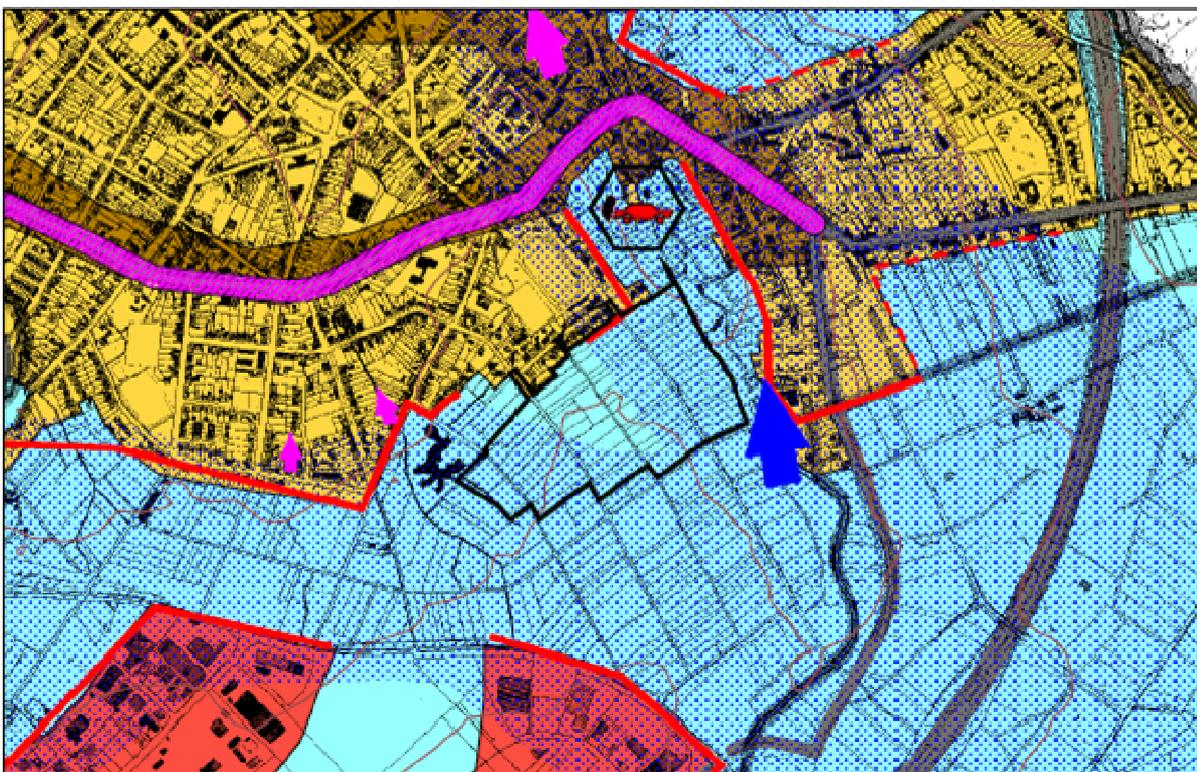


Abbildung 27i (oben und folgende Seite): Lageskizze sowie Auszüge aus der Klimafunktionskarte und der Karte der Planungsempfehlungen für das Sonderuntersuchungsgebiet Breitbenden

# Sonderuntersuchungsgebiet Breitbenden



Klimafunktionskarte



Karte der Planungsempfehlungen

## Sonderuntersuchungsgebiet Stettiner Straße

Das geplante Wohnsiedlungsgebiet mit einer Fläche von ca. 3 ha stellt eine Fortsetzung des Bereiches ‚Driescher Hof‘ zwischen Stettiner Straße und Grauenhofer Weg im Südosten dar. Es ist mit Ausnahme des Südostens – Richtung Autobahn A 44 – weitgehend von bebauter Fläche umgeben. Dies gilt teilweise auch für den Grenzbereich zum Grauenhofer Weg.

Auf Grund seiner Größe und der bereits vorhandenen randlichen Bebauung ist von einer nennenswerten Verbindung zum großen Kaltluftammel-/durchflußgebiet Grauenhofer Weg (siehe Stellungnahme zum dortigen Bauvorhaben bzw. zu "Ade-nauerallee") nicht auszugehen. Eine genügend breite Freifläche im Richtung Autobahn A 44 soll nach vorliegenden Unterlagen bestehen bleiben. Von daher bestehen aus klimatologischer Sicht gegen das geplante Bauvorhaben keine Bedenken.

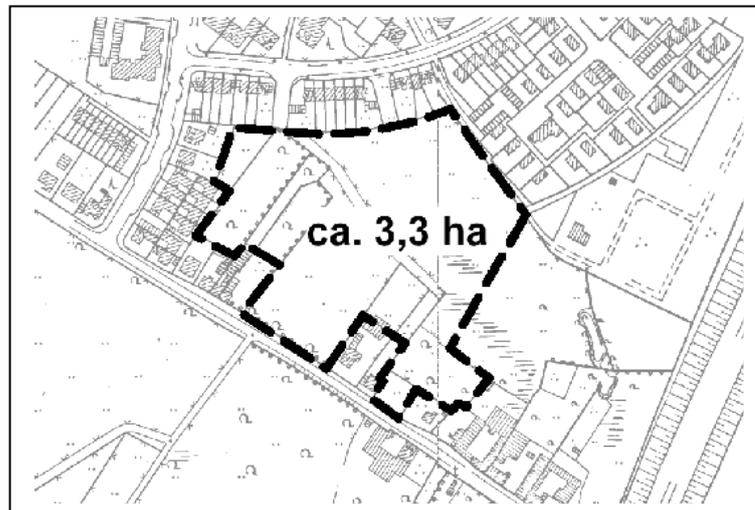
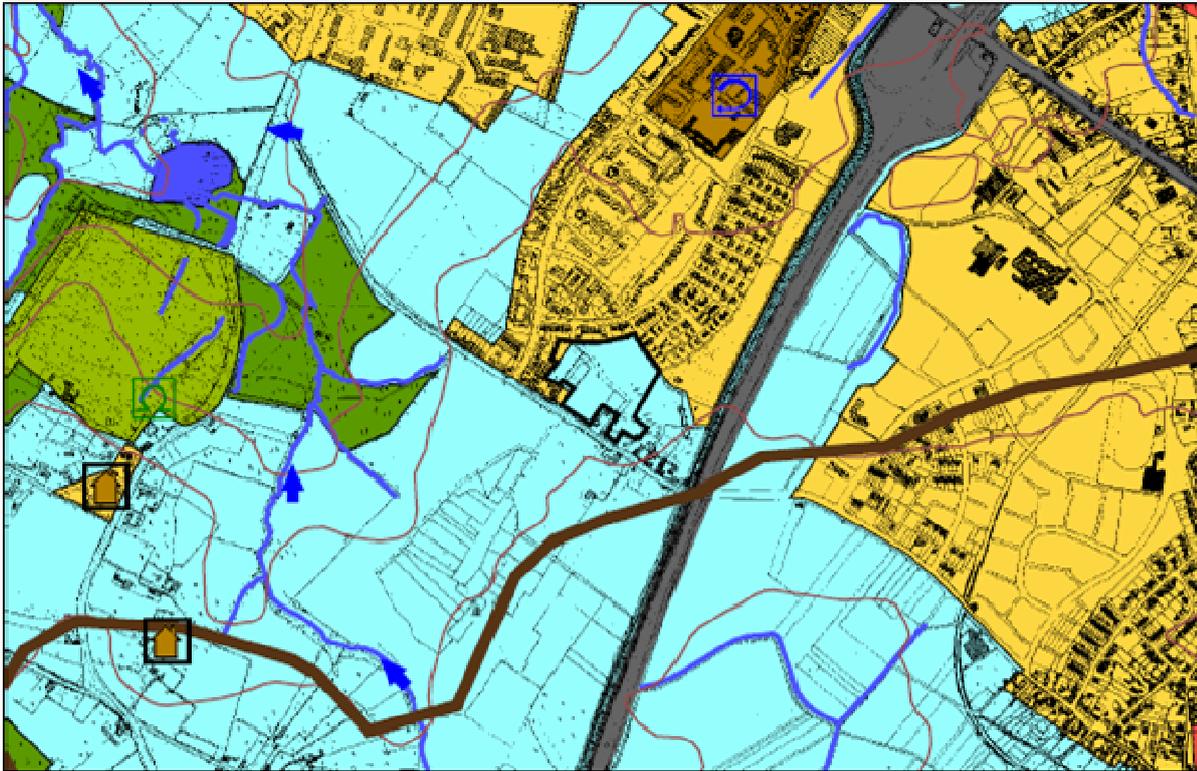
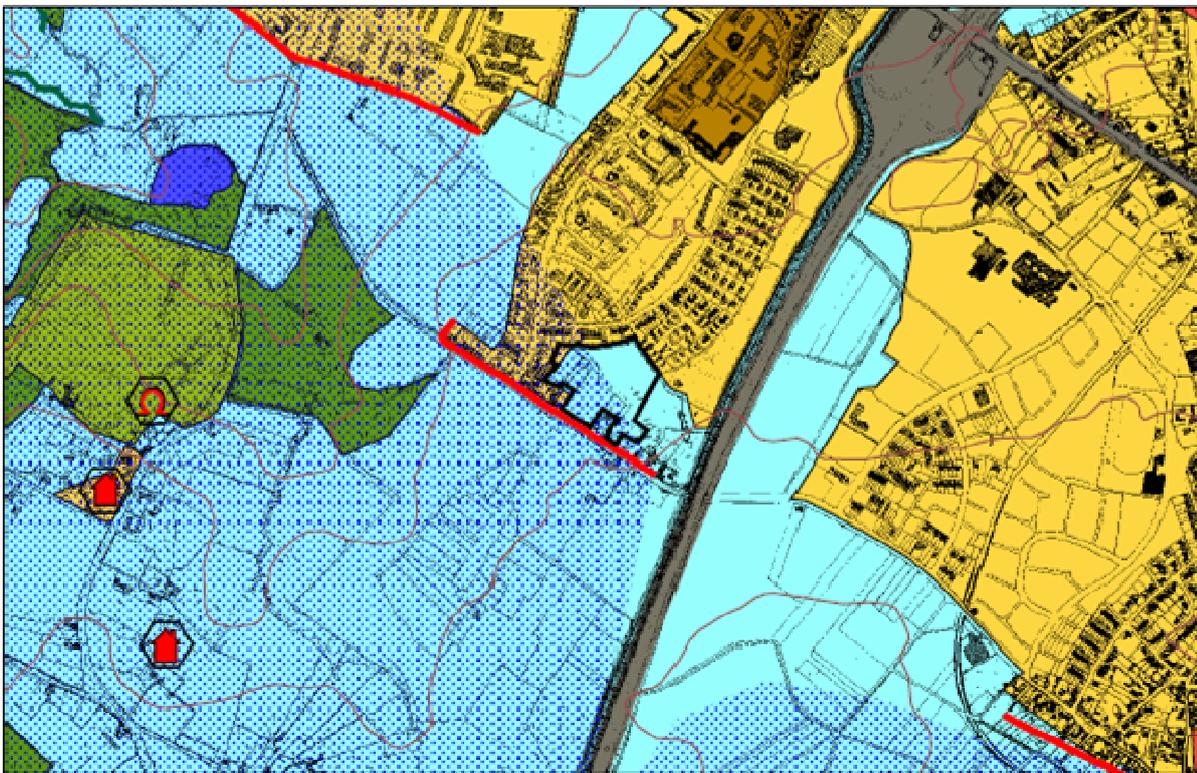


Abbildung 27j (oben und folgende Seite): Lageskizze sowie Auszüge aus der Klimafunktionskarte und der Karte der Planungsempfehlungen für das Sonderuntersuchungsgebiet Stettiner Straße

# Sonderuntersuchungsgebiet Stettiner Straße



Klimafunktionskarte



Karte der Planungsempfehlungen

## Sonderuntersuchungsgebiet Grauenhofer Weg

Im Bereich zwischen dem Wohngebiet ‚Driescher Hof‘ im Norden und Osten und dem Friedhof Lintert im Westen ist auf den Gewannen ‚Galgenplei‘ und ‚Pleierbruch‘ ein ca. 18 ha großes Wohnsiedlungsgebiet geplant. Derzeit ist das Areal vorwiegend grünlandgenutzt. Das Gelände fällt in Richtung Südsüdwest leicht ab.

Der Gesamtbereich ist Teil eines der großen Kaltluftsammlgebiete im Süden des Aachener Kessels (Beverbachtal, s.a. "Adenauerallee"). Auf Grund der Reliefverhältnisse strömt die Kaltluft in Richtung Süd/Südwest und schließlich entlang des Beverbaches zumindest bis in das Frankenberger Viertel. Von daher ist das Areal des geplanten Bebauungsvorhabens als Herkunftsgebiet unbelasteter Luft für eine der sehr bedeutenden Frischluftschneisen von Aachen anzusprechen. Die derzeit in nördlicher Richtung in die Bebauung hinein ragende Grünzone wird langfristig wichtige lokale Belüftungsfunktionen zu übernehmen haben, da bauliche Verdichtung im Gebiet nördlich der Trierer Straße (zwischen Diescher Hof, Forst und dem Gewerbegebiet Eilendorf-Süd) einen zusätzlichen Belüftungsbedarf schaffen wird. Von baulichen Maßnahmen jedweder Art ist deshalb mit großem Nachdruck abzuraten.

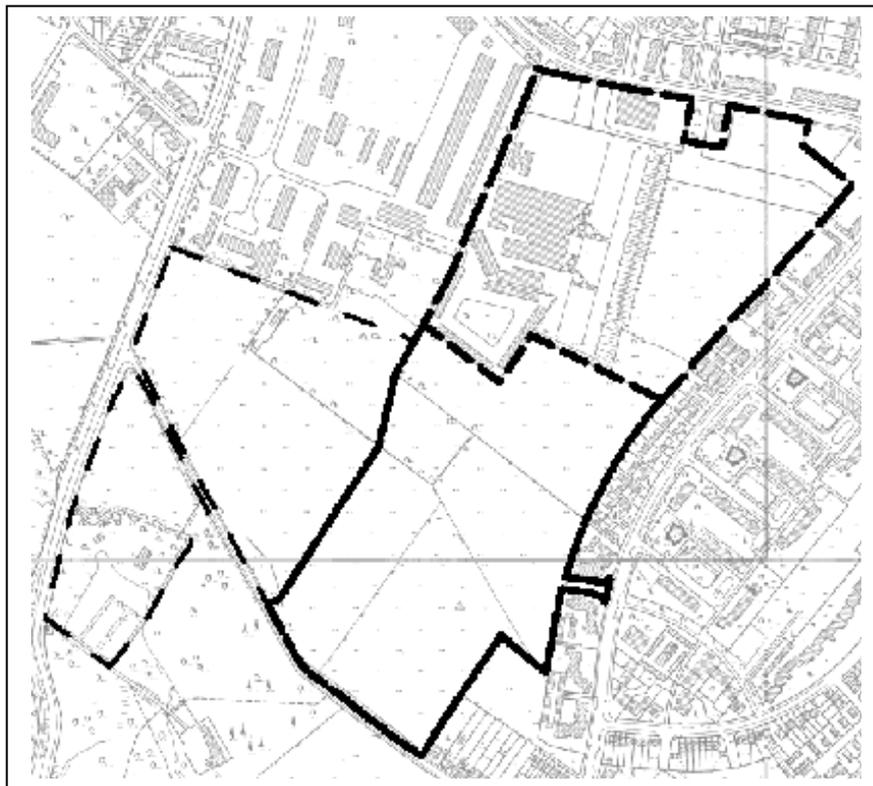
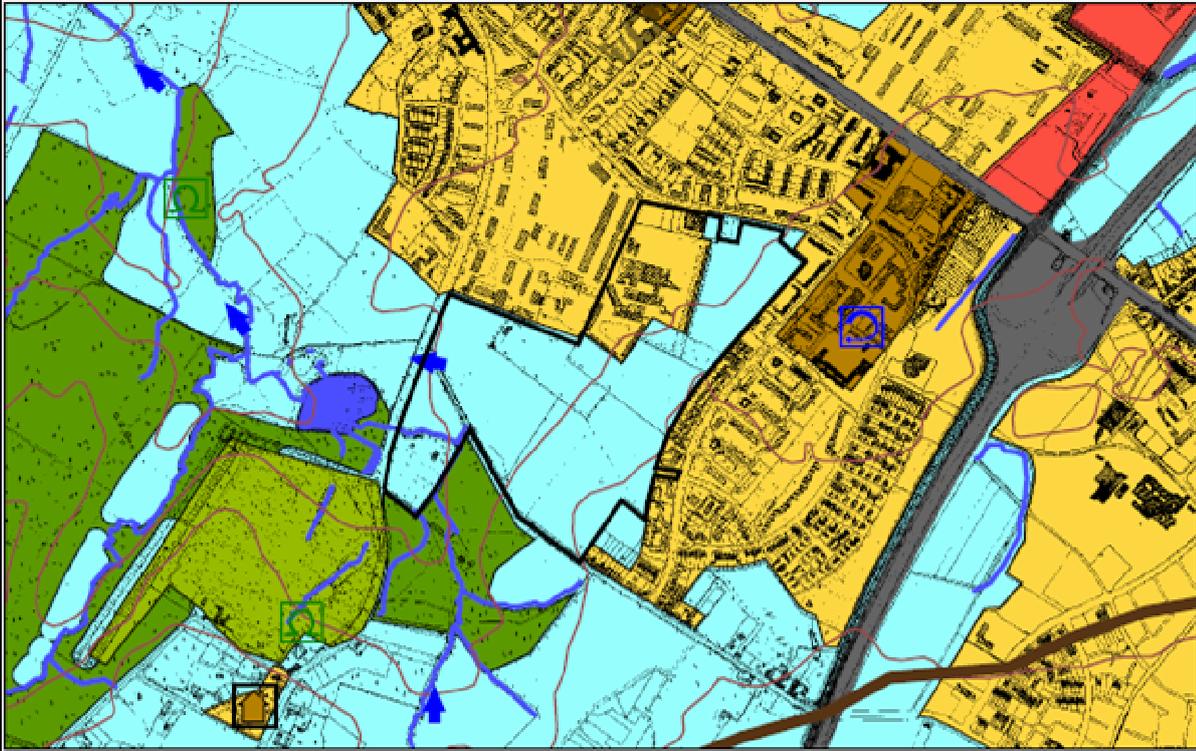
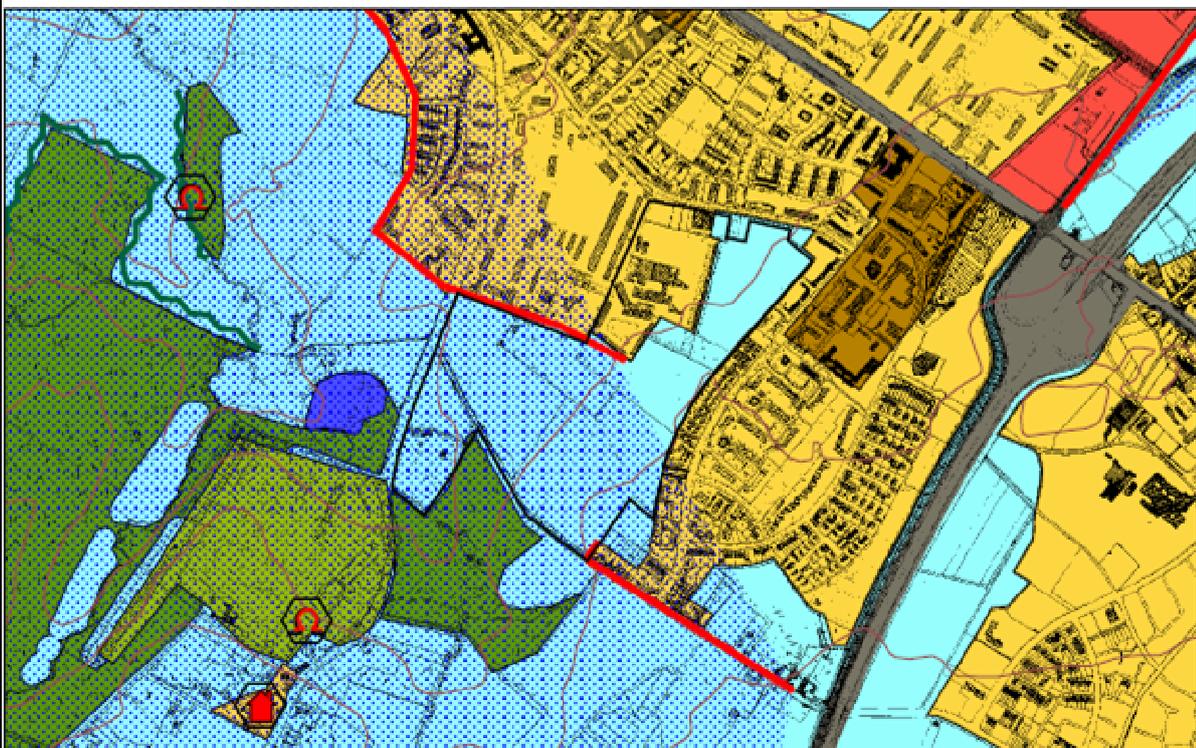


Abbildung 27k (oben und folgende Seite): Lageskizze sowie Auszüge aus der Klimafunktionskarte und der Karte der Planungsempfehlungen für das Sonderuntersuchungsgebiet Grauenhofer Weg

# Sonderuntersuchungsgebiet Grauenhofer Weg



Klimafunktionskarte



Karte der Planungsempfehlungen

## Sonderuntersuchungsgebiet Brander Feld

Beiderseits der Rombachstraße ist ein insgesamt ca. 7 ha großes Areal als Wohnsiedlungsgebiet vorgesehen. Es grenzt im Südwesten und Nordosten an bereits bebautes Gebiet an. Im Nordwesten befindet sich das von Freiflächen umgebene Schulzentrum Brand, im Südosten, jenseits des Vennbahnweges, Sportplatz und Schwimmhalle Brand.

In den vorhandenen Freiflächen sind ausweislich der Thermalkarten kleine Kaltluft-sammelgebiete zu erkennen, die – allein ihrer Größe wegen – jedoch nur untergeordneten Einfluß auf ihre Umgebung haben. Außerdem ist davon auszugehen, daß die größeren Freiflächen am Schulzentrum sowie am Sportplatz erhalten bleiben. Von daher bestehen aus klimatologischer Sicht gegen das geplante Bauvorhaben nur geringe Bedenken.

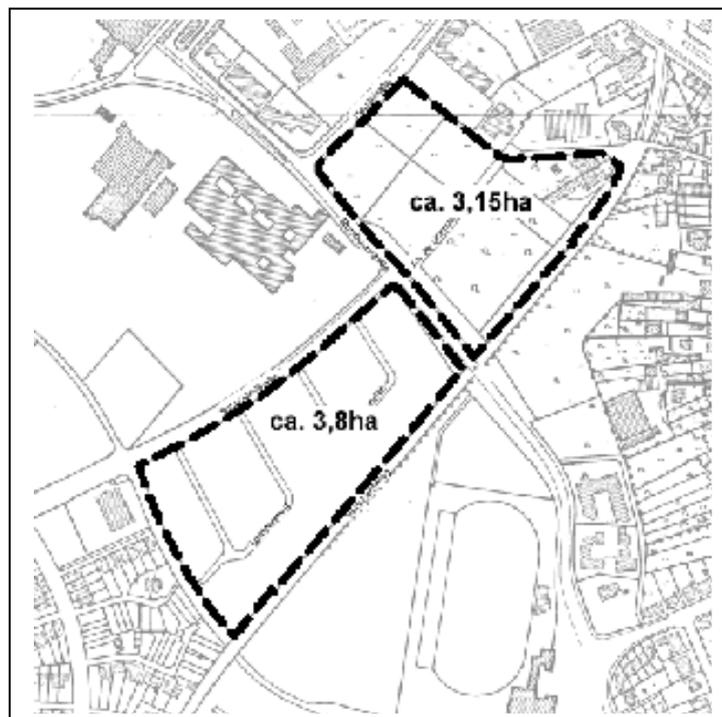
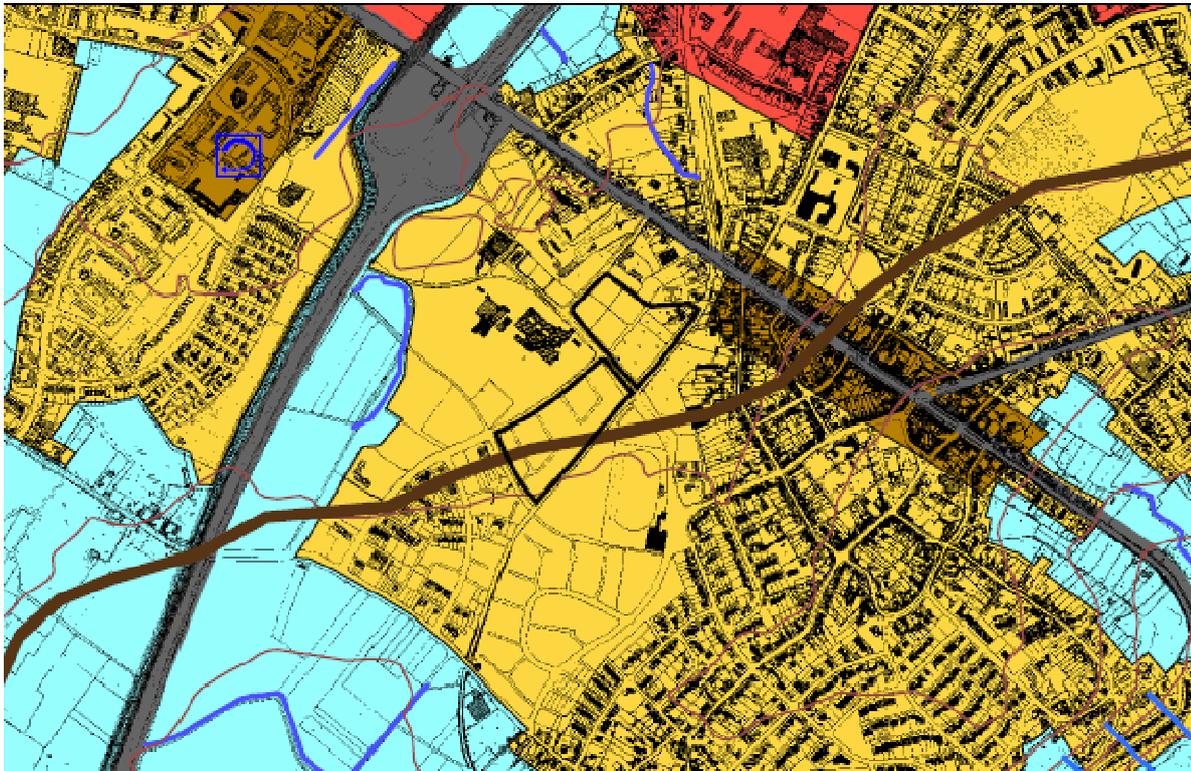
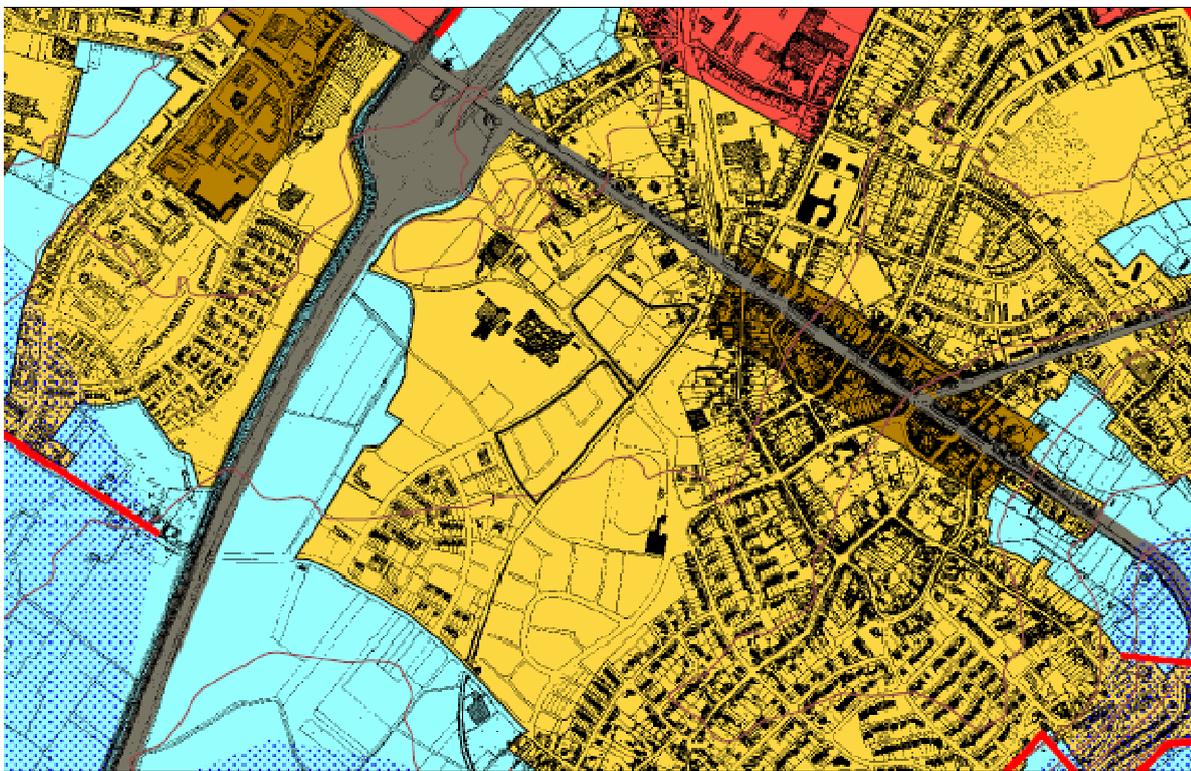


Abbildung 271 (oben und folgende Seite): Lageskizze sowie Auszüge aus der Klimafunktionskarte und der Karte der Planungsempfehlungen für das Sonderuntersuchungsgebiet Brander Feld

# Sonderuntersuchungsgebiet Brander Feld



Klimafunktionskarte



Karte der Planungsempfehlungen

## Sonderuntersuchungsgebiet Kornelimünster

Beiderseits der Schleckheimer Straße ist im Gewann ‚Im Putzfeld‘ ein ca. 10 ha großes (‚Kornelimünster West‘) sowie im Gewann ‚Auf dem Burghof‘ (‚Kornelimünster Süd‘) ein ca. 8 ha großes Wohnsiedlungsgebiet vorgesehen. In Nordostrichtung grenzt ‚Kornelimünster Süd‘ vollständig, der Bereich ‚Kornelimünster West‘ zum großen Teil an locker bebauten Wohnsiedlungsbereich in Einzel-/Doppelhausbebauung an. Das Gelände fällt in nordöstliche Richtung leicht ab.

Ausweislich der Thermalbefliegungen liegen beide Areale in Kaltlufteinzugsgebieten. Entlang der Schleckheimer Straße ist ein lokaler Kaltluftabfluß nachgewiesen. Ansonsten ist davon auszugehen, daß sich die Kaltluft zwischen den Wohngebieten laminar hangabwärts bewegt und damit den Westteil von Kornelimünster oberhalb des Indetales mit Frischluft versorgt.

Im Indetal selbst – und damit im Zentrum von Kornelimünster – herrscht Kaltluftstau mit geringen Strömungsgeschwindigkeiten vor. Dies ist topographisch bedingt (geringes Tallängsgefälle), wobei der dennoch vorhandene Kaltluftdurchfluß als lufthygienisch günstig zu bewerten ist. Die für ein Aufrechterhalten dieser Strömung erforderliche große Kaltluftzufuhr würde jedoch durch die geplante Baumaßnahme quantitativ mit Sicherheit verringert werden, und insbesondere im Westteil von Kornelimünster würde die zusätzliche lokale Belüftungsfunktion entfallen. Das führt zur Verschlechterung der lufthygienischen Situation. Von beiden Bebauungsvorhaben ist aus klimatologischer Sicht deshalb abzuraten.

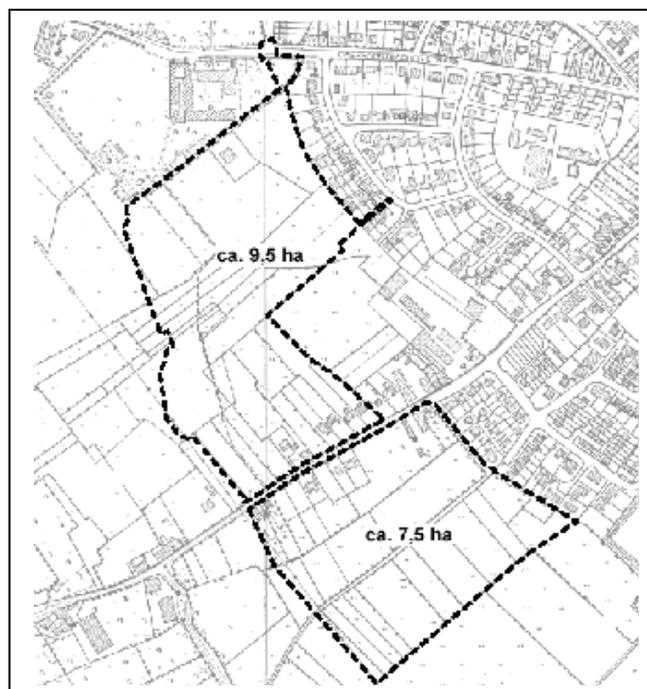
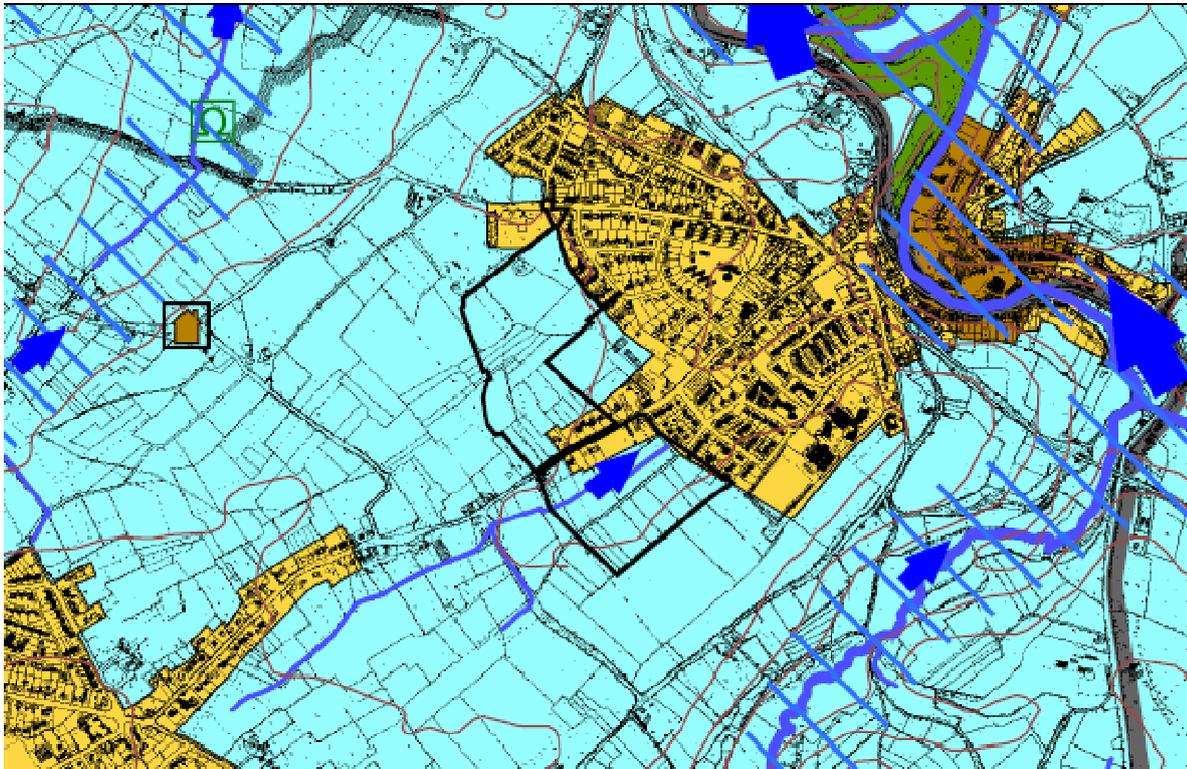
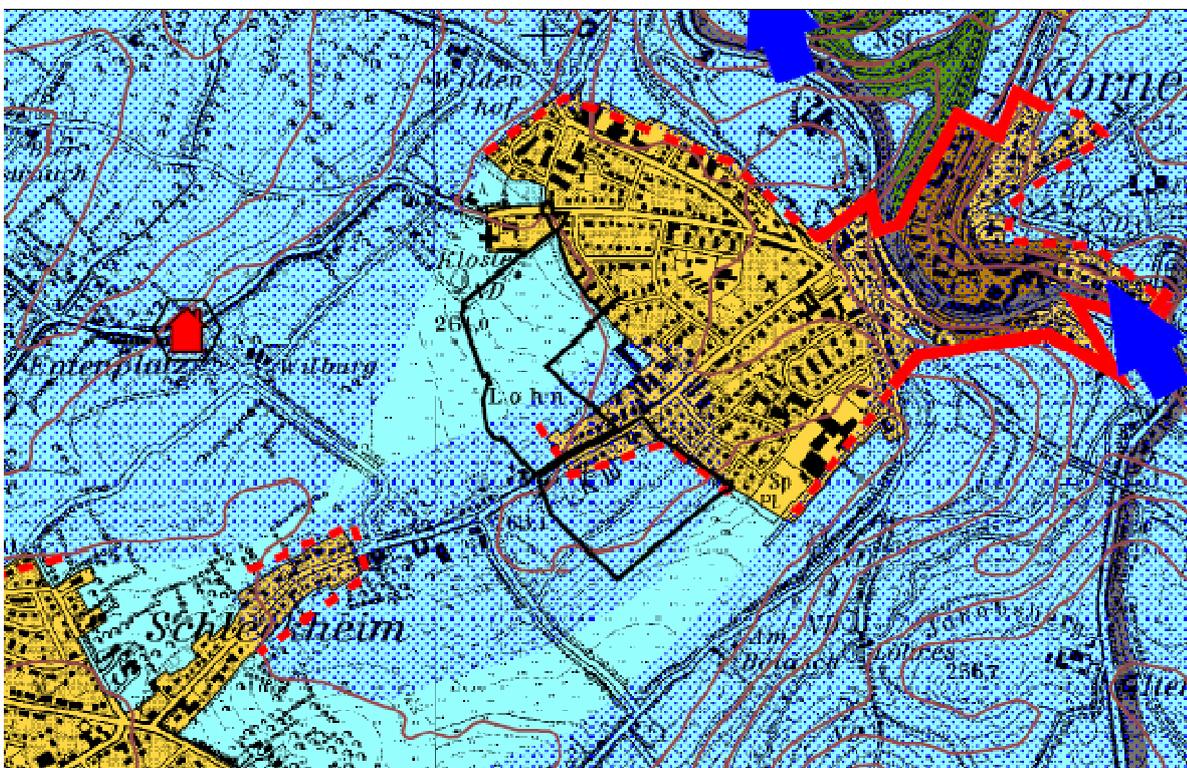


Abbildung 27m (oben und folgende Seite): Lageskizze sowie Auszüge aus der Klimafunktionskarte und der Karte der Planungsempfehlungen für das Sonderuntersuchungsgebiet Kornelimünster

# Sonderuntersuchungsgebiet Kornelimünster



Klimafunktionskarte



Karte der Planungsempfehlungen

Abbildung 27m

## Sonderuntersuchungsgebiet Deltourserb

Ein ca. 11 ha großes Areal im Südosten von Eilendorf zwischen Freunder Straße im Westen und der Autobahn A 44 im Osten sowie Deltourserb im Süden soll als Wohnsiedlungsgebiet ausgewiesen werden.

Das Areal liegt südlich der geschlossenen Bebauung entlang der Von-Coels-Straße. Ausweislich der Thermalbefliegungen handelt es sich hier um ein nicht unbedeutendes Kaltluftsammlgebiet. Der hauptsächliche Kaltluftstrom bewegt sich zwar entlang des Haarbachtals weiter im Westen. Es ist jedoch begründet zu vermuten, daß das in Frage stehende Bebauungsgebiet mit diesem in direktem Zusammenhang steht. Der Kaltluft- = Frischlufteinfluß zumindest bis zur sehr stark belasteten Von-Coels-Straße steht außer Frage. Von daher ist dem geplanten Bauvorhaben nur mit sehr erheblichen Bedenken zuzustimmen.

Zumindest sollte dafür Sorge getragen werden, daß breite Durchlüftungsschneisen in Südwest - Nordost-Richtung geschaffen und die Wohngebäude in dieser Richtung angeordnet errichtet werden. Von einer Bepflanzung mit hochstämmiger Vegetation im Bebauungsgebiet sollte Abstand genommen werden.

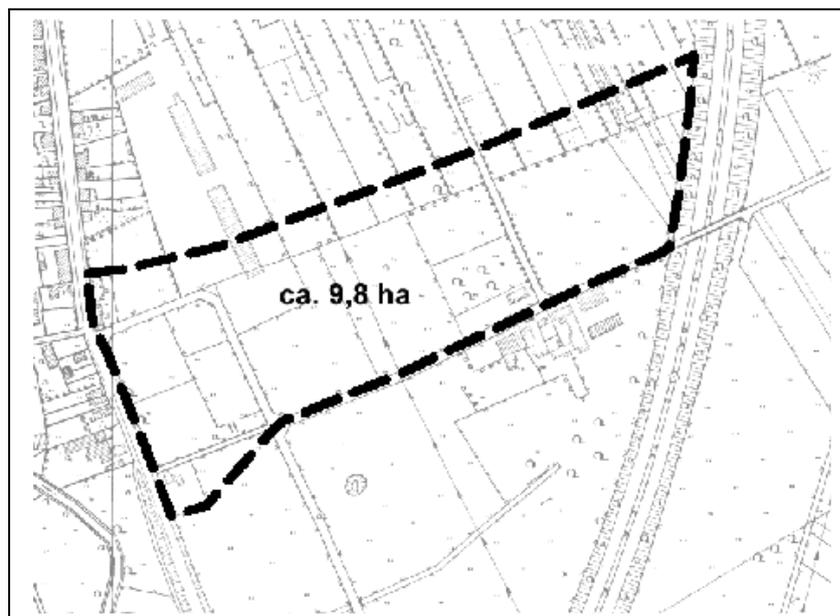


Abbildung 27n (oben und folgende Seite): Lageskizze sowie Auszüge aus der Klimafunktionskarte und der Karte der Planungsempfehlungen für das Sonderuntersuchungsgebiet Deltourserb



## Sonderuntersuchungsgebiet Camp Pirotte

Das ehemals von Belgischen Streitkräften genutzte Areal liegt in der Ortslage Freund zwischen Nordstraße im Süden, Eckenerstraße im Westen und Weiern im Norden. Camp Pirotte zählt zu den hochversiegelten Gebieten in Aachen (vergl. hierzu Abb. 2) und soll – inklusive eines kleinen Bereiches nördlich der Autobahn A 44 bis zur Debyestraße („Haarhof“) – als Gewerbegebiet ausgewiesen werden.

Für den Bereich südlich der A 44 ist auf Grund der Topographie und der Bebauungsstruktur der benachbarten Flächen ein nennenswerter Luftaustausch mit der Umgebung nicht nachzuweisen. Eine gewerbliche Nutzung im üblichen Rahmen würde – klimatologisch – weder negative Auswirkungen auf die Nachbarschaft haben (soweit jedenfalls die teilweise angrenzende Wohnbebauung vor zusätzlichen Immissionen geschützt wird) noch den derzeitigen Versiegelungsgrad erhöhen. Von daher bestehen aus klimatologischer Sicht keine grundsätzlichen Bedenken gegen das dortige Bauvorhaben, allerdings sollte zur Autobahn ein ausreichender Freiraumstreifen eingehalten werden, da die Flächen beiderseits der Autobahn eine Belüftungsbahn darstellen, die langfristig gesichert werden sollte.

Bedenken sind hingegen im Bereich „Haarhof“ zu sehen. Es handelt sich hier um vorwiegend Grünland mit Tendenz zu nächtlicher Kaltluftbildung und daraus folgendem lokalen Kaltluftabfluß entlang des Haarbaches in Richtung Eilendorf. Die sich von dort aus in Bewegung setzende Kaltluft ist – trotz Autobahnnähe – eher gering belastet. Von daher ist eine mögliche Bebauung des Bereiches „Haarhof“ bzw. eine Verkehrsführung über dieses Gebiet aus klimatologischer Sicht abzulehnen.

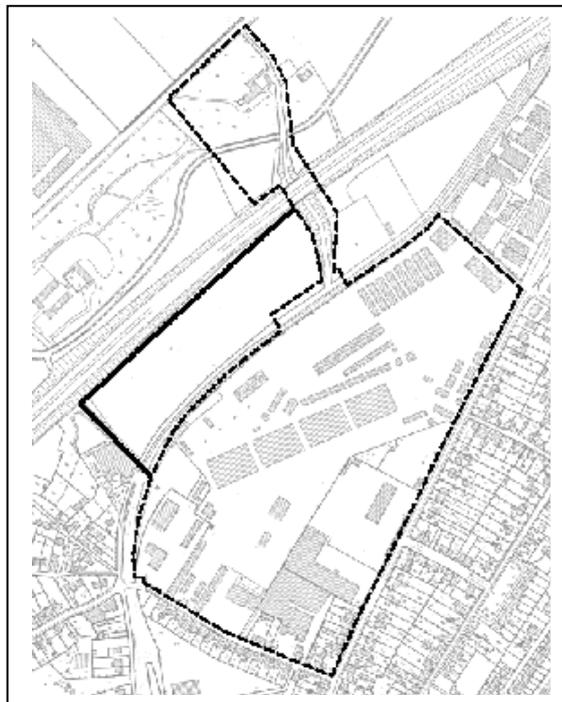
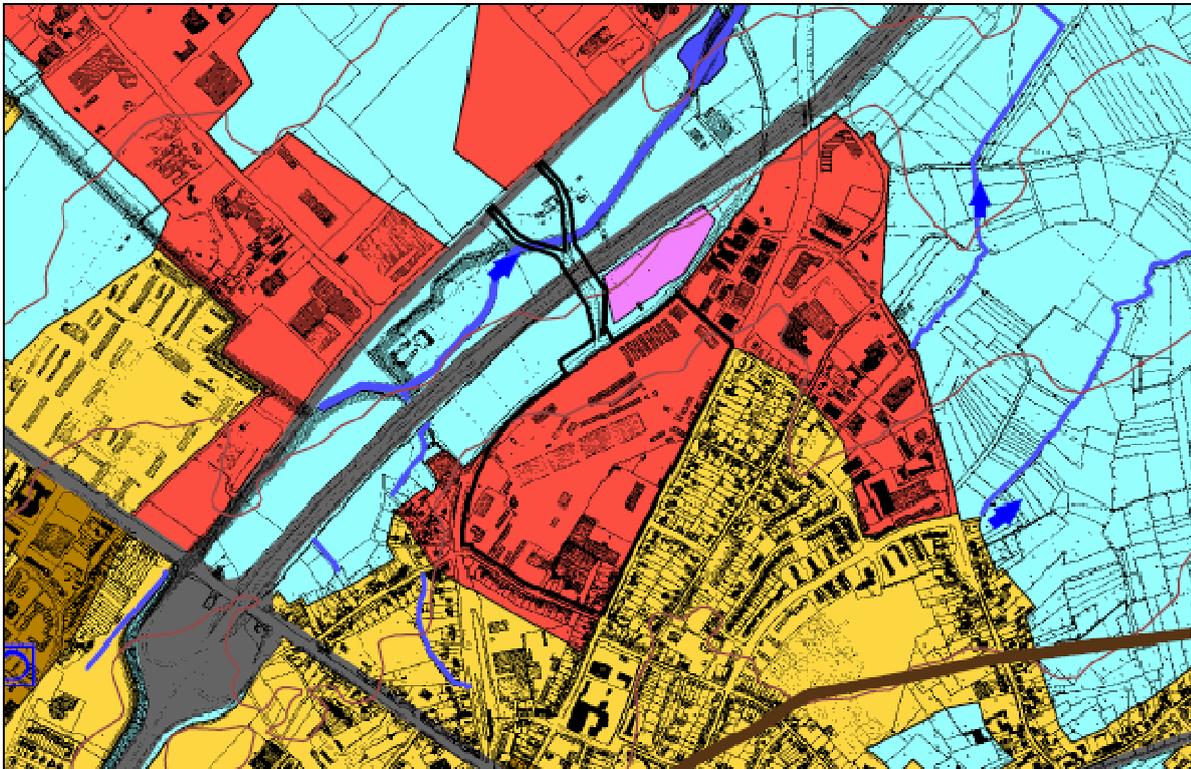
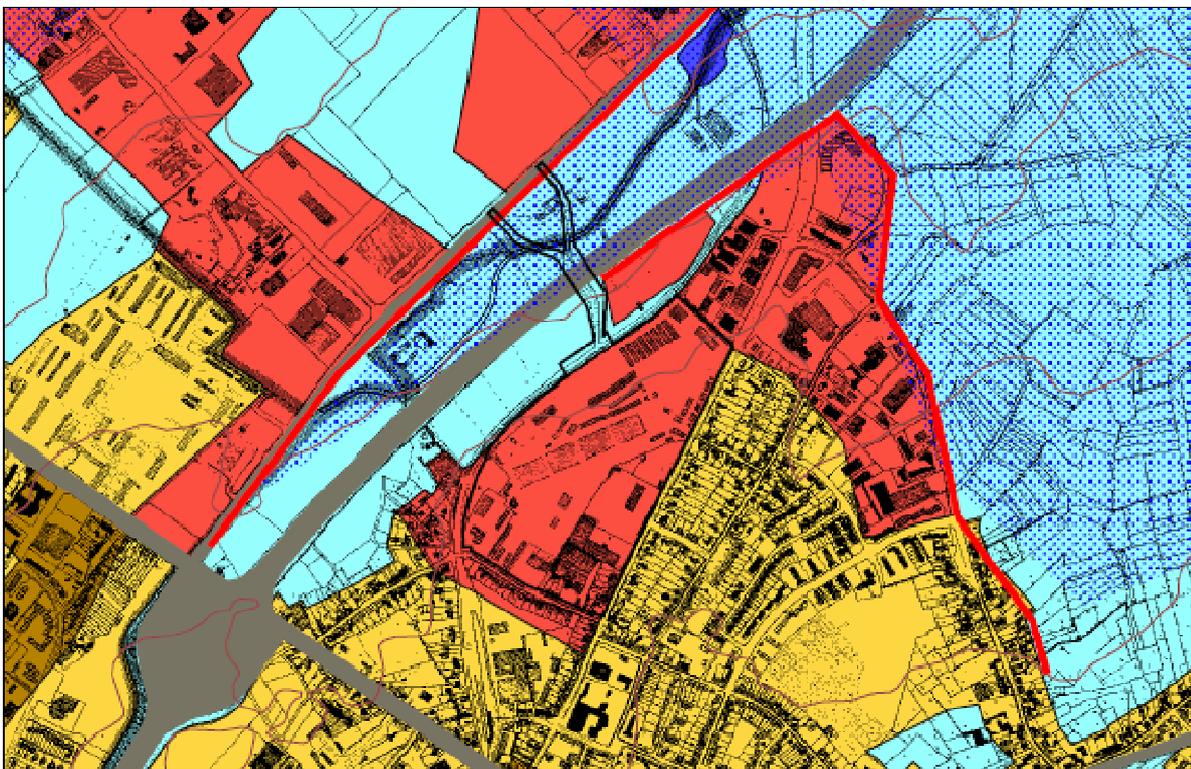


Abbildung 27o (oben und folgende Seite): Lageskizze sowie Auszüge aus der Klimafunktionskarte und der Karte der Planungsempfehlungen für das Sonderuntersuchungsgebiet Camp Pirotte

# Sonderuntersuchungsgebiet Camp Pirotte



Klimafunktionskarte



Karte der Planungsempfehlungen

## Sonderuntersuchungsgebiet Bahnhof West

Das geplante Bebauungsgebiet umfaßt etwa zwischen Kühlwetterstraße und Süsterau i.W. die Gleisanlagen der derzeitigen Güterbahnhofes und zwischen Süsterau und Schurzelter Straße eine Freifläche. Das Gelände weist eine Fläche von ca. 20 ha auf.

Für das geplante Bebauungsgebiet liegt bereits eine detaillierte Stellungnahme mit ersten Planungsempfehlungen vor (HAVLIK u. KETZLER, 1999). Danach sollte die u.a. durch Rauchgasversuche (siehe Kap. 3.2.4.) nachgewiesene Belüftungschneise entlang der Achse Kopernikusstraße – Kühlwetterstraße sowie die – mit hoher Wahrscheinlichkeit vorhandene – Belüftungsbahn entlang des Hauptgleiskörpers in jedem Fall offen gehalten bzw. erweitert werden. Bei Beachtung solcher Vorgaben durch die Planung bestehen keine grundsätzlichen Bedenken gegen das Bauvorhaben.

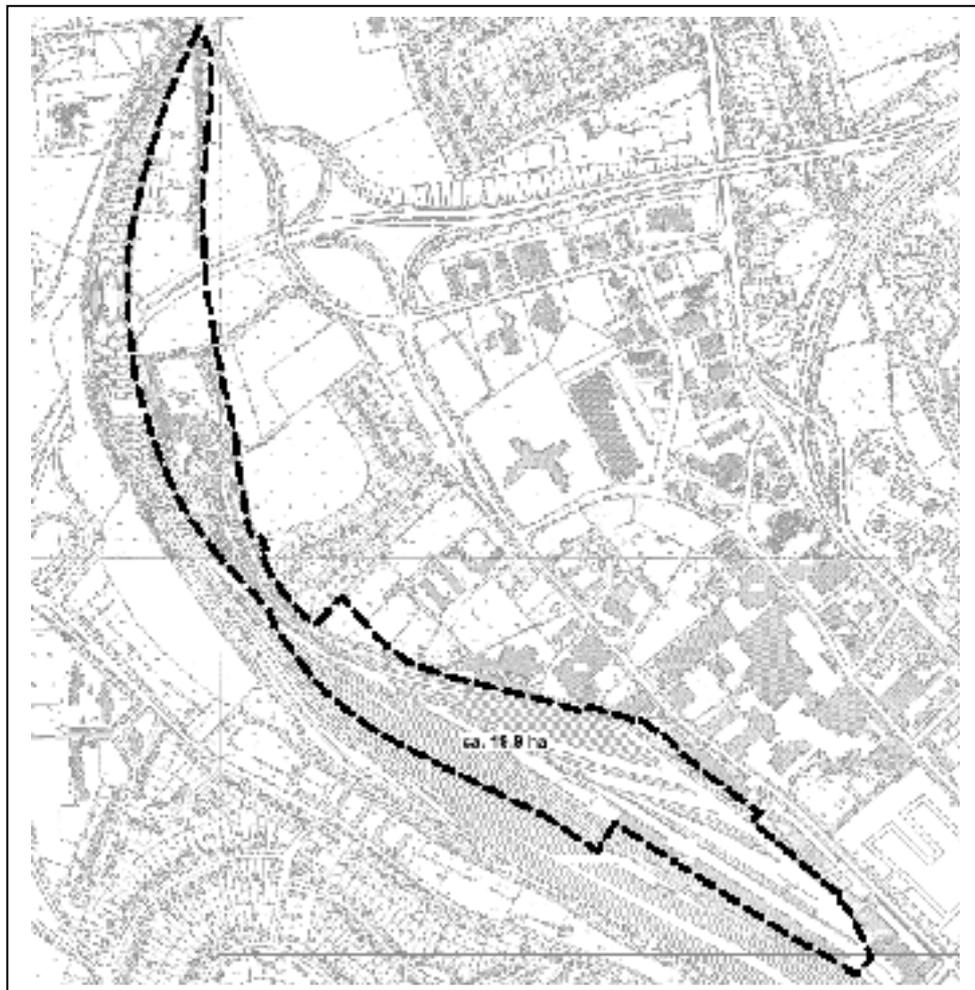


Abbildung 27p (oben und folgende Seite): Lageskizze sowie Auszüge aus der Klimafunktionskarte und der Karte der Planungsempfehlungen für das Sonderuntersuchungsgebiet Bahnhof West

# Sonderuntersuchungsgebiet Bahnhof West



Klimafunktionskarte



Karte der Planungsempfehlungen

## Sonderuntersuchungsgebiet Hauptbahnhof

Nach vorliegenden Informationen wird das in Frage kommende Gelände wie folgt begrenzt : im SE durch die derzeitige Bebauungsgrenze entlang Kasinostraße und Kamperstraße, im W etwa durch die Mozartstraße und im NNW durch die Achse Leonhardstraße – Lagerhausstraße – Römerstraße. Das so umgrenzte Gelände hat eine Fläche von ca. 23 ha. Über die in Aussicht stehende bauliche Nutzung liegen keine Informationen vor. Der diesbezügliche ‚Städtebauliche Rahmenplan Aachen – Hauptbahnhof‘ (für einen Teil des genannten Gebiets) berücksichtigt eher die randlich gelegenen Bereiche, geht jedoch vom Weiterbestehen der derzeit vom Durchgangsverkehr genutzten Gleiskörper aus.

Unter dieser Voraussetzung dürfte die derzeitige Belüftungsfunktion – entlang der Hauptwindrichtung – sowie das für die unmittelbare Umgebung wichtige thermische Verhalten des Gleiskörpers (siehe "Rothe Erde") im wesentlichen erhalten bleiben. Dies ist unbedingt erforderlich, da diese Belüftungsfunktion auf den Bereich Normaluhr gerichtet ist, der als lokale städtische Wärmeinsel zu identifizieren ist. Nicht beeinträchtigt werden darf auch der entlang der Mozartstraße nachgewiesene und mit großer Sicherheit auch über den Gleiskörper führende Frischluftstrom aus dem Kannegießer-/Ponellbachtal. Der Bereich westlich einer Linie Kreuzung Goethestraße / Hohenstaufenallee - Leonhardplatz ist von Hindernissen freizuhalten. Inwieweit eine ähnliche Belüftungsschneise entlang der von Belgien kommenden Bahntrasse existiert, konnte bislang nicht untersucht werden. Sicherheitshalber sollte eine Belüftungsschneise von dort in Richtung auf den Kreuzungsbereich Reumontstraße / Burtscheider Straße in ausreichender Breite freigehalten werden. Die im o.e. Rahmenplan vorgesehenen baulichen Entwürfe - Längsrichtung der Gebäude in S – N – Richtung – sind aus klimatologischer Sicht als akzeptabel anzusehen.

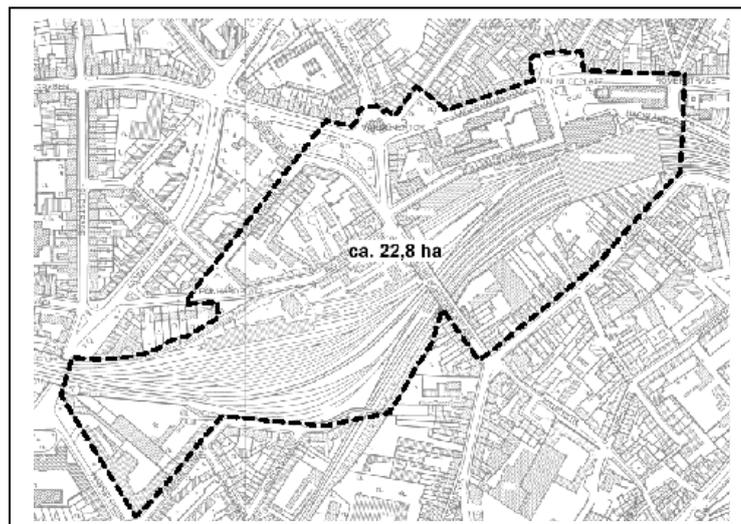
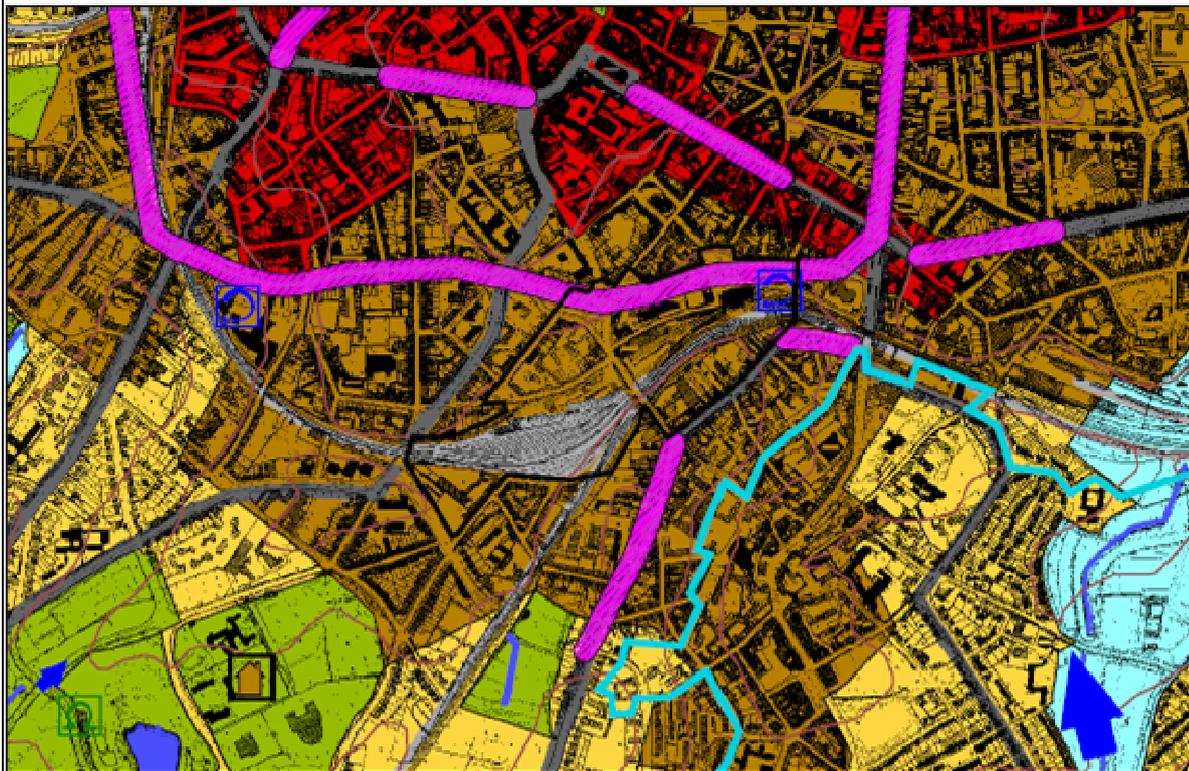


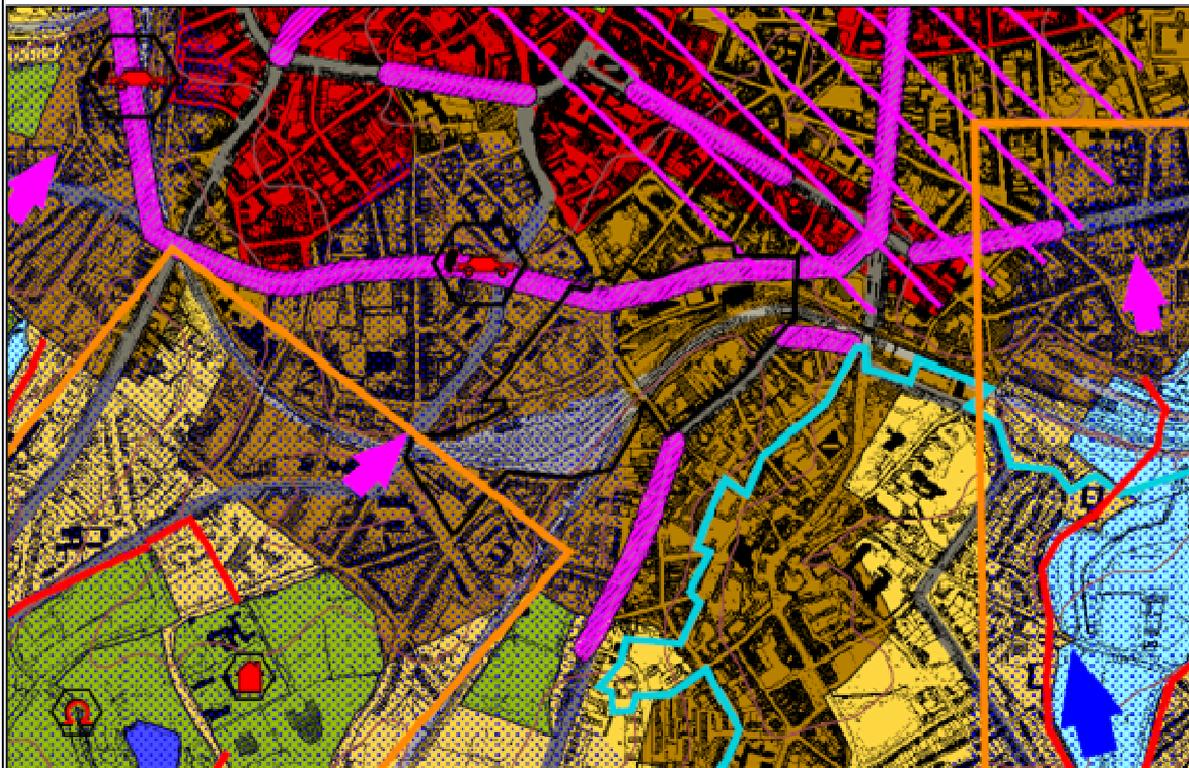
Abbildung 27q (oben und folgende Seite): Lageskizze sowie Auszüge aus der Klimafunktionskarte und der Karte der Planungsempfehlungen für das Sonderuntersuchungsgebiet Hauptbahnhof



# Sonderuntersuchungsgebiet Hauptbahnhof



Klimafunktionskarte



Karte der Planungsempfehlungen

## **Anhang XI: Verzeichnis der Karten in der Anlage**

Dem Anhang liegen folgende Karten bei:

Abbildung 2: Versiegelungsgrad

Abbildung 3: Nutzungsstruktur

Abbildung 4: Klimadaten ausgewählter Stationen

Abbildung 7: Emissionen / Immissionen

Abbildung 8: CO<sub>2</sub>-Konzentrationen

Abbildung 10: Ergebnisse der Flechtenkartierung

Abbildung 11: Übersichtskarte

Abbildung 20: Ergebnisse der Meßfahrten

Abbildung 24: Höhenmodell aus Radar-Befliegung

Abbildung 25a: Oberflächenstrukturen

Abbildung 25b: Ausschnitt GIS-Auswertung

Klimafunktionskarte

Karte der Planungsempfehlungen

Thermalkarte I. - Abendbefliegung (in der Kartentasche)

Thermalkarte II. - Morgenbefliegung (in der Kartentasche)

Thermalkarte III. - Temperaturdifferenzen (in der Kartentasche)

Thermalkarte IV. - Klassifizierte Thermalkarte (in der Kartentasche)

3D-Radarbild



## Zusammenfassung

### 1. Allgemeines

Das Geographische Institut, Abteilung Physische Geographie, der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule (RWTH) Aachen, wurde 1997 vom damaligen Umweltamt der Stadt Aachen mit der Projektleitung eines Klimagutachtens für das gesamte Stadtgebiet betraut.

Der vorliegende Bericht wurde vom Geographischen Institut der RWTH erstellt. Er enthält die von der RWTH erarbeiteten sowie von den anderen beteiligten Auftragnehmern und Mitwirkenden bereitgestellten Ergebnisse.

### 2. Mitwirkende Institute, Fachbüros

Die Klimaanalyse entstand unter Mitwirkung von:

- \* Geographisches Institut der RWTH Aachen
  - Federführung in der Durchführung und Gutachtenberichterstattung
  - Beteiligung an den terrestrischen Messungen (Feststationen, Windfeldmessungen), kleinräumige Vertikaluntersuchungen mittels Fesselballon und Kleinsonde
- \* Büro Steinicke & Streifeneder, Umweltuntersuchungen, Freiburg
  - Thermalscannerbefliegung / digitale Verarbeitung der Thermaldaten
  - Radarbefliegung Aachen als Teil eines Bundes-Forschungsprojektes (3-D-Stadtklima) mit Teilergebnissen
  - GIS-Großkartenbearbeitung und -fertigung
- \* Büro für Umweltmeteorologie (BfU), Paderborn
  - Betrieb eines Feststationsnetzes, Meßfahrten zur Erfassung von Lufttemperatur und Luftfeuchte sowie Durchführung von Rauchgassondierungen
- \* Universität-Gesamthochschule Essen, Institut für Ökologie, Abteilung Landschaftsökologie
  - Aerologisches Meßprogramm, Vertikalsondierungen mit einem Fesselsondensystem (Großballon), Standort Aachen-Mitte (Elisenbrunnen)
- \* Universität Trier, Fachbereich VI - Geographie/Geowissenschaften, Abteilung Klimatologie
  - Aerologisches Meßprogramm, Vertikalsondierungen mit einem Fesselsondensystem (Großballon), Standort Aachen-Sief

- \* Stadt Aachen, Chemisches- und Lebensmitteluntersuchungsamt
  - Begleitende luftchemische Untersuchungen zum aerologischen Meßprogramm der Universitätsinstitute
- \* Stadt Aachen, Fachbereich Umwelt, Abteilung Luftreinhaltung, Energie und Immissionsschutz
  - Fachliche und organisatorische Begleitung sowie Gesamtkoordination der Klimauntersuchung
  - Einsatz und Betreuung einer stadteigenen Klimameßeinrichtung im Feststationsnetz

### 3. Aufgabengebiete der an der Klimaanalyse Beteiligten

#### Geographisches Institut der RWTH

Das Geographische Institut der RWTH Aachen als Hauptauftragnehmer erstellte den **Gutachtentextband** und auch den **Anhang zum Textband**. Hierzu wurden alle notwendigen und vorliegenden Teilergebnisse aus Daten und Meßprogrammen der mitwirkenden Institute / Büros und der Stadt Aachen zusammengetragen, ausgewertet und dokumentiert.

#### Büro Steinicke & Streifeneder, Umweltuntersuchungen, Freiburg

Die vom Büro Steinicke & Streifeneder, Umweltuntersuchungen, Freiburg, durchgeführten zwei **Thermalscannerbefliegungen** (Abend- und Morgenaufnahme während einer frühherbstlichen windschwachen Strahlungswetterlage) erfolgten im Rahmen eines vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Forschungsprojektes mit dem Titel „3-D-Stadtklima“. Die Ergebnisse aus diesen Thermalbefliegungen bilden jedoch einen wichtigen Baustein für die Klimauntersuchung, da sie – im Gegensatz zu den punktuellen oder linienhaften meteorologischen Meßergebnissen – eine flächendeckende Information als Oberflächenstrahlungstemperatur für das gesamte Untersuchungsgebiet mit seiner klimarelevanten Umgebung liefern.

Nach geometrischer und radiometrischer Aufarbeitung der Rohdaten liegen folgende thematische Karten vor, siehe Anlage des Anhangs:

- Thermalkarte I - Abendbefliegung
- Thermalkarte II - Morgenbefliegung
- Thermalkarte III - Differenzkarte Abend / Morgen
- Thermalkarte IV - Klassifizierte Thermalkarte

Die **Radarbefliegung** ist ebenso Teil des o.g. Bundesforschungsprojektes, jedoch nicht unmittelbarer Bestandteil des Stadtklimagutachtens Aachen. Bei der interferometrischen Radaraufnahme SAR (Synthetic Aperture Radar) und mit zugehöriger Rohdatenverarbeitung wird ein hochauflösendes dreidimensionales Rasterbild der Geländeoberfläche erzeugt. Für jeden Bildpunkt wird die exakt berechnete Höhe angegeben. Ein flächendeckendes digitales Höhenmodell zeigt feinste Details von Relief, Gebäuden und Baumbewuchs. Eine anschauliche Übersichtskarte eines Radarbildes, hier als Kombination mit Thermaldaten, ist der Anlage des Anhangteils zu entnehmen. Die Genauigkeit der Höheninformation ist von der Signalqualität des Radar-Echos abhängig und reicht von wenigen Dezimetern (z.B. Gebäude, Straßen, Felder) bis zu 1,5 m (Baumkronen in Waldbeständen). Die horizontale geometrische Auflösung beträgt etwa 2,5 m (2,5m x 2,5m Bildpixel).

Als ein Ergebnis der Radarbefliegung ist die Karte über Höhenverhältnisse (digitales Höhenmodell) von Aachen zu betrachten (Anlage). Eine Auswertung mit Hilfe spezieller Software hinsichtlich einer typisierten Flächennutzung für das gesamte Stadtgebiet Aachen steht noch aus und wird voraussichtlich Anfang 2001 vorliegen.

Auch durch die Radarbefliegung konnten bisher schon wichtige Informationen für das Klimagutachten gewonnen werden.

### **Büro für Umweltmeteorologie, Paderborn**

Das vom Büro für Umweltmeteorologie (BfU), Paderborn, durchgeführte meteorologische Meßprogramm bestand aus den Teilen

- Betrieb eines Feststationsnetzes mit 10 Standorten für den Zeitraum eines Jahres,
- Lufttemperatur- und Feuchtefahrten mit zwei Fahrzeugen baugleicher Geräteausstattung,
- Rauchgasversuche in verschiedenen Ortsteilen zur Sichtbarmachung kleinräumiger Kaltluftabflussbewegungen.

Die Betreuung des **temporären Feststationsnetzes** umfaßte den Aufbau und Betrieb von 10 Stationen in verschiedenen Stadtteilen Aachens mit Erfassung der Parameter Lufttemperatur, Luftfeuchte in 2 m über Grund, Windrichtung und Windgeschwindigkeit an sieben Stationen in 4 m über Grund sowie eine Teilauswertung der Daten.

Die Stadt Aachen und auch die RWTH stellten drei weitere temporäre Feststationen zur Verfügung, so daß für die Klimaanalyse mit der Referenzklimastation des Geographischen Institutes an der Hörn und der Klimastation des Deutschen Wetterdienstes auf dem innenstadtnahen Wingertsberg Meßdaten von insgesamt 15 Feststationen vorlagen; Auswertungen siehe Kap. 3.2 des Textbandes und Abb. 11 im Anhang.

Zur weiträumigen und quasi zeitgleichen Erfassung von Lufttemperatur und Luftfeuchte erfolgten drei **Meßfahrerkampagnen** mit jeweils baugleichen Meßfahrzeugen innerhalb des Untersuchungszeitraumes während austauscharmer Wetterlagen im Sommer- und in den Übergangsjahreszeiten Herbst und Frühjahr zwischen 18.00 Uhr und 6.00 Uhr des darauffolgenden Tages. Aufgrund der Größe des Stadtgebietes wurden zwei verschiedene Meßrouten auf Vorschlag der RWTH und des Umweltamtes ausgewählt. Auf den beiden Strecken (Nordroute und Südroute) wurden insgesamt 201 Meßpunkte festgelegt.

Auch hier wurden die anfallenden Daten zur weiteren Auswertung an die RWTH übergeben; Auswertungen siehe Kap. 3.2 des Textbandes und Karte Abb. 20 im Anhang.

Zu speziellen lokalklimatologischen Fragestellungen hinsichtlich des Kaltluftabflußverhaltens im gegliederten Gelände mit Wirkung auf bebaute Bereiche sind während zweier windschwacher Strahlungswetterlagen im Frühjahr und Sommer 1999 **Rauchgasversuche** durchgeführt worden. Die Versuche fanden jeweils im Zeitraum 2 Stunden nach Sonnenuntergang und 2 Stunden vor Sonnenaufgang des Folgetages auf bis zu sieben ausgewählten Detailflächen statt. Die Auswahl dieser Flächen und auch die Zündpunkte erfolgte in Abstimmung zwischen der RWTH und dem Umweltamt. Ergebnisse der Rauchgasversuche finden sich im Kap. 3.2 des Textbandes sowie im Kap. V des Anhangs.

### **Hochschulinstiute der Universitäten Essen und Trier**

Neben den o.g. Auftragnehmern aus Aachen, Freiburg und Paderborn, die mit verschiedenen terrestrischen Meßprogrammen und den Thermal- und Radarbefliegungen betraut wurden, konnten zwecks Untersuchung der vertikalen Schichtungsverhältnisse (Luftaustauschverhältnisse) über dem Stadtgebiet Aachen während sog. stadtklimatologisch relevanter Strahlungswetterlagen die Fachinstitute der Universitäten Essen und Trier gewonnen werden.

Diese **Vertikalsondierungen** in der stadtnahen Atmosphäre wurden an drei Terminen im August 1998, Ende März und Mai 1999 jeweils mit einem Großsondensystem (Fesselballon in Zeppelinform) an den Hauptstandorten Aachen-Sief (Uni Trier) und im Elisengarten, Aachen-Stadtmitte (Uni Essen) durchgeführt. Die Großsonden verfügten über Meßgeräte für Temperatur, Luftfeuchte bzw. Feuchttemperatur, Windrichtung und Windgeschwindigkeit.

Dabei lag das Hauptaugenmerk der Untersuchung in den vermuteten unterschiedlichen atmosphärischen Schichtungs- und Austauschverhältnissen im Vergleich zwischen dem Aachener Talkessel und den Verhältnissen über dem höher gelegenen Stadtbereich im Südraum außerhalb des Kessels.

Ergänzend kam ein mobiles Kleinsondensystem der RWTH (Fesselballon) an wechselnden Standorten in vier verschiedenen Talbereichen innerhalb des Aachener Kessels zum Einsatz.

Erläuterungen und Ergebnisse über das vertikale Temperatur- und Windfeld über der Stadt sind dem Kap. 3.2 des Textbandes und dem Anhang IV zu entnehmen.

### **Chemisches- und Lebensmitteluntersuchungsamt der Stadt Aachen**

Ferner hat das stadteneigene Chemische- und Lebensmitteluntersuchungsamt im Auftrag des Umweltamtes während des aerologischen Meßprogramms einige begleitende **Luftschadstoffmessungen** an fünf vom Umweltamt vorgegebenen Standorten mit dem Meßwagen durchgeführt. Zudem lagen für das Gesamtstädtische Klimagutachten die Ergebnisse des Umweltberichtes 2000, Luftqualität in Aachen, vor. Die RWTH hatte zuvor im Rahmen von Projektstudien und Praktika an der Universität in verschiedenen Teilgebieten des Aachener Kessels Messungen der CO<sub>2</sub>-Konzentration durchgeführt.

### **Städtisches Umweltamt Aachen**

Das Umweltamt der Stadt Aachen, Abteilung Luftreinhaltung, Immissionsschutz und Energie, übernahm als Auftraggeber die Gesamtkoordination der Klimaanalyse.

Ergänzende Untersuchungen zu den **Luftqualitätsverhältnissen** vornehmlich in den beiden Kurgebieten Monheimsallee und Burtscheid mittels einer Flechtenkartierung zur indirekten Bewertung der Immissionsverhältnisse wurden vom städt. Umweltamt in Auftrag gegeben. Ergebnisse der lufthygienischen Untersuchungen können dem Kap. 2.2 und 3.2 des Textbandes sowie dem Anhang (Abb. 7, 8, 10) entnommen werden.

## **4. Gliederung des Gesamtgutachtens**

Das Gesamtgutachten gliedert sich in zwei Hauptteilbereiche:

1. Textband zur Klimaanalyse der Stadt Aachen, Ergebnisse der stadtklimatologischen Untersuchungen,
2. Anhang zum Textband und zugehörige Anlage mit Karten.

Der Anhang beinhaltet eine Reihe von Abbildungen und Karten, u.a. die großmaßstäbigen Karten im Maßstab  $M = 1 : 25.000$

- Synthetische Klimafunktionskarte,
- Karte der Planungsempfehlungen sowie
- vier Thermalkarten mit unterschiedlichen Aussageinhalten und
- ein 3 - D - Radarbild von Aachen und Umgebung.

Der Textband der Klimaanalyse Aachen enthält folgende Kapitel:

1. Einleitung
2. Derzeitiger Kenntnisstand über die geographische Ausstattung des Untersuchungsraumes sowie die klimatisch-lufthygienische Situation
3. Ergebnisse der stadtklimatologischen Untersuchungen  
u.a. Untersuchungen zu Kaltluftbildung und Kaltluftabfluß
4. Synthetische Klimafunktionskarte (Großkarte)
5. Planungsempfehlungen (Großkarte)

## **5. Wichtigste Ergebnisse der Klimaanalyse (Textband)**

### **5.1. Untersuchungen zu Kaltluftbildung und Kaltluftabfluß im Stadtgebiet**

Bei Städten im gegliederten Gelände, z.B. in Mittelgebirgslage oder im Vorlandbereich von Mittelgebirgen wie im Fall Aachen spielen die Reliefverhältnisse im Stadtgebiet in Abhängigkeit zur jeweiligen Lage und Struktur der Siedlungs- und Freiflächen hinsichtlich der Auswirkungen von Kaltluftabflüssen eine besondere Rolle. Erfahrungsgemäß bestehen erhebliche klimatische Wechselwirkungen zwischen stadttypischen Nutzungen und den geländebedingten klimatischen Ausprägungen, so daß Planungsvorhaben in besonderem Maße klimatische Rückwirkungen verursachen können. Daher wurden die Kaltluftbildungs- und -abflußverhältnisse einer besonderen Untersuchung unterzogen. Neben Daten aus dem intensiven meteorologischen Bodenmeßprogramm, (Feststationen, Ballonsondierungen in Bachtälern, Rauchgasversuche) dienten Fernerkundungsdaten der Thermal- und Radarbefliegung als Basis für eine flächendeckende Auswertung durch ein Geographisches-Informationen-System (GIS-Auswertung). Grundlage für diese GIS-Auswertung waren verschiedene Kriterien zur Herausarbeitung wirksamer Flächen bezüglich ihres Kaltluftbildungs- und -abflußverhaltens.

Diese Teilergebnisse wurden in einem weiteren Arbeitsschritt mit den klimatologischen Eigenschaften der Taleinzugsgebiete in Beziehung gesetzt (Meßergebnisse aus lokalen Untersuchungen).

Ergebnisse der GIS-Auswertung (Auszug):

Bodennahe Kaltluftabflüsse wurden in allen aufgrund der genannten Kriterien grundsätzlich infrage kommenden Stadtteilen festgestellt. Für folgende Taleinzugsgebiete im Stadtgebiet konnten besonders abgesicherte und wirksame Kaltluftabflüsse mit Planungsrelevanz nachgewiesen werden:

- Einzugsgebiet der Wurm und ihrer Quellbäche oberhalb von Burtscheid,
- Hitfelder Bachtal und andere Tälchen im randlichen Bereich des Beverbachtals,
- gesamtes Einzugsgebiet der Inde im südlichen Stadtbereich,
- Haarbachtal, vor allem im östlichen und südöstlichen Bereich (Eilendorf und Brand-Nord), aber auch unterhalb Eilendorfs i.V. mit dem Rödgerbachtal,
- das obere und mittlere Rödgerbachtal bis Rothe Erde/Eilendorf,
- Kaltlufteinzugsgebiet östlich von Verlautenheide,
- höher gelegene Randbereiche des Kaltluftsammlgebietes Soers,
- Einzugsgebiet des Amstelbaches an der Stadtgrenze im Aachener Norden,
- Kaltluftabflußbereiche östlich von Orsbach mit Richtung Vlengendal / Bocholtz,
- das gesamte Senserbachtal von den obersten Talbereichen am Aachener Wald bis
- unterhalb von Lemiers,
- Dorbachtal mit ähnlichen klimatischen Wirkungen wie z.B. im benachbarten Kannegießer-, bzw. Johannisbachtal mit Übergang zum Wildbachtal,
- Einzugsgebiet des Kannegießerbach- / Ponellbachtal mit Hinweisen auf Kaltluftabfluß über den kleinen Grünflächen im Bereich Ronheide,
- Gillesbach- und Beverbachtal,
- Einzugsgebiet des Tüljebachs (Preußwald bis über die Stadtgrenze nach Süden).

Das Kaltluftabflußverhalten dieser Bachtäler wird ausführlich im Gutachtenbericht erläutert.

Ferner konnten für eine ganze Reihe von Bachtälern Kaltluftabflüsse als mittlere Volumenströme quantifiziert werden, siehe Tab. 19 in Kap. 3.3.2 des Textbandes. Diese Daten sind zur Bewertung der Wirksamkeit von Kaltluftabflüssen auf bebaute Stadtbereiche von besonderer Bedeutung.

## **5.2. Synthetische Klimafunktionskarte**

In der Synthetischen Klimafunktionskarte sind alle räumlich-funktionalen klimatisch-lufthygienischen Einheiten in ihrer Lageverteilung enthalten. Die flächenhaften Einheiten werden Klimatope genannt. Sie werden aus der klimatischen Wirkung vorhandener Klimafaktoren wie z.B. Reliefverhältnisse, Flächennutzung, Versiegelungsgrad, Höhenlage, etc. und den Meßergebnissen von Klimaelementen (z.B. Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Luftschadstoffparameter) abgeleitet. Daneben wurden auch spezielle, nicht ausschließlich flächen-

bezogene Klimafunktionen herausgearbeitet. Die Form und Gestalt der vorliegenden Klimafunktionskarte basiert auf dem Entwurf der VDI-Richtlinie 3787, Umweltmeteorologie – Klima- und Lufthygienekarten, 1994.

Das Stadtgebiet untergliedert sich nach klimaökologischen Aspekten in acht verschiedene Klimatope: Hier unterscheidet man in vorwiegend bebaute und unbebaute Klimatoptypen:

- |                                    |                    |
|------------------------------------|--------------------|
| - Typ Siedlung,                    | - Typ Park         |
| - Typ Stadt,                       | - Typ Wald         |
| - Typ Innenstadt,                  | - Typ Wasserfläche |
| - Typ Gewerbe- und Industriegebiet | - Typ Freiland     |

Bei den speziellen Klimafunktionen unterscheidet man nach insgesamt 14 Typen, die anhand flächenhafter Rastersignaturen oder durch Symbole in der Karte dargestellt sind.

## **Klimatope**

### Siedlungsklima

In den überwiegend bebauten Stadtarealen dominiert der flächenhafte Klimatoptyp *Siedlungsklima*, gekennzeichnet durch sehr unterschiedliche Versiegelungsgrade zwischen 10 und 70 %, häufig gemischte Bauweise von Einzelgebäuden bis Reihenhäuser und fast ausschließlicher Wohnnutzung.

Hier sind vor allem die Siedlungsschwerpunkte in den Außenbezirken der Stadt zu nennen. Aber auch in den Stadtteilen Forst, Südviertel, Burtscheid, Hanbruch, Kronenberg, Steppenber/Kullen und Königshügel dominiert dieser Typ. Neben Gebieten mit hohem Anteil von Reihenhäuser, Zeilenbebauung bzw. auch Gebäudekomplexen zählen zum Siedlungstyp auch spezielle Nutzungen wie Kasernen, Forschungseinrichtungen (Melaten), Sport- und Freizeitanlagen.

### Stadtklima

Der Klimatoptyp *Stadtklima* zeigt im Vergleich zum gemäßigten Siedlungsklima vorwiegend innerstädtische Blockrandbebauung mit vorwiegender Wohnnutzung und Dienstleistungen. Die lufthygienische Situation ist durch erhöhte verkehrliche Emissionen, aber auch noch nennenswerten Hausbrandemissionen geprägt. Der Versiegelungsgrad liegt zwischen 70 und 85 % und damit deutlich höher als beim Typ Siedlungsklima.

Neben den der Innenstadt angegliederten Stadtteilen Hochschulviertel, den relativ dicht bebauten Tal- und Kuppenlagen im Westen und Süden mit jedoch unterschiedlicher Belüftungssituation, Teilgebieten von Burtscheid mit seiner Mischnutzung, das Frankenberger Viertel mit relativ einheitlicher Blockbebauung, das Ostviertel, Alt-Forst, Rothe Erde und Jülicher Straße mit seinen sehr uneinheitlichen Nutzungen und Baustrukturen zählen zum Typ Stadtklima auch die Subzentren

außerhalb der Innenstadt. Dazu gehören Teilbereiche von Forst, Brand, Eilendorf, Haaren und Laurensberg.

Auch hier sind die Nutzungen und Baustrukturen uneinheitlich. Ferner zählen zum Stadtklimatyp alle Großwohnsiedlungen wie z. B. Driescher Hof, Kullen oder Preußwald.

### Innenstadt

Für den Klimatotyp *Innenstadt* sind folgende Merkmale prägnant: ein hoher Versiegelungsgrad (größer 85 %), eine sehr dichte, jedoch uneinheitlich strukturierte Bebauung, überwiegend Dienstleistungsnutzung, teilweise mit Wohnfunktion, sowie hohe verkehrliche Luftschadstoffemissionen.

Man unterscheidet im Bereich der Innenstadt zwischen

- der City mit überwiegend tertiären Nutzungen und ungeordneter Bauungsstruktur,
- der nordöstlichen Innenstadt und Stadtbereichen auch östlich des Alleenrings mit größeren Häuserblocks und relativ hohen Verkehrsemissionen,
- das Pontviertel mit häufigen kleineren Häuserblocks und engen Straßen (Altstadtviertel), aber mit noch günstiger Belüftungssituation und
- die dicht bebaute südwestliche Innenstadt mit ebenfalls kleinteiliger, ungeordneter Blockbebauung und insgesamt noch günstiger Belüftungssituation wegen der Luv-Lage zur verkehrstarken City und der klimatischen Wirkung der Bachtäler.

### Gewerbe- und Industriegebiet

Der Klimatotyp *Gewerbe- und Industriegebiet* mit einem Versiegelungsgrad größer 70 % gleicht in seiner klimatischen Ausprägung dem der Stadt bzw. Innenstadt. Die fast ausschließlich gewerblichen Nutzungen weisen vielfach große Gebäude mit größeren Zwischenräumen auf. Die typisch industrielle Nutzung mit erheblichen Luftschadstoff- und Wärmeemissionen hat sich in vielen deutschen Großstädten und so auch in Aachen bis auf sehr wenige Standorte stark zurückentwickelt, was die Immissionssituation im besonders empfindlichen Talkessel in den letzten 20 Jahren nachhaltig verbessert hat.

Eine gesonderte Darstellung der Gewerbe- und Industriegebiete in der Synthetischen Klimafunktionskarte ist vor allem wegen der geringen Immissionsempfindlichkeit (geringer Schutzgrad), des erhöhten Verkehrsaufkommens und der Möglichkeit umfassender und rascher Emissionsminderungsmaßnahmen sinnvoll und notwendig. Zu den verbliebenen industriell geprägten Gewerbegebieten gehören nur noch Teilflächen von Rothe Erde, Jülicher Straße und Süsterfeld.

### Park

Zu dem Klimatotyp *Park* gehören alle Flächen mit wenig oder ohne Bebauung, d.h. mit einem Versiegelungsgrad unter 10 %, und mit geringem bis mäßigem Großgehölzbestand. Kleinere Wasserflächen werden ebenfalls diesem Klimatop zugeordnet.

Vor allem innerstädtische Grünflächen, Friedhöfe, Kleingärten, durchgrünte Sportanlagen und Parks am Stadtrand mit Wirkpotential für die bebaute Umgebung sind hier hervorzuheben.

### Wald

Der Klimatotyp *Wald* mit seiner klimatischen Ausgleichsfunktion nimmt flächenmäßig (Aachener Wald) einen überaus großen Anteil am Stadtgebiet ein. Hinsichtlich der klimatischen Eigenschaften unterscheidet man zwischen Nadelwald, Laubwald und Mischwald / parkartigen Bereiche, wobei die klimatische Wirkung auf benachbarte Gebiete bei den beiden letztgenannten Waldarten hervorzuheben ist.

### Freiland

Der Klimatotyp *Freiland* zeigt eine flächendeckende landwirtschaftliche Nutzung mit meist niedriger bzw. je nach Jahreszeit fehlender Vegetation (nach der Ernte). Das klimatische Potential dieser Freilandflächen mit Ausgleichsfunktion ist als überaus hoch zu bewerten. Insbesondere die Heckenlandschaft im Bereich der Vennfußfläche und das Grünland mit Gehölzstrukturen in den Bachtälern sind hier hervorzuheben.

### Wasserfläche

Der Klimatotyp *Wasserfläche* hat im Aachener Stadtgebiet aufgrund seines geringen Flächenanteils nur eine untergeordnete Bedeutung. Die vorhandenen kleinen Gewässer (Teiche, Stauweiher) besitzen keine nennenswerte Klimawirksamkeit, allenfalls für die unmittelbare Umgebung.

## **Spezielle Klimafunktionen**

Von den insgesamt 14 speziellen Klimafunktionen seien hier nur die wichtigsten genannt. Hierzu zählen insbesondere Belüftungsfunktionen oder lufthygienische Verhältnisse/Funktionen wie z.B.

- *lokaler Kaltluftabfluß an Hängen und in Mulden,*
- *Kaltluftströme in Tälern,*
- *besonders immissionsseitig belastete Hauptverkehrsstraßen und*
- *besondere Luftqualitätsverhältnisse in den Kurgeländen Aachens.*

Die Darstellung bestimmter spezifischer Klimaeigenschaften in der Klimafunktionskarte wie die Belüpfungsfunktion beruht im Gegensatz zu den o.g. flächenhaften Klimafunktionen (Klimatop) auf konkreten Meß- und Untersuchungsergebnissen.

### Lokaler Kaltluftabfluß an Hängen und in Mulden

Während sog. austauschschwacher Strahlungswetterlagen (windschwache Schönwetterlagen) kommt es abends und nachts zu starker Abkühlung der Erdoberfläche und der bodennahen Luftschicht. Die kältere, dichtere und im Vergleich zu höheren Luftschichten schwerere Luft fließt dem Gefälle nach talwärts ab.

Es bilden sich vielerorts im Stadtgebiet kleinräumige Kaltluftabflüsse aus, die Mächtigkeiten bis einige Meter und Abflußgeschwindigkeiten meist deutlich unter 1 m/s (3,6 km/h) erreichen.

Die Wirkung lokaler Kaltluftabflüsse besteht überwiegend in einer horizontalen Belüftung. Sofern diese Kaltluftabflüsse in die Bebauung hinein gerichtet sind, können sie kleinräumig Senkung des Luftschadstoffniveaus und eine Abkühlung überwärmter Siedlungsbereiche ermöglichen.

Anhand der Verteilung der Siedlungsstruktur im Stadtgebiet und den Höhen- bzw. Gefällsverhältnissen mittels der Isohypsendarstellung (Höhenlinien) sind in abgeschätzter Form Ortsbereiche für kleinräumigen Kaltluftabfluß erkennbar. Zudem wurden diese Bereiche mit einer gepunkteten Signatur überdeckt.

### Kaltluftströme in Tälern

Bei entsprechend ausgeprägten Reliefverhältnissen können sich in größeren Bachtälern Aachens erhebliche Kaltluftströme ausbilden, die vertikale Mächtigkeiten bis über 30 m und Abflußgeschwindigkeiten von mehr als 1 m/s erreichen. Die Belüftungswirkung ist der von lokalen Kaltluftabflüssen ähnlich, jedoch kann sich ihre Wirkung, wie in fast allen größeren Bachtälern, meßtechnisch nachgewiesen, aufgrund des erheblichen Volumenstroms auf ganze Stadtteile erstrecken. Hierzu zählen alle größeren Bachtäler im Talkesselrandbereich sowie die Talsysteme der Inde und des Iterbachs im Aachener Südraum.

Letztere haben, abgesehen von der Belüftungswirkung für den Stadtteil Kornelienmünster, für Siedlungsbereiche innerhalb des Aachener Stadtgebiets keine stadtklimatologische Bedeutung. Diese Talzüge sind in der Karte mit einer dunkelblauen Pfeilsignatur gekennzeichnet.

### Immissionsseitig belastete Hauptverkehrsstraßen

Im Aachener Talkessel liegen einige Hauptverkehrsstraßen, die anhand eines Straßen-Screenings (Modellrechnungen) und teilweise durch Schadstoffmessungen von Benzol und Ruß als besonders belastet herausgearbeitet wurden. Dies sind alle Straßenabschnitte mit Immissionskonzentrationen, die 1998/99 mehr als 90 % der Richtwerte nach der 23. Verordnung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (23. BImSchV) erreichen. Sie liegen vornehmlich in der Innenstadt und deren Randbereichen. Daneben befinden sich einige besonders immissionsbelastete Straßenabschnitte in den Ortsteilen Haaren und Eilendorf. Die Kartendarstellung zeigt eine intensiv-rote Liniensignatur.

### Kurgebiete in Aachen

Für die beiden Kurgebiete Monheimsallee und Burtscheid gelten besondere Anforderungen an die Luftqualität. Die einzuhaltenden Standards bezüglich der Parameter Schwebstaub, Ruß, Stickstoffdioxid und auch Benzol liegen auf besonders niedrigem Immissionsniveau. Nach der sog. Bäderrichtlinie sind die Kurorte mit allgemein hoher Luftschadstoffbelastung verpflichtet, turnusmäßig alle 5 Jahre statt bisher alle 10 Jahre eine Überprüfung der Luftqualität durchzuführen. Die beiden Kurgebiete sind durch eine blaue Grenzlinie gekennzeichnet.

## **6. Planungshinweiskarte und Planungsempfehlungen**

Aus der in der Klimafunktionskarte dargestellten räumlichen Verteilung der klimatisch-lufthygienischen Einheiten und ihrer funktionalen Wechselwirkung werden Planungsempfehlungen auf drei Maßstabsebenen abgeleitet.

### **6.1. Allgemeine Planungsempfehlungen**

Die allgemeinen Planungsempfehlungen beziehen sich auf die drei klimatisch-lufthygienischen Hauptbereiche des Stadtgebiets. Die wesentlichen Aussagen für diese Gebiete lauten:

- Sicherung bestehender Belüftungsfunktionen und Verbesserung der Immissionssituation im Aachener Kessel und in den markanten Tallagen mit tendenziell besonders ungünstigen Luftaustauschverhältnissen,
- kein konkreter Handlungsbedarf in den Bereichen der relativen Hochlagen im Nordwesten mit besonders günstigem Luftaustausch (bei Beachtung deren möglicher übergeordneter Belüftungsfunktionen),
- Berücksichtigung der kleinräumigen klimatischen Funktionen in den übrigen Gebieten mit räumlich variablen Luftaustauschverhältnissen.

Für verschiedene Ortslagen dieser Hauptbereiche werden allgemeine Empfehlungen für die zukünftige Entwicklung in bezug auf Stadtentwicklung und Emissionsverhältnisse gegeben.

### **6.2. Karte der Planungshinweise**

Die Karte der Planungshinweise setzt die flächendeckenden Aussagen der Klimafunktionskarte in Handlungsempfehlungen um. Dabei dient eine der Aufteilung analog der Klimafunktionskarte in flächenbezogene und spezielle Planungsempfehlungen als Grundlage.

## Flächenbezogene Planungsempfehlungen

Für den *Ausgleichsraum der Freiflächen* wird empfohlen, deren kleinräumige Wechselwirkung mit bebauten Arealen am Siedlungsrand zu erhalten und die möglicherweise vorhandenen übergeordneten Belüftungsfunktionen entlang größerer Freiflächenzüge nicht zu gefährden.

Der *Ausgleichsraum der offenen Grün- und Parkflächen* sollte wegen der wichtigen Ausgleichsfunktionen für den Siedlungsraum i.d.R. unbedingt erhalten bleiben; örtlich können wegen Konflikten mit anderen Klimafunktionen Veränderungen an den Gehölzstrukturen erforderlich sein.

Der *Ausgleichsraum Wald* ist grundsätzlich zu erhalten, wenn nicht - im Sinne einer Vernetzung - auszudehnen.

Für den *Lastraum der Wohnsiedlungsgebiete* ist überwiegend kein akuter Handlungsbedarf zu sehen, doch sollten bei Veränderungen der Struktur negative Wirkungen auf Belüftungsfunktionen ausbleiben.

Beim *Lastraum des verdichteten Stadtbereichs* sind Verbesserungen der Situation anzustreben; insbesondere ist hier die Immissionssituation zu nennen, wobei im Rahmen von Sanierungsmaßnahmen örtlich auch die Bebauungsstruktur verbessert werden sollte.

Der *Lastraum des hochverdichteten Innenstadtbereichs* ist eine Reduktion der Emissionen vorrangig.

Für den *Lastraum der Gewerbe- und Industriegebiete* ist vor allem innerhalb des Aachener Kessels Handlungsbedarf zu sehen. Während hier die Verkehrsemissionen und die Tendenz zu Nachverdichtungen örtlich sehr problematisch sein können, stellen sich die Verhältnisse in den außerhalb gelegenen und oft nur extensiv genutzten Flächen überwiegend wenig kritisch dar.

## Planungsempfehlungen bezogen auf spezielle Klimafunktionen

Aufgrund der besonderen klimatischen Verhältnisse in Aachen sind ausführliche *Planungsempfehlungen für die Belüftungsfunktionen*, insbesondere in bezug auf die Kaltluftproduktionsflächen und die Kaltluftabflubahnen geboten.

Speziell in den *Kaltlufteinzugsgebieten mit besonderer Bedeutung* für den Luftaustausch sollte jede weitere Inanspruchnahme von Flächen unterbleiben. Hier sollten auch die im Freiraum vorhandenen isolierten Siedlungsansätze begrenzt, vorhandene Bebauungsgrenzen äußerst strikt eingehalten und Wald- mit Freiflächen stärker verzahnt werden.

Die *bedeutsamen Kaltluftabflubahnen* sind von allen Arten von Hindernissen freizuhalten, und ihr Querschnitt ist durch strenges Einhalten der bestehenden Bebauungsgrenzen zu sichern. Dort, wo die Kaltluftabflubahnen in den Siedlungsbereich einmünden, sind örtlich Maßnahmen zur Minimierung negativer Auswirkungen der Bebauung auf Kaltluftströme erforderlich.

Die *Planungsempfehlungen für die Luftqualität* zielen darauf ab, die lufthygienischen Belastungen zu minimieren. Auf das ausgewiesene Gebiet mit flächenhaft hohem Emissionspotential sollten Emissionsminderungsmaßnahmen konzentriert werden. Für das sich mit letztgenanntem teilweise überschneidende Gebiet mit flächenhaft ungünstigem Luftaustausch wird zudem dringend der Erhalt von noch vorhandenen Freiflächen empfohlen. Zu reduzierende verkehrliche Emissionen treten auch ansonsten, in den als besonders belastet ausgewiesenen Straßenabschnitten, auf. Dringender Handlungsbedarf in bezug auf Verkehrsemissionen ist in den Bereichen zu sehen, in denen Kaltluftströme mit konzentrierten Emissionen in Kontakt kommen. In einigen Bereichen liegen dringend zu verringernde punkthafte gewerbliche Emissionen vor.

Die *sonstigen Empfehlungen* zielen einerseits auf die Berücksichtigung der besonderen Anforderungen an Kurgebiete in bezug auf Klima und Lufthygiene ab, wobei eine Sicherung vorhandener Belüftungsfunktionen bei Reduzierung der Emissionen im Vordergrund stehen sollte. Andererseits liegen an anderen Stellen des Stadtgebiets Windverhältnisse vor, die in Hinblick auf eine erwünschte hohe Aufenthaltsqualität problematisch sind.

### **6.3. Spezielle Planungshinweise für Einzelvorhaben**

Die speziellen Planungshinweise zu Einzelvorhaben (im Anhang) stellen die dritte Maßstabsebene der Bearbeitung dar. Für insgesamt 17 ausgewählte Teilgebiete werden detaillierte Planungsempfehlungen gegeben. Für einige Gebiete werden in bezug auf die angedachten zukünftigen Nutzungen keine Bedenken gesehen, in einigen weiteren Fällen werden Einschränkungen bzw. Veränderungen empfohlen. Bei einigen Vorhaben wird von einer Realisierung grundsätzlich abgeraten.

## **Korrigenda**

### **Textband**

### **Anhang**

Seite A 13: Die Zeitangaben müssen "MESZ" lauten statt "MEZS".

Seite A 89: Alle hier genannten Abbildungen befinden sich in der Anlage; die bei einigen Abbildungen angegebene Kartentasche existiert nicht.

### **Abbildungen**

Abbildung 11: Die Signaturen für "Feststationen" und "andere Stationen" sind vertauscht.

Abbildung 21e: Die Messungen erfolgten 99 und nicht 98