

## **Zusammenfassung der Gesamtstädtischen Klimaanalyse der Stadt Krefeld**

**Begründungstext zur Vorlage „Gesamtstädtische Klimaanalyse der Stadt Krefeld“ für die Sitzung des Ausschusses für Umwelt, Energie, ver- und Entsorgung und des Ausschusses für Stadtplanung und Stadtsanierung am 07. September 2005.**

Stadt Krefeld, Fachbereich Umwelt, August 2005.

## **1. Anlass zur Erstellung einer Klimaanalyse für das Stadtgebiet Krefeld**

Anlässlich der Neuaufstellung des Flächennutzungsplans – FNP beauftragte der Fachbereich Umwelt gemeinsam mit dem Fachbereich Stadtplanung und Bauaufsicht der Stadt Krefeld im Sommer 2001 die Anfertigung eines Klimagutachtens. Der Auftrag wurde an die Abteilung für Angewandte Klimatologie und Landschaftsökologie des Instituts für Ökologie an der Universität Essen erteilt. Das Klimagutachten wurde in Form einer Gesamtstädtischen Klimaanalyse für das Stadtgebiet Krefeld und unter besonderer Berücksichtigung der vier ausgewählten Plangebiete Verberg, Hüls-Südwest, Fischeln-Ost und Fischeln-West (Sonderuntersuchungsflächen) erstellt.

Die Messungen und Analysen des Stadtklimas wurden im Zeitraum von Ende Oktober 2001 bis Anfang November 2002 im Stadtgebiet durchgeführt. Ein erster Zwischenbericht wurde im Dezember 2002 vorgelegt, der fertiggestellte Bericht zur Gesamtstädtischen Klimaanalyse lag Ende Juli 2003 vor. Die Ergebnisse der Klimaanalyse werden in den folgenden Kapiteln 3 bis 6 als Zusammenfassung wiedergegeben. Die Ausführungen zur bioklimatischen Bedeutung des Stadtklimas in Kap. 2 beziehen sich neben der Klimaanalyse auf die im Anhang aufgeführten Literaturhinweise und die geltende Gesetzgebung. Da Quellenachweise im Text nicht verwendet werden, wird an dieser Stelle auf die zugrundegelegte Literatur im Literaturverzeichnis der Vorlage hingewiesen. Darüber hinaus ist das Literaturverzeichnis der Klimaanalyse maßgebend. Die hier gezeigten Abbildungen wurden beispielhaft und stellvertretend für zahlreiche weitere Karten, Diagramme und Tabellen in diese Zusammenfassung eingefügt.

## **2. Die bioklimatische Bedeutung städtischer Klimafunktionsräume und stadtklimatischer Prozesse**

Zum Begriff des „Klima“ existieren eine Reihe von Definitionen, von denen an dieser Stelle zu seiner allgemeingültigeren Beschreibung der Vorschlag der Meteorologischen Weltorganisation – WMO sinngemäß wiedergegeben sei: „Klima ist die Synthese des Wetters über einen Zeitraum, der lang genug ist, um dessen statistische Eigenschaften bestimmen zu können.“ Zum Verständnis des Klimabegriffs kann dieser Definition hinzugefügt werden, dass es sich um statistisch wiederkehrende Wetterbeobachtungen (Temperatur, Niederschlag, Luftströmungen/ atmosphärisches Zirkulationsverhalten, Witterung, Aridität und Humidität) an einem Ort (Lokalklima), einer Region (Regionalklima, Mesoklima), oder einer Klimazone (Klimazonen der Erde) handeln kann. Dabei berücksichtigt man zunächst anthropogen unbeeinflusste Zustände der atmosphärischen Zirkulation, deren Entstehung auf den physikalischen Bedingungen der Erdatmosphäre beruhen und deren Wettererscheinungen durch die Land-Meer-Verteilung, durch das Georelief, Boden und Vegetationsverteilung (Standortklima, Mesoklima) auf natürlichem Weg verändert werden. Meist wird der Begriff „Klima“ auf die erdbodennahen Schichten der Atmosphäre bezogen. Vielfach anthropogen modifiziert wird das natürliche Lokal- und Regionalklima u.a. durch die Entstehung, Weiterentwicklung und Verdichtung städtischer Siedlungen. Diese Prozesse lassen gegenüber dem natürlichen Klima anthropogen erzeugte Klimaanomalien entstehen. Nach dem bereits sehr frühzeitig um die Jahrhundertwende des 19./ 20. Jhd. erste städtische Klimaanomalien beobachtet und in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts bereits erforscht wurden, wurde das Stadtklima anschließend zunehmend zum Gegenstand der planungsorientierten Stadtklimatologie und der Stadtplanung. In Anbetracht der möglichen gesundheitlichen Folgen durch die Entstehung städtischer Klimaanomalien wurde die Berücksichtigung des Stadtklimas in der Stadtplanung in die Umwelt- und Baugesetzgebung aufgenommen.

Die Ursache für das Entstehen städtischer Klimaanomalien sind anthropogene Eingriffe in den Strahlungs-, Wärme- und Wasserhaushalt von Böden, Gewässern und der bodennahen Atmosphäre, die zu Änderungen des Verhaltens der Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und der bodennahen Luftströmungen im Bereich der Bebauung gegenüber dem Umland führen. Asphaltierung und Bebauung sowie die Beheizung von Gebäuden führen zu Unterschieden in der Strahlungs- und Energiebilanz an der Erdoberfläche, so dass eine stärkere Erwärmung im Bereich verdichteter Stadtsiedlungen gegenüber der lockeren Bebauung und dem bebauungsfreien Umfeld einer Stadt stattfindet. Gegenüber dem Umland entsteht über verdichteten Stadtgebieten ein Wärmeinseleffekt, der mit zunehmender Verdichtungsfläche und zunehmendem Verdichtungsgrad deutlicher ausgeprägt wird. Höchste Temperaturdifferenzen zwischen Stadt und Umland lassen sich hierbei vor allem nachts beobachten.

Durch die Temperaturdifferenzen entsteht ein horizontaler Luftdruckgradient in der bodennahen Luftschicht, der eine Luftströmung mit niedriger Geschwindigkeit vom Umland (höherer bodennaher Luftdruck) in Richtung Stadtzentrum (niedriger bodennaher Luftdruck) in Gang setzt. Das Druckgefälle wird u. U. durch die Bildung einer bodennahen Kaltluftschicht im Umland der städtischen Bebauung verstärkt, was ein verstärktes Einströmen von Umlandkaltluft in die Stadt zur Folge haben kann. Gefördert wird das Einströmen der sogenannten Flurwinde, die auf Temperaturdifferenzen als Folge von Luftdruckunterschieden beruhen und bodennah unterhalb des Dachniveaus entstehen, durch das Vorhandensein von Luftleitbahnen bzw. Ventilationsschneisen (vergl. Tab. 1). Umlandbereiche mit Kaltluftbildung übernehmen die Funktion klimatischer Ausgleichsräume gegenüber den überwärmten Stadtbereichen.

Tab. 1: Luftleitbahnen und ihre Eignung für den Kaltlufttransport

Luftleitbahn	Eigenschaften	Bewertung
<b>Ein- und Ausfallstraßen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Überwiegend niedrige Rauheitswerte</li> <li>- Tagsüber starke Aufheizung mit entsprechender Labilisierung der bodennahen Luftschicht</li> <li>- Nachts relativ warm mit neutralen bis labilen Schichtungsverhältnissen in Bodennähe und niedrigeren Rauheitswiderständen als am Tage</li> <li>- Freisetzung von Kfz-Emissionen (tagsüber stärker als nachts)</li> <li>- Vorbelastung durch Hausbrandemissionen der straßenbegleitenden Randbebauung insbesondere im Winter möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nutzung als Ventilationsschneise nicht ohne weiteres zu empfehlen</li> <li>- Luftqualitätsanalyse hinsichtlich der Kfz- und Hausbrandemissionen notwendig</li> <li>- Verbesserung der Luftqualität durch Ventilationsschneisen nicht zu erwarten</li> </ul>
<b>Bahntrassen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Überwiegend niedrige Rauheitswerte</li> <li>- Tagsüber Aufheizung mit entsprechender Labilisierung der bodennahen Luftschicht und dadurch bedingte hohe Reibungswiderstände gegenüber horizontalen Luftströmungen</li> <li>- Nachts Abkühlung der Schotterflächen mit neutralen bis stabilen Schichtungsverhältnissen in Bodennähe und kleinen Reibungswiderständen</li> <li>- Wenn kein Diesellokbetrieb, dann kaum Freisetzung von Schadstoffen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nutzung als Ventilationsschneise nur dann zu empfehlen, wenn keine Lok-Abgase verursacht werden</li> <li>- Verbesserung der Luftqualität durch Ventilationsschneise nicht zu erwarten</li> </ul>
<b>Grünflächen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Überwiegend niedrige, jedoch vegetationsabhängige Rauheitswerte</li> <li>- Tagsüber kaum Aufheizung; stabile Schichtungsverhältnisse in Bodennähe und kleinen Reibungswiderständen gegenüber horizontalen Luftströmungen (abhängig vom Typ und Dichte der Vegetation)</li> <li>- Nachts Zunahme der stabilen Schichtungsverhältnisse</li> <li>- Entwicklung kleinräumiger Zirkulationen mit der unmittelbaren Umgebung</li> <li>- Keine Freisetzung von Schadstoffen</li> <li>- Filterwirkung gegenüber Aerosolen und Gasen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nutzung als Ventilationsschneise sehr zu empfehlen</li> <li>- Verbesserung der Luftqualität durch Ventilationsschneise zu erwarten</li> </ul>
<b>Fließ- und Stillgewässer</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sehr niedrige Rauheitswerte</li> <li>- Tagsüber kaum Aufheizung; stabile Luftschichtung in Bodennähe</li> <li>- Entwicklung kleinräumiger Zirkulationen mit der unmittelbaren Umgebung (See-/Stadtwindssystem bzw. Fluss-/Stadtwind)</li> <li>- Keine Freisetzung von Emissionen bei biologisch intakten Gewässern</li> <li>- Senke für Gase und Aerosole</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nutzung als Ventilationsschneise sehr zu empfehlen</li> <li>- Verbesserung der Luftqualität durch Ventilationsschneise zu erwarten</li> </ul>

Quelle: Kuttler, 1993, S. 96.

Zur Aufheizung der Luft über dem verdichteten Stadtgebiet kommt die Verringerung der absoluten Luftfeuchtigkeit hinzu, da durch die Versiegelung von Bodenoberflächen mit Baumaterialien, die in der Regel einen sehr geringen Feuchtigkeitsgehalt besitzen, die Evapotranspiration (Verdunstung von Feuchtigkeit über Boden- und Vegetationsoberflächen) verringert wird. Durch die zusätzliche Erwärmung über den städtischen Oberflächen verringert sich tagsüber folglich auch die Relative Luftfeuchtigkeit. Dadurch verringert sich der latente Wärmestrom gegenüber dem fühlbaren Wärmestrom. Der Wirkungskomplex aus Überwärmung und Verringerung der Luftfeuchtigkeit in verdichteten Stadtgebieten führt zu einer thermischen Belastung der Bevölkerung. Zusätzlich können erhöhte Strahlungsintensitäten im sichtbaren wie im UV-Bereich (aktinischer Wirkungskomplex) in der Umgebung heller Oberflächen auftreten, die über die menschliche Haut Einfluss auf humanbiologische Prozesse nehmen.

Zur thermischen Belastung tritt der lufthygienische Wirkungskomplex innerhalb von Stadtgebieten hinzu. Gegenüber den natürlichen Luftbeimengungen entsteht die lufthygienische Belastung durch Emissionen aus Verkehr, Hausbrand, Industrie und Gewerbe (CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, Kohlenwasserstoffe (Benzol, etc.), Schwebstaub mit verschiedenen Inhaltsstoffen (Flugasche, Ruß, Schwermetalle) saure Aerosole). Die hieraus nach Ausbreitung und luftchemischer Umwandlung resultierenden Immissionen können vor allem

bei autochthonen, austauscharmen Wetterlagen zu Belastungen des menschlichen Organismus führen, vor allem dann, wenn eine organische Deposition des Menschen vorhanden ist. Letztlich haben die Wirkungskomplexe des Stadtklimas nicht nur humanbiologische Auswirkungen. Sie beeinflussen außerdem die Sukzession und das Wachstum städtisch geprägter Vegetationsgesellschaften.

Infolge des thermisch induzierten Stadt-Umland-Windsystems führen die Flurwinde durch die Zufuhr kühlerer Umlandluft zu einer Temperaturkompensation im Innenstadtbereich und unter der Voraussetzung geringer Schadstoffbeimengungen zu einer Verbesserung der Luftqualität im Stadtgebiet. Dies führt zur Minderung der lufthygienischen Belastung wie auch der Wärmebelastung und verbessert deutlich die bioklimatische Situation innerhalb von Stadtgebieten. Umlandgebiete mit geringer Bebauung und Kaltluftbildung erhalten einschließlich der Ventilationsschneisen wichtige Funktionen als klimatische Ausgleichs- und Transporträume gegenüber verdichteten Stadtgebieten (Klimafunktionsräume).

Die Erkenntnisse der planungsorientierten Stadtklimatologie über die Auswirkungen urbaner Bebauung haben ihren Niederschlag in der Bau- und Umweltgesetzgebung gefunden. Generelles Ziel ist es hierbei, dass Stadtklima bei der Planung zu berücksichtigen, geplante Siedlungsstrukturen so zu entwickeln, dass das bestehende klimatische Stadt-Umland-System nach Möglichkeit erhalten bleibt und bestehende Siedlungsstrukturen so zu verändern, dass hierdurch eine klimatische Verbesserung durch Verringerung der Wärme- und der lufthygienischen Belastung eintritt. Gemäß § 1 Abs. 5 BauGB sollen Bauleitpläne eine nachhaltige städtebauliche Entwicklung [...] gewährleisten und dazu beitragen, eine menschenwürdige Umwelt zu sichern und die natürlichen Lebensgrundlagen zu schützen und zu entwickeln. Insbesondere § 1 Abs. 5 Satz 7 BauGB weist darauf hin, dass gemäß § 1a BauGB die Belange des Umweltschutzes [...], insbesondere des Naturhaushalts, des Wassers, der Luft und des Bodens [...] sowie das Klima bei der Aufstellung von Bauleitplänen zu berücksichtigen sind. § 1a Abs. 2 Satz 3 BauGB fordert zur Abwägung der umweltschützender Belange in der Stadtplanung die Bewertung der ermittelten und beschriebenen Auswirkungen von Vorhaben auf [...] Luft und Klima. Gleiches gilt sinngemäß für § 2 UVPG. Die Berücksichtigung des Klimas bezieht sich nicht allein auf die Wärmebelastung, sondern auch auf die lufthygienische Belastung, so dass mit einer Begrenzung der Emissionen und Immissionen durch die TA Luft, die 22. BImSchV (Verordnung über Immissionswerte) und durch § 47 BImSchG (Luftreinhalteplanung, einschließlich der geltenden EU-Richtlinien und Tochterrichtlinien), Ziele der planungsorientierten Stadtklimatologie über die gesetzlich geforderte Luftreinhalteplanung verankert werden.

Abb. 1: Methodische Vorgehensweise bei der Erstellung der Gesamtstädtischen Klimaanalyse für die Stadt Krefeld



Quelle: Barlag, A.-B., Präsentation der Gesamtstädtische Klimaanalyse Krefeld vom 27.06.03 für Dez. VI, FB 36, 61 u. 67.

Die planungsorientierte Stadtklimatologie hat es sich zur Aufgabe gemacht, Ist-Zustände städtischer Klimaerweichungen zu analysieren, zu bewerten und zu modellieren, um daraus Nutzungsempfehlungen für kommunale Planungsentscheidungen ableiten und Planzustände hinsichtlich der Siedlungs- und Baustruktur simulieren zu können. Eine derartige Klimaanalyse wurde auf die Stadt Krefeld angewendet. Sie gibt für den Planungsprozess Informationen über die städtischen Klimate der bebauten und unbebauten Flächen sowie über Klimate von Flächen mit speziellen Klimateigenschaften, d.h. über klimatische bzw. lufthygienische Lokal- oder Fernwirkungen. Sie bewertet die Klimafunktionen einzelner Flächen und des urbanen Flächengefüges in einer Synthetischen Klimafunktionskarte und enthält Planungshinweise zum Erhalt der positiven und zur Minimierung negativer Klimafunktionen, die für das Krefelder Stadtgebiet beschrieben wurden (vergl. Abb. 1). Simulationen stadtklimatischer Veränderungen unter verschiedenen Planzuständen zur Optimierung der geplanten Siedlungs- und Baukörperstrukturen wurden jedoch nicht durchgeführt. Die vorliegende Klimaanalyse löst jedoch das Klimagutachten von Edmonds (1981) für die Stadt Krefeld als Planungsgrundlage ab, da sie mit differenzierteren Methoden erstellt wurde und die tatsächlichen Änderungen der Siedlungsstruktur in den vergangenen zwanzig Jahren berücksichtigt.

### 3. Mess- und Analysetechnik der Gesamtstädtischen Klimaanalyse im Stadtgebiet Krefeld

Die Messungen des Instituts für Ökologie, Abteilung Angewandte Klimatologie und Landschaftsökologie der Universität Essen zur Gesamtstädtischen Klimaanalyse der Stadt Krefeld, umfassten stationäre als auch mobile meteorologische und lufthygienische Erhebungen. Sie wurden repräsentativ für das gesamte Stadtgebiet und teilweise speziell für die benannten Sondergebiete durchgeführt. Die Maßstabebene für die Gesamtstädtische Klimaanalyse ist der Maßstab 1:20.000, mit dem zwar die Siedlungsstruktur des Stadtgebietes erfasst wurde, jedoch Art und Maß der Bebauung nur bedingt berücksichtigt worden sind. Folgende meteorologische bzw. klimatologische Parameter wurden innerhalb der aufgeführten Messstruktur erhoben (vergl. Tab. 2 und Abb. 3)

- a) Acht Klimafeststationen innerhalb verschiedener Flächennutzungstypen mit Messeinrichtungen zur Ermittlung von Windrichtung und Windgeschwindigkeit in 4 m Höhe ü. Gr., Lufttemperatur und Relative Luftfeuchtigkeit in 2 m Höhe ü. Gr..
- b) Neun Passivsammler zur Ermittlung des Stickstoffdioxid-Gehaltes (NO<sub>2</sub>) der Luft an den acht Klimastationen und einer LUQS-Messstation des Landesumweltamtes NRW – LUA NRW, Essen.
- c) Ein Pyranometer zur Messung der Globalstrahlung in den Monaten Juni, Juli, August 2002 an der Station Fischeln.
- d) Drei nächtliche Lufttemperaturmessfahrten.
- e) Drei lufthygienische Profilmessfahrten.
- f) Drei BETX-Profilmessungen an ausgewählten Standorten.
- g) Vier lufthygienische 24 h-Standmessungen.
- h) Vier SF6-Tracerausbreitungskampagnen.

Tab. 2: Lage, Merkmale und Messgeräteausstattung der Klimastationen in Krefeld

Nr.	Stationsname	Straße	Beschreibung	Höhe ü. NN [m]	Messgrößen
K1	Uerdingen	Duisburger Straße	Industriegebiet	32	T, rF u, WR
K2	Hafen	Bataverstraße	Rheinufer, gewerbliche Nutzung	30	T, rF u, WR
K3	Fischeln	Willicher Straße / Dohmenstraße	Landwirtschaftliche Fläche (Grünland, Acker)	39	T, rF u, WR, GS
K4	Lindental	Freizeitanger	Schul- und Kindergartenkomplex in Wohngebiet (Vorort)	39	T, rF u, WR
K5	Innenstadt	Nordwall / Ostwall	Innenstadt	39	T, rF u, WR
K6	Hüls-SW	Venloer Straße	Landwirtschaftliche Fläche (Acker)	35	T, rF u, WR
K7	Verberg	Zwingenbergstraße	Grünland in einer potenziellen Belüftungsschneise	31	T, rF u, WR
K8	Stadtwald	Wilhelmshofallee	Wohngebiet	34	T, rF u, WR

T: Lufttemperatur [°C] in 2 m Höhe ü. Gr., rF: relative Luftfeuchte [%] in 2 m Höhe ü. Gr., u: Windgeschwindigkeit [m s<sup>-1</sup>] in 4 m Höhe ü. Gr., WR: Windrichtung [°] in 4 m Höhe ü. Gr., GS: Globalstrahlung [Wm<sup>-2</sup>] in 2 m Höhe ü. Gr. Ab 22.05.2002. Quelle: Kutler et al, Gesamtstädtische Klimaanalyse Krefeld, S. 10, 2003.

Die Daten über Lufttemperatur, Relative Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit und -richtung wurden über Datalogger gespeichert und wöchentlich ausgelesen, während die NO<sub>2</sub>-Passivsammler ebenso wöchentlich beprobt wurden. Die mobilen Messungen wurden während der verschiedenen Jahreszeiten wetterlagenabhängig bei autochthonen Wetterlagen (Strahlungswetterlagen) und Wetterlagen mit Austauschcharmut jeweils über die Nachtstunden sowie über 24 h - Standmessungen durchgeführt. Sie dienen dazu, bei den worst-case-Bedingungen derartiger Extremwetterlagen – bei denen sich die Eigenschaften der umgebenden natürlichen und künstlichen Oberflächen deutlich im Mikroklima und in der Luftqualität eines Standortes niederschlagen – die räumliche Verteilung der Klimaparameter und die Ausbreitung der lufthygienisch relevanten Parameter unter Anwendung mathematisch-räumlicher Zeitkorrekturmethode zu erfassen.

#### **4. Ergebnisse der Klimaanalyse Krefeld**

Die hier wiedergegebenen Ergebnisse der Klimaanalyse beziehen sich auf die wesentlichen Aussagen der Studie. Die zusammengefasst wiedergegebenen Ergebnisinterpretationen entsprechen den Aussagen der Klimaanalyse.

##### **4.1 Repräsentativität des Messzeitraums und Bestimmung austauscharmer Wetterlagen**

Die Repräsentativität des Messzeitraums ergibt sich durch den Vergleich der Häufigkeit des Auftretens mit einer 119-jährigen Datenreihe des Katalogs der Großwetterlagen in Europa. Da letztlich zyklonale und antizyklonale Wetterlagen während des Messzeitraums etwa gleich häufig aufgetreten sind, ist der Messzeitraum als repräsentativ anzusehen. Die Großwettertypen Südwest, Nordwest, Ost und Hoch über Mitteleuropa sind etwas häufiger vertreten als in der Vergleichsreihe, während die Großwettertypen West, Nord, Süd und Tief über Europa etwas unterrepräsentiert sind.

Über die Klimaparameter Lufttemperatur und Windgeschwindigkeit wurden die austauscharmen Strahlungstage bestimmt. Für den Untersuchungszeitraum ergeben sich 33 Strahlungstage und -nächte, von denen 13 auf das Winter- und 20 auf das Sommerhalbjahr entfallen. Dies entspricht etwa 25 % des Gesamtkollektivs der Nächte mit der höchsten Wärmeinselintensität bei mittleren Windgeschwindigkeiten von 1,5 ms<sup>-1</sup> und weniger.

##### **4.2 Lufttemperatur**

Das mittlere Temperaturniveau, bezogen auf den Gesamtzeitraum und das Gesamtkollektiv der acht Klimastationen, lag während des Messzeitraumes bei einer Jahresmitteltemperatur zwischen 10,6 °C und 11,1 °C (vergl. Tab. 3). Die Maxima der Lufttemperatur erreicht 33,9 °C bis 35,5 °C, die Minima lagen zwischen -5,9 °C und -7,6 °C. Die Stationen Innenstadt (K5) und Uerdingen (K1) weisen die erhöhteren Jahresmittel der Lufttemperatur gegenüber den Stationen Fischeln (K3), Hüls Südwest (K6), Verberg (K7) und Stadtwald (K8) auf, deren Jahresmittel im unteren Temperaturniveau liegen. Die Stationen Hafen (K2) und Lindental (K4) nehmen eine Mittelstellung ein. Die relativen Temperaturpositionen der Stationen untereinander gelten für den Gesamtzeitraum als auch für den Zeitraum der als autochthon bestimmten Tage. Die interstationären Differenzen für den Gesamtzeitraum liegen zwischen 0,5 und 1 K erhöhter Jahresmitteltemperatur der Stationen Uerdingen und Innenstadt gegenüber den Stationen Fischeln (K3), Hüls Südwest (K6), Verberg (K7) und Stadtwald (K8). Die Mittelwerte der Lufttemperatur der autochthonen Tage liegen zwischen 15,2 °C und 16,7 °C. Die Spannweite der absoluten Minima zwischen 0,9 K und 1,8 K und die der Maxima zwischen 31,9 °C und 33,0 °C fallen höher als für den Gesamtzeitraum aus. Die hohe Mitteltemperatur der autochthonen Tage ist wie die über dem Gefrierpunkt liegende Minimumtemperatur durch die überwiegend auf das Sommerhalbjahr entfallenden autochthonen Tage und die milde Witterung der winterlichen Strahlungstage erklärbar.

Der Vergleich der durchschnittlichen Tagesgänge der Lufttemperatur mit dem Temperaturminimum um ca. 5:00 Uhr MEZ und dem Maximum zwischen 15:00 und 16:00 Uhr MEZ und einer mittleren Tagesdifferenz von ca. 9 K bis 11 K spiegelt den typischen Verlauf des Tagesganges wieder (vergl. Abb. 2). Die interstationäre, maximale nächtliche Differenz der Lufttemperatur liegt für den Gesamtzeitraum bei 1,4 K,

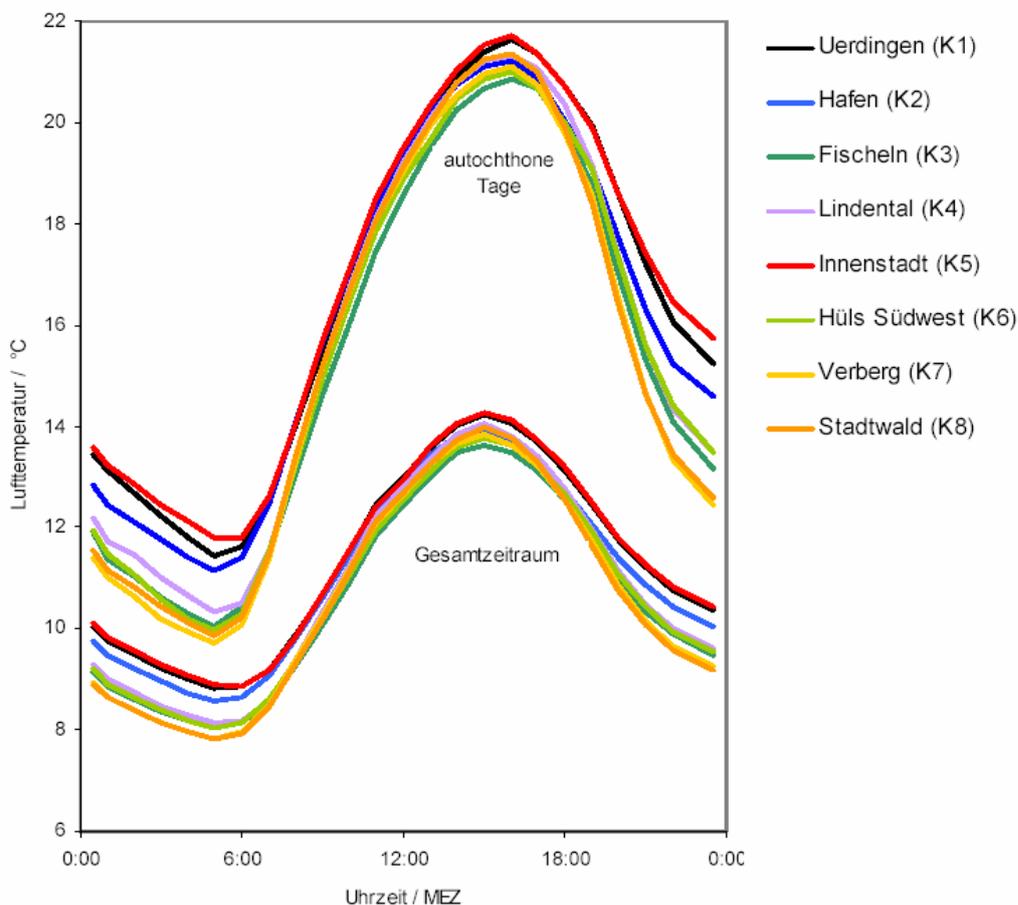
Tab. 3: Statistische Angaben zu ausgewählten Kenngrößen der Lufttemperatur des Messnetzes im Krefelder Untersuchungsgebiet im Messzeitraum vom 01.11.2001 bis 31.10.2002. Datengrundlage: Stundenmittelwerte

Zeitraum	Lufttemperatur [°C]	Stationsname								Gebietsmittel
		Uerdingen (K1)	Hafen (K2)	Fischeln (K3)	Lindental (K4)	Innenstadt (K5)	Hüls Südwest (K6)	Verberg (K7)	Stadtwald (K8)	
Gesamtzeitraum	$\bar{t}$	11,3	11,1	10,6	10,8	11,3	10,7	10,6	10,6	10,9
	$\sigma_t$	7,1	7,0	6,9	7,0	7,1	7,0	7,0	7,1	7,0
	$t_{\max, \text{abs}}$	35,3	35,3	34,4	34,8	35,5	33,9	34,5	34,5	34,8
	$t_{\min, \text{abs}}$	-6,0	-6,4	-5,9	-6,5	-6,4	-6,5	-6,7	-7,6	-6,5
autochthone Tage	$\bar{t}$	16,5	16,1	15,3	15,7	16,7	15,5	15,2	15,3	15,8
	$\sigma_t$	6,4	6,4	6,5	6,6	6,3	6,6	6,7	6,7	6,5
	$t_{\max, \text{abs}}$	32,8	32,6	32,4	32,3	33,0	32,1	31,7	31,9	32,3
	$t_{\min, \text{abs}}$	1,7	1,5	0,9	1,5	1,8	1,2	1,2	1,4	1,4

Quelle: Kuttler et al, Gesamtstädtische Klimaanalyse Krefeld, S. 20, 2003.

während für die Strahlungstage bis zu 3,3 K ermittelt werden konnten. Die interstationären Temperaturunterschiede bleiben tagsüber mit weniger als 0,5 K gering.

Abb. 2: Vergleich der durchschnittlichen Tagesgänge der Lufttemperatur im Gesamtzeitraum sowie an autochthonen Tagen im Krefelder Untersuchungsgebiet im Messzeitraum vom 01.11.2001 bis 31.10.2002. Datengrundlage: Stundenmittelwerte



Quelle: Kuttler et al, Gesamtstädtische Klimaanalyse Krefeld, S. 21, 2003.

Als klimatologische Ereignistage, bei denen Schwellenwerte unter- bzw. überschritten werden, werden die Anzahl der Eistage, Frosttage, kalter Tage, Heiztage, Sommertage, heißer Tage, Grillpartytage und die Anzahl der heißen Nächte jeweils für das Winter- und Sommerhalbjahr bestimmt (vergl. Tab. 7). Dies verdeutlicht den Jahresgang der thermischen Unterschiede an den Klimastationen Innenstadt (K5) und Uerdingen (K1) gegenüber den Umlandstationen mit ihrem entgegengesetzt gerichteten Temperaturverhalten. Exemplarisch deutlich wird dies an der Zahl der Frosttage, die an der Station Innenstadt (K5) mit 32 Tagen deutlich geringer ausfällt, als an der Station Fischeln (K3) mit 44 Tagen, während die Zahl der Heiztage an der Innenstadt-Station (K5) mit 238 Tagen deutlich geringer ausfällt als an der Umland-Station Fischeln (K3) mit 266 Tagen. Gleiches gilt für die Zahl der heißen Nächte, die an der Station K5 mit 13 Tagen deutlich über den 3 Tagen an der Station K3 liegen.

Tab. 4: Anzahl klimatologischer Ereignistage an den Klimastationen in Krefeld innerhalb des Messzeitraums vom 01.11.2001 bis 31.10.2002

Tage mit Überschreitung von Temperaturschwellenwerten		Stationsname								Gebietsmittel	langj. Mittel Tönisvorst <sup>1)</sup>
		Uerdingen (K1)	Hafen (K2)	Fischeln (K3)	Lindental (K4)	Innenstadt (K5)	Hüls Südwest (K6)	Verberg (K7)	Stadtwald (K8)		
Winter	Anz. Eistage ( $t_{\max} < 0 \text{ °C}$ )	2	2	1	2	2	2	2	2	1,9	10,5
	Anz. Frosttage ( $t_{\min} < 0 \text{ °C}$ )	35	34	44	44	32	44	47	54	41,8	60,6
	Anz. Heiztage ( $t_{\text{mittel}} < 15 \text{ °C}$ )	242	249	266	260	238	261	263	260	254,9	k.A.
	Kalte Tage ( $t_{\text{mittel}} < 0 \text{ °C}$ )	13	14	15	17	14	17	18	19	15,9	k.A.
Sommer	Anz. Sommertage ( $t_{\max} \geq 25 \text{ °C}$ )	34	29	25	27	34	26	25	30	28,8	28,5
	Anz. heiße Tage ( $t_{\max} \geq 30 \text{ °C}$ )	10	8	7	8	10	8	9	9	8,6	5,6
	Anz. Grillpartytage ( $t_{2\text{th}} > 20 \text{ °C}$ )	38	31	24	27	37	23	18	19	27,1	k.A.
	Anz. heiße Nächte ( $t_{0\text{h}} > 20 \text{ °C}$ )	17	14	3	7	13	7	6	6	9,1	k.A.
Summe Winter		292	299	326	323	286	324	330	335	314,4	k.A.
Summe Sommer		99	82	59	69	94	64	58	64	73,6	k.A.

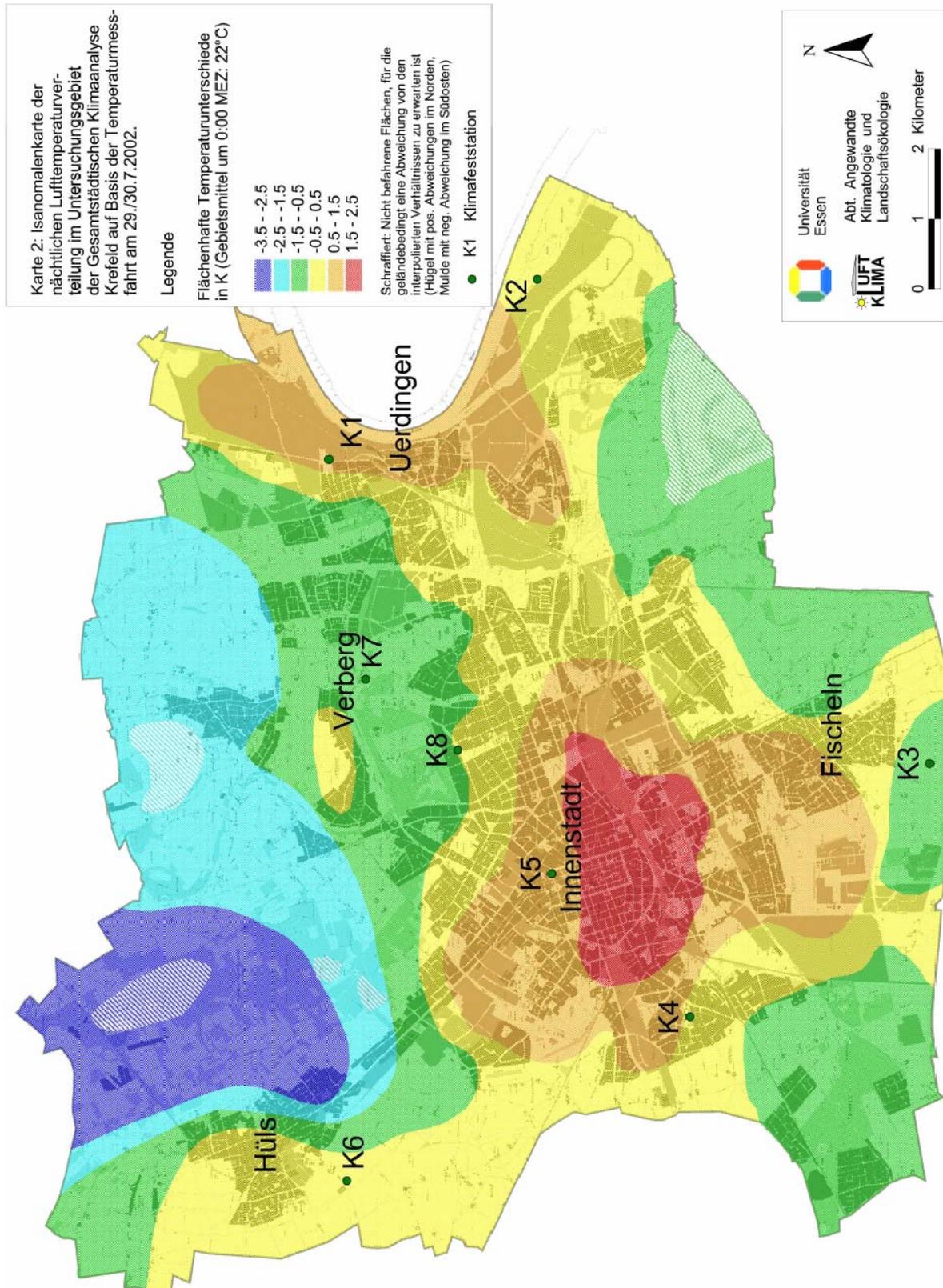
<sup>1)</sup> Quelle: MURL (1989)

Quelle: Kuttler et al, Gesamtstädtische Klimaanalyse Krefeld, S. 23, 2003.

Die interstationären Unterschiede im mittleren Temperaturniveau, im Tagesgang der Lufttemperatur und in der Zahl der klimatologischen Heiztage charakterisieren bereits die thermischen Differenzen zwischen den Innenstadtbereichen und dem Umland sowie den Vororten der Stadt Krefeld. Insgesamt verhalten sich die interstationären Unterschiede im Tagesgang der Lufttemperatur typisch für die unterschiedlichen Flächennutzungen, mit hohen Temperaturen und geringer nächtlicher Abkühlung innerhalb der Bebauung und niedrigeren Temperaturen sowie ausgeprägter nächtlicher Abkühlung im unbebauten Umland. Die Wärmeinselintensität zwischen Stadt und Umland wird vor allem zwischen den Stationen Innenstadt (K5) und Fischeln (K3) deutlich, bei denen das nächtliche Maximum der Temperaturdifferenz 4,8 K erreichte. Insgesamt ist der Standort Innenstadt in 90,6 % der Jahresstunden gegenüber der Umlandstation Fischeln überwärmt.

Durch die Daten der Temperaturmessfahrten vervollständigt sich das Bild der Temperaturverteilung für die Stadt Krefeld, da hierdurch die Möglichkeit der räumlichen Interpolation der Temperaturmesswerte besteht (vergl. Abb. 3). Exemplarisch sind in der Klimaanalyse die Isanomalien der Lufttemperaturverteilung im Untersuchungsgebiet auf der Basis der Temperaturmessfahrt am 29./30.07.2002 dargestellt. Die Temperaturdifferenz erreicht aufgrund einer besonders starken Abkühlung östlich von Hüls 6 K. Dieser hohe Wert

Abb. 3: Isanomalien der nächtlichen Lufttemperaturverteilung im Untersuchungsgebiet der Gesamtstädtischen Klimaanalyse Krefeld auf Basis der Temperaturmessverteilung am 29./30.07.2002



Quelle: Kuttler et al, Gesamtstädtische Klimaanalyse Krefeld, S. 28, 2003.

ist jedoch als singuläre Erscheinung zu betrachten. Als repräsentativ ist ein Temperaturunterschied von 3 K anzusehen.

Gemäß der Klimaanalyse lässt sich zusammenfassend festhalten, dass im grundsätzlich wärmeren, bebauten Bereich, die Dichte und räumliche Ausdehnung der Bebauung für das Ausmaß der Überwärmung entscheidend ist, im grundsätzlich kühleren Umland die Geländehöhe. Besonders deutlich zeigt sich der Geländeeinfluss entlang der durch Hüls und östlich an Fischeln vorbei verlaufenden Terrassenstufe, an der sich die tiefere Temperatur jeweils im Osten einstellt. Weiterhin stellen sich bei enger räumlicher Nachbarschaft von Erhebungen und Mulden die tieferen Temperaturen in den Mulden ein, da sich hier die dichtere Kaltluft sammelt und die geringeren Windgeschwindigkeiten aber auch das in der Regel höher anstehende Grundwasser das Zustandekommen von Inversionen begünstigt. Zu differenzieren ist auch der überwärmte Siedlungsbereich in einen relativ kleinen Teil der Gesamtsiedlungsfläche einnehmenden Kernbereich und den großen Flächen nur mäßiger Überwärmung zwischen Innenstadt und Urdingen und der Mehrzahl der Vororte. Die räumliche Differenzierung ist gemäß der Klimaanalyse auf für Krefeld typische Baukörperstrukturen zurückzuführen. Sie zeichnen sich durch eine von engen Straßen getrennte, vielgeschossige Bebauung in der weitestgehend symmetrischen Siedlungsstruktur der Innenstadt sowie durch den ausgesprochenen Grünflächenreichtum der reinen Wohngebiete aus. Gewerbe- und Industrieflächen sowie die eng bebauten alten Ortskerne der Vororte nehmen dabei eine Mittelstellung ein, die im Einzelfall nach Gebäudehöhe und -dichte, Ausdehnung und Einfluss benachbarter Strukturen stark variieren kann.

### 4.3 Luftfeuchtigkeit

Die interstationären Unterschiede der Luftfeuchtigkeit gehen aus dem durchschnittlichen Tagesgang der relativen Luftfeuchtigkeit hervor. Insbesondere nachts betragen die Luftfeuchtigkeitsdifferenzen bis zu zehn Prozentpunkte. Eine vergleichsweise geringe relative Luftfeuchtigkeit weisen die Klimastationen Innenstadt (K5) und Lindental auf (K4), während die Station Stadtwald (K8) die höchsten Werte aufweist. Die Differenzen der relativen Luftfeuchte sind in erster Linie auf die physikalische Abhängigkeit zur Lufttemperatur zurückzuführen, so dass der Interpretationsspielraum im interstationären Vergleich gering ist. Der ermittelte Tagesgang der relativen Luftfeuchtigkeit mit Maxima von 82-92 % zwischen 05.00 Uhr und 06.00 Uhr MEZ und Minima von 57-66 % gegen 15.00 Uhr MEZ, spiegelt den typischen Tagesverlauf wieder.

### 4.4 Austauschverhältnisse

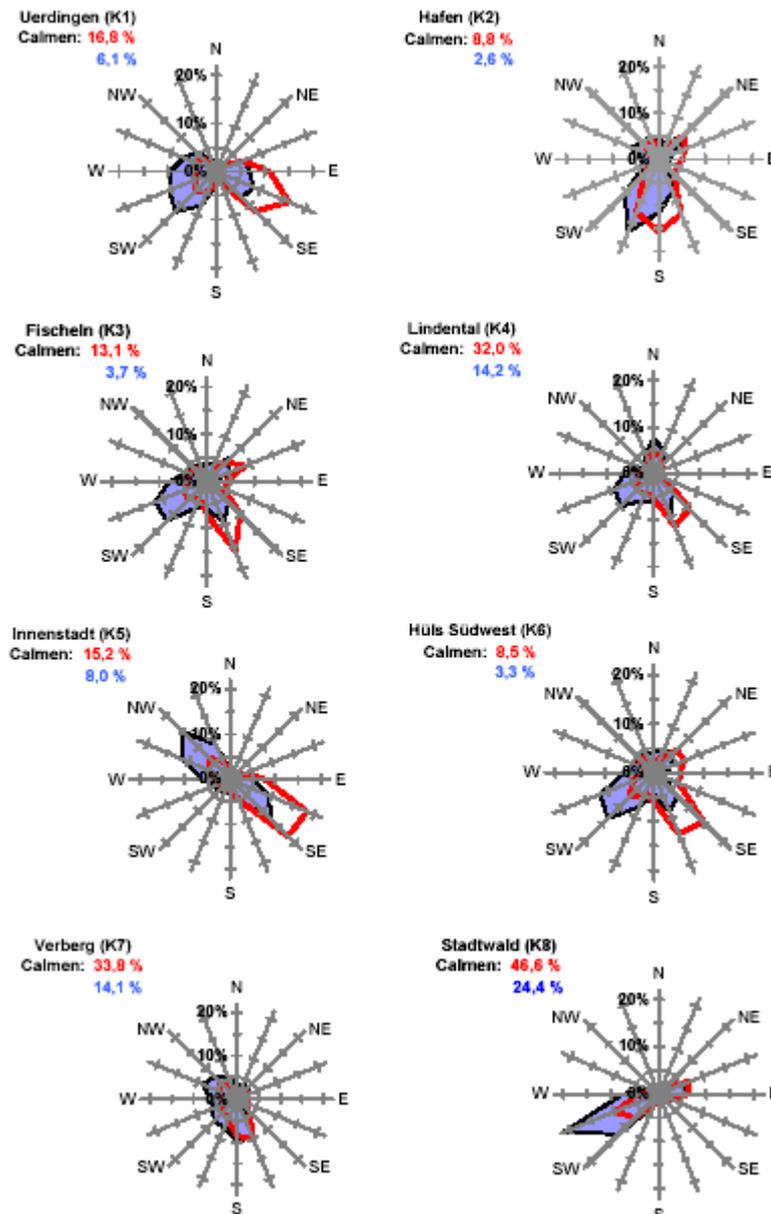
Gemäß der Klimaanalyse spielen für stadtklimatische Fragestellungen Windrichtung und Windgeschwindigkeit sowohl der übergeordneten Luftströmung als auch der durch Bewuchs und Bebauung modifizierten Luftströmung eine große Rolle. Letztere stellen Rauigkeitselemente dar, welche die übergeordnete Luftströmung abbremsen und umlenken und Düseneffekte mit der Beschleunigung von Luftmassen hervorrufen. Aufgrund ihrer guten Anströmbarkeit waren die mittleren Windgeschwindigkeiten der Stationen Fischeln (K3) und Hüls-Südwest (K6) mit  $2,3 \text{ ms}^{-1}$  und  $2,2 \text{ ms}^{-1}$  maximal. An den Stationen Lindental (K4), Innenstadt (K5) und Stadtwald (K3) waren die Windgeschwindigkeiten mit  $1,2 \text{ ms}^{-1}$ ,  $1,1 \text{ ms}^{-1}$  und  $1,0 \text{ ms}^{-1}$  durch hindernisbedingte Rauigkeits- und Umlenkeffekte auffällig reduziert. Die Tagesgänge der mittleren bodennahen Windgeschwindigkeiten zeigen an allen Stationen ein Maximum in den Nachmittagsstunden, das durch die Erwärmung infolge der Sonneneinstrahlung bedingt ist. Die Jahresgänge der mittleren bodennahen Windgeschwindigkeit zeigen ein erwartungsgemäßes Maximum im Winter und ein spätsommerliches Minimum. Dies ist in erster Linie auf die im Winter großräumig stärkeren gegenüber den geringeren sommerlichen Luftdruckgegensätzen zurückzuführen. Die Belaubung führt innerhalb der Vegetationsperiode zusätzlich zu einer Minderung der bodennahen Luftströmung.

Die Häufigkeitsverteilung der verschiedenen Windrichtungen zeigt nach der 16-teiligen Windrose für den Gesamtzeitraum im gesamten Untersuchungsgebiet eine Hauptwindrichtung aus südlichen und westlichen Richtungen an (vergl. Abb. 4). Die Umlandstationen Fischeln (K3) und Hüls-Südwest (K6) weisen ein weitgehend unbeeinflusstes Windrichtungsspektrum auf. Es spiegelt die für diese Region typische Windrichtungsverteilung mit einem Maximum im SW-Sektor und einem Nebenmaximum im SE-Sektor wider.

Dem gegenüber wird die Windrichtung durch die Rauigkeit der Baukörper- und Vegetationsstruktur an allen übrigen Standorten deutlich abgelenkt. Für den Standort Hafen (K2) entfällt die Südostkomponente, während an der Station Verberg (K7) die Hauptwindrichtung nach Süden verschoben ist. Die Station Innenstadt (K5) vor dem Polizeipräsidium zeigt eine deutliche Strömungskanalisation infolge der Baukörperstruktur mit einer erzwungenen Hauptwindrichtung aus Nordwest und einem Nebenmaximum aus Südost. Das Nebenmaximum des Südostsektors kommt an den Stationen (im Falle der Station Stadtwald (K8) ist es der Nordostsektor) durch die Änderung der Hauptwindrichtung bei autochthonen Strahlungswetterlagen zustande. Hiervon weicht die Station Hafen (K2) mit einer Südkomponente und schwachen Nebenmaxima der NNW- und NE-Windrichtung bei Strahlungswetterlagen ebenso wie die Station Stadtwald (K8) ab, die auch bei autochthonen Wetterlagen eine Hauptwindrichtung aus Südwest und ein Nebenmaximum aus östlicher Richtung aufweist. Die Station Stadtwald (K8) zeichnet scharf die Lage der Willhelmshofallee nach.

Aufgrund der durchschnittlich geringeren Windgeschwindigkeiten wird grundsätzlich der zumindest eingeschränkte Luftaustausch und die Austauschermut bei autochthonen Wetterlagen der Standorte innerhalb

Abb. 4: Windrichtungshäufigkeiten im Krefelder Untersuchungsgebiet. Blaue Signaturen zeigen den Gesamtzeitraum, rote die Strahlungstage im Messzeitraum 01.11.2001 bis 31.10. 2002. Datengrundlage: Dreiminutenmittelwerte.



der Bebauung gegenüber den Stationen der Umlandstandorten Fischeln (K3) und Hüls-Südwest (K6) deutlich. Die zu allen Tages- und Jahreszeiten begünstigte Austauschsituation dieser Umlandstationen ergibt sich darüber hinaus durch ihre freie Anströmbarkeit. Eine Zwischenstellung nimmt die Station Hafen (K2) aufgrund mittlerer Windgeschwindigkeiten und des Kanalisierungseffektes durch das Rheinflussbett ein.

Die Calmenhäufigkeit (Windstillen, Windgeschwindigkeiten  $< 0,5 \text{ ms}^{-1}$ ) im Gesamtzeitraum ist mit 24,4 % an der Klimastation Stadtwald (K8) am höchsten, während an der Station Hafen mit 2,4 % die geringste Calmenhäufigkeit festzustellen ist. Die Station Uerdingen weist mit 6,1 % eine dreimal so hohe Calmenhäufigkeit als die Umlandstationen auf. Häufige Calmen weisen die Standorte Lindental mit 14,2 % und Verberg (K7) mit 14,1 % auf, während die Calmen am Innenstadtstandort (K5) auf 8 % beschränkt bleiben. Ursache für die Windminderung ist im Falle von Verberg die Nähe zum Stadtwald, während für Lindental und Stadtwald das spezifische Muster von aufgelockerter Bebauung und dichter Vegetation als Ursache für die Calmenhäufigkeit angesehen werden kann. An Strahlungstagen steigen die Calmenhäufigkeiten je nach Station auf 8,5 % bis 45 % an und erhöhen sich damit gegenüber dem Gesamtzeitraum um den Faktor 1,9 bis 3,8.

Gemäß der Klimaanalyse ist für die Belüftungssituation der Stadt Krefeld das Auftreten und die Häufigkeit von Schwachwinden (Windgeschwindigkeiten  $< 1,5 \text{ ms}^{-1}$ ) von besonderem Interesse, da es durch Abkopplung des bodennahen Windfeldes vom übergeordneten Strömungsregime zu verringerten Austauschbedingungen unterhalb des Dachniveaus kommen kann. Es lässt sich feststellen, dass die Windgeschwindigkeiten an den relativ frei anströmbaren Standorten Fischeln (K3 mit 29,2 % Schwachwindstunden, Hüls-Südwest (K6 mit 34,7 % Schwachwindstunden) und Hafen (K2 mit 41,2 % Schwachwindstunden) deutlich geringer Anteile an Schwachwindstunden bzw. deutlich höherer Anteile an höheren Windgeschwindigkeiten aufweisen. Dagegen weisen die Innenstadt (K5) mit 79,9 %, Stadtwald (K8) mit 76,9 % und Lindental (K4) mit 71,5 % hohe Anteile an Schwachwindstunden auf und sind hinsichtlich des Luftaustausches benachteiligt. Uerdingen (K1) mit 59,6 % und Verberg (K7) mit 58,3 % nehmen eine Zwischenstellung ein. Übereinstimmend mit dem Jahresgang der Windgeschwindigkeiten zeigt der Jahresverlauf der Schwachwindstunden an den einzelnen Standorten eine geringe relative Häufigkeit in den Wintermonaten und ein Maximum im Herbst. Die maximale Dauer der Schwachwindepisoden variiert je nach Standort und Jahreszeit stark. Für das gesamte Stadtgebiet muss unter Berücksichtigung aller Stationen davon ausgegangen werden, dass in 56,3 % der Jahresstunden verringerte Austauschbedingungen vorherrschen. Lokal können die Austauschverhältnisse deutlich von diesem Mittelwert abweichen.

#### **4.5 Kaltluftausbreitungskampagnen in den vier Plangebieten**

Während ausgewählter Wetterlagen wurde die Kaltluftdynamik und die mögliche Eindringtiefe von Kaltluft vom Emissionspunkt in den bebauten Bereich durch die Freisetzung von Tracergas kartiert. Die Kartierung gibt Aufschluss darüber, ob eine Fläche, für die Nutzungsänderungen geplant sind, in ihrem derzeitigen Zustand als Kalt- bzw. Frischluftbildungsgebiet oder Ventilationsschneise fungiert. Die Kartierungen wurden für die Sonderuntersuchungsgebiete Verberg, Fischeln-Ost, Fischeln-West und Hüls-Südwest durchgeführt.

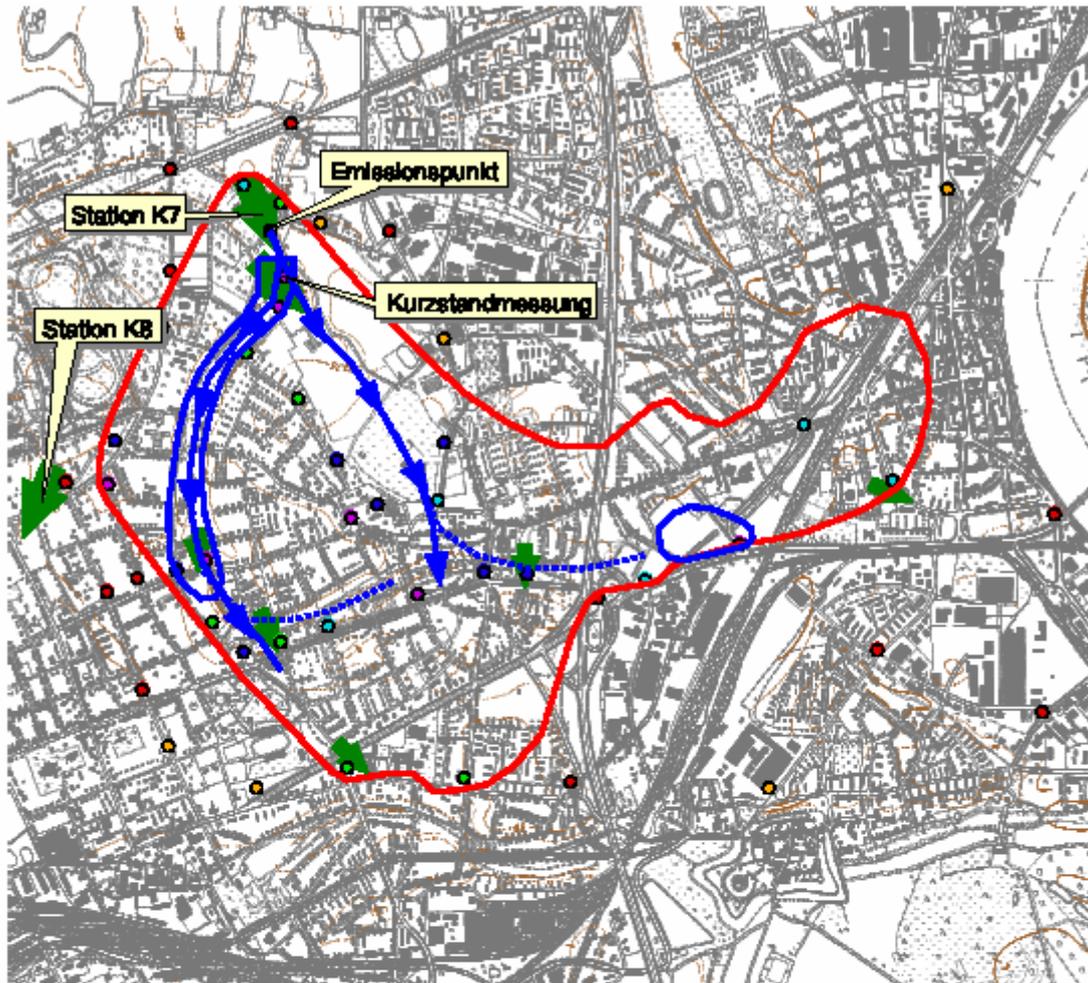
##### Plangebiet Verberg

Zum Zeitpunkt der nächtlichen Tracerausbreitungskampagne am 11./12.04.2002 herrschte an den Stationen die Hauptwindrichtung Nord mit unterschiedlich starken Westabweichungen vor. Hohe Tacergaskonzentrationen finden sich erwartungsgemäß in Lee des Emissionspunktes südlich der Station Verberg (K7). Ein deutlicher Leiteffekt des Tracergases ist innerhalb der als Grünzug ausgestalteten Talung zu erkennen, die den Bereich Schönhausenpark mit dem Freiland verbindet. Die Messungen bestätigen die Funktion des Raumes als Ventilationsschneise, die bereits im Gutachten von Edmonds (1981) vermutet worden ist. Gleiches gilt für den Freilandbereich süd-südöstlich des Emissionspunktes, der bis in die dichter bebauten Gebiete Bockums hineinreicht (vergl. Abb. 5).

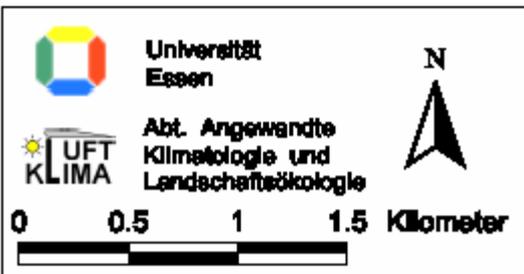
##### Plangebiet Fischeln Ost

Am 16/17.05.2002 wurde die nächtliche Tracerausbreitungskampagne mit dem Tracergas  $\text{SF}_6$  im geplanten Wohngebiet östlich Fischeln durchgeführt. Zu diesem Zeitpunkt wies das Gebiet eine nord-nordöstliche,

Abb. 5: Ergebnisse der Tracerausbreitungskampagne am 14.04.2002 (01:40-04:46 MEZ) im Plangebiet Verberg im Rahmen der Gesamtstädtischen Klimaanalyse Krefeld



Karte 3: Ergebnisse der Tracerausbreitungskampagne am 12.4.2002 (1:40-4:46 MEZ) im Plangebiet Verberg im Rahmen der Gesamtstädtischen Klimaanalyse Krefeld (Messzeitraum: 1.11.2001 bis 31.10.2002)



Quelle: Kuttler et al, Gesamtstädtische Klimaanalyse Krefeld, S. 44, 2003.

übergeordnete wie bodennahe Luftströmung und somit eine Komponente vom Emissionspunkt auf die westsüdwestlich des Emissionspunktes gelegene Bebauung Fischeln auf. Die Eindringtiefe der Luftströmung in die Bebauung war jedoch gering, da sich von der Bebauungsgrenze zum Innern ein steiler Konzentrationsgradient einstellte. Eine entscheidende Rolle bei der Bildung dieses Strömungsfeldes spielt offenbar das Mikrorelief. Das Gelände im Osten der Bebauung liegt deutlich tiefer und zeichnet das Tal eines nach Norden entwässernden Baches nach. Zusätzlich trägt möglicherweise die gradlinige Bebauung des Ostrandens von Fischeln dazu bei, eine übergeordnete Strömung bodennah abzulenken. Daher ist mit einem Kaltlufteinbruch nach Fischeln nur dann zu rechnen, wenn die übergeordnete Strömung ausreichend stark ist.

#### Plangebiet Fischeln West

Zum Zeitpunkt der nächtlichen Tracerausbreitungskampagne am 13./14.09.2002 lag im Untersuchungsgebiet westlich Fischeln eine übergeordnete Nordströmung vor. Tracerkonzentrationen oberhalb der Hintergrundkonzentration wurden nicht nur in Lee des Emissionspunktes, sondern auch in den westlichen Randbereichen Fischeln und entgegengesetzt der übergeordneten Windrichtung festgestellt. Mögliche Ursachen sind thermisch und gravitativ induzierte Kaltluftbewegungen und der allseitig mögliche, bodennahe Luftabfluss durch das leichte Kuppen- und Muldenrelief sowie ein durch die Wärmeinsel Krefelds induzierter Flurwind, der insbesondere während geringer übergeordneter Windgeschwindigkeiten Kaltluft in Richtung des Krefelder Zentrums und Fischeln verlagert. Der unbebaute Bereich westlich Fischeln, insbesondere der Kuppenbereich oberhalb der 40 m-Höhenlinie, ist daher als potenzielles Kaltluftbildungs- und Frischlufttherkunftsgebiet einzustufen, das in begrenztem Umfang zur Ventilation seiner tiefer gelegenen Nachbargebiete beitragen kann.

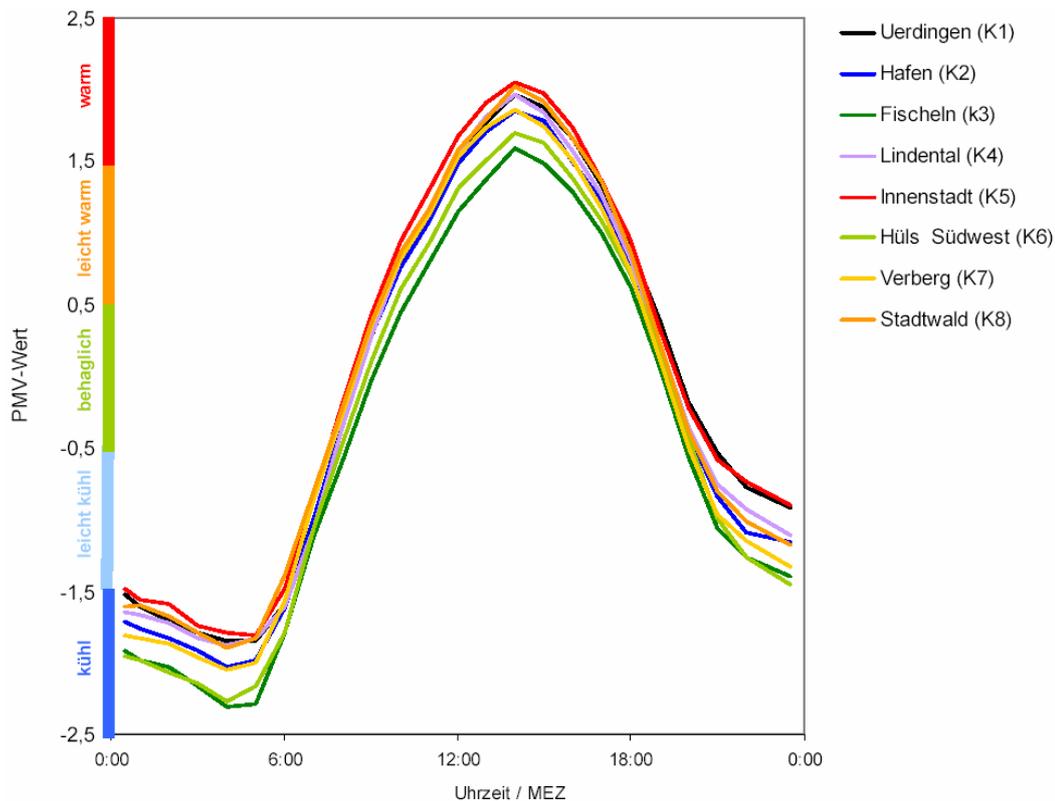
#### Plangebiet Hüls-Südwest

Die nächtliche Tracerausbreitungskampagne fand am 30.09./01.10.2002 südwestlich von Hüls bei einer übergeordneten schwachen Südströmung mit deutlicher Ostkomponente statt. Die Ausbreitung des Tracers ist streng an die vorherrschende Windrichtung gebunden. Durch die Luftströmung mit Ostkomponente ist vor allem das hochgelegene Siedlungsgebiet westlich des Ortskerns von Hüls durch Luftzufuhr aus dem unbebauten Gebiet südwestlich von Hüls zu erwarten, bei geringer Ostkomponente jedoch auch ein Eindringen in die übrigen Teile von Hüls. Bei weiterer Rechtsdrehung des Windes auf Südwest ist mit einem Abtransport der in Richtung Hülsener Bruch über die zwischen Hüls und Inrath gelegene, bebauungsfreie Engstelle zu rechnen. Die Häufigkeit aller potenziell kritischen Situationen bei austauscharmen Wetterlagen, bei denen die Strömung aus Hüls-Südwest auf den Stadtteil Hüls gerichtet ist, beträgt 19 %.

### **4.6 Human-biometeorologische Verhältnisse**

Wie in Kap. 2 bereits zusammenfassend beschrieben wurde, wirken die Klimakomponenten Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Wind und Strahlung gemeinsam auf den Menschen ein und bestimmen die thermische Behaglichkeit und den thermischen Diskomfort. Die gesundheitliche Relevanz der Klimaelemente hängt eng mit der Wärme- und Kreislaufregulation des Menschen zusammen. Die thermische Behaglichkeit und Belastung beschreibt der PMV (Predicted Mean Vote) anhand einer Scala von -3,5 (kalt) bis +3,5 (heiß), wobei der Wert 0 thermische Behaglichkeit bedeutet. Der PMV wurde in der Klimaanalyse mit dem numerischen Modell RayMan Vers. 1 berechnet, in das die aktuellen Werte der Lufttemperatur, der relativen Luftfeuchtigkeit, der Windgeschwindigkeit sowie der Globalstrahlung einfließen. Die Aussagen zum PMV-Wert gelten für eine männliche, 1,75 m große und 75 kg schwere, mit einem leichten Anzug bekleidete Normperson. Für die Stadt Krefeld wurden die PMV-Werte für den Zeitraum der Tagesstunden (Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang) der Monate Juni, Juli und August berechnet (vergl. Abb. 6). Demnach treten an den Umlandstationen Fischeln (K3) und Hüls-Südwest (K6) an 3,6 % bis 4,6 % der Tagesstunden PMV-Werte über 2,5 auf, während dieser PMV-Wert an den übrigen Standorten an 5,2 % bis 5,9 % der Tagesstunden auftrat. Die Anzahl der Episoden mit PMV-Werten > 0,5 lag an der Station Innenstadt (K5) bei 37, während bei den Stationen Fischeln (K3) und Hüls-Südwest (K6) 24 bzw. 28 Episoden registriert wurden. Innenstadt (K5) und Uerdingen (K1) weisen die höchste, die Umlandstationen Fischeln (K3) und Hüls-Südwest (K6) die geringste thermische Belastung auf. Die mittleren Tagesgänge der PMV-Werte für sommerliche Strahlungstage weisen für alle Stationen Minima zwischen 04.00 und 05.00 Uhr auf, während das Maximum der Wärmebelastung im Mittel um ca. 14.00 Uhr MEZ erreicht wird.

Abb. 6: Mittlerer Tagesgang der PMV-Werte an sommerlichen Strahlungstagen im Krefelder Untersuchungsgebiet im Messzeitraum vom 01.06. bis 31.08.2002. Datengrundlage: Stundenmittelwerte.



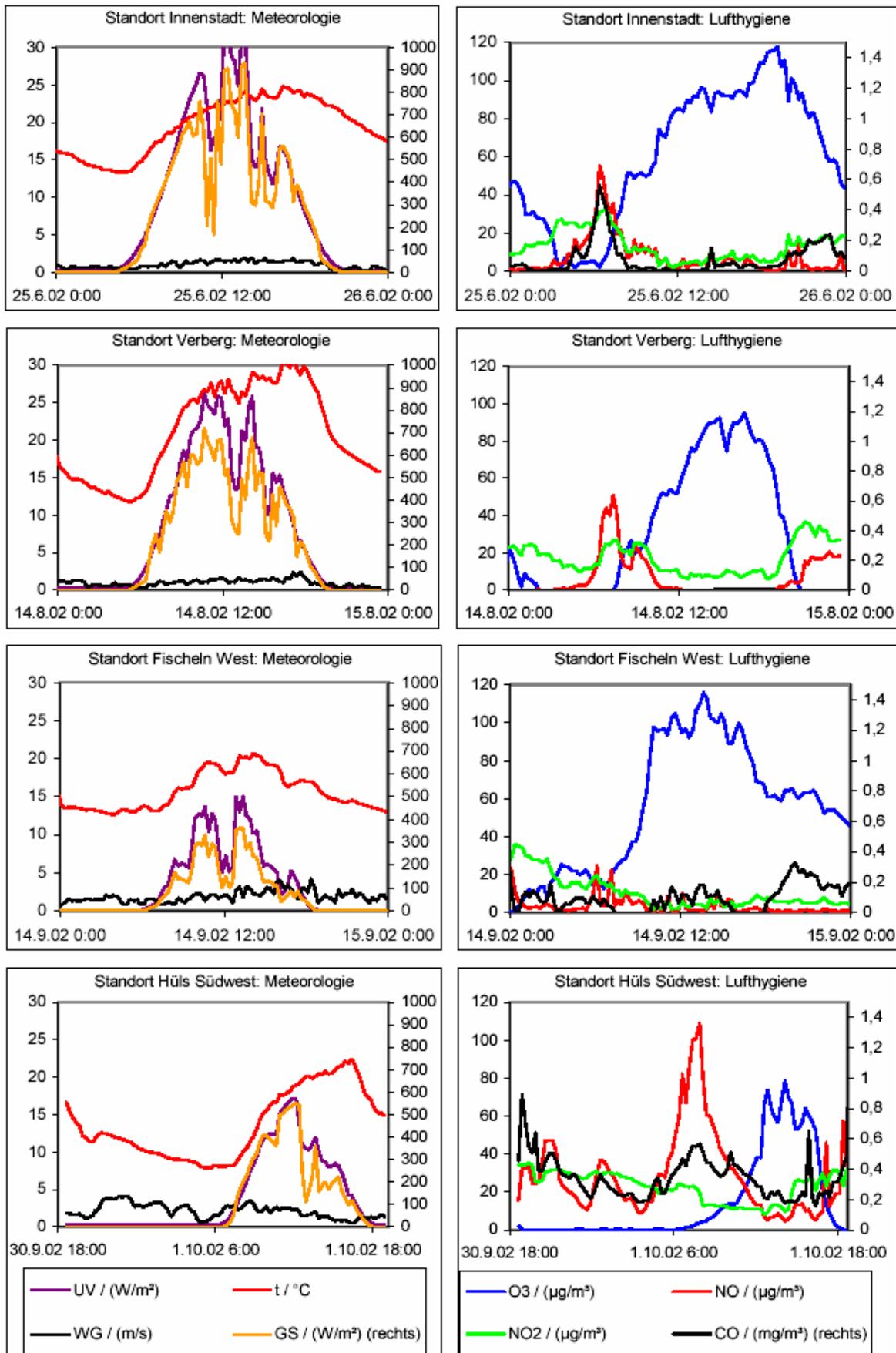
Quelle: Kuttler et al, Gesamtstädtische Klimaanalyse Krefeld, S. 57, 2003.

#### 4.7 Lufthygienische Verhältnisse

An den Klimastationen wurde die Konzentration der Leitsubstanz Stickstoffdioxid [NO<sub>2</sub>] durch Passivsammler mit grober Auflösung gemessen. Die Ergebnisse der Konzentrationsmessungen des sekundären Spurenstoffs, der sich aus verkehrsbedingten Emissionen primären Stickstoffoxids [NO<sub>x</sub>] bildet, wurden mit den im Untersuchungszeitraum vorherrschenden Großwetterlagen und -typen korreliert. Neben dem weitestgehend gleichsinnigen Verhalten der NO<sub>2</sub>-Konzentrationen der bodennahen Atmosphäre im interstationären Vergleich, besteht kein ausgeprägter Jahresgang mit besonders hohen oder niedrigen Werten der NO<sub>2</sub>-Konzentration. Deutlichere Abhängigkeiten zeigen sich jedoch im Hinblick auf austauscharme Wetterlagen. Für den Innenstadtstandort (K5) zeigt die Korrelation, dass vergleichsweise geringe Wochenmittelwerte der NO<sub>2</sub>-Konzentrationen bei den häufig auftretenden und selten mit Austauschmut verbundenen westlichen und nördlichen Wetterlagen auftreten. Höhere Werte weisen dagegen Ost- und Südlagen sowie Hochdruckwetterlagen auf. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass die Großwettertypen nicht zwingend mit der Bodenwindrichtung korrelieren und auf der Grundlage der Korrelation daher keine verallgemeinerten Aussagen in bezug auf das Quellgebiet der Schadstoffemissionen möglich sind.

Eine lufthygienische Differenzierung der Standorte erfolgt jedoch über den statistischen Vergleich der NO<sub>2</sub>-Zeitreihen. Im Vergleich der Mittelwerte der NO<sub>2</sub>-Zeitreihen der Feststationen kristallisieren sich die städtisch und industriell geprägten Standorte Uerdingen (K1), Hafen (K2) und Innenstadt (K5) mit NO<sub>2</sub>-Konzentrationen von 40 µg/m<sup>3</sup> gegenüber den Umland- und Wohngebietsstationen Fischeln (K3), Lindental (K4), Hüls Südwest (K6), Verberg (K7) und Stadtwald (K8) heraus. Die Klimaanalyse weist hier darauf hin, dass auch unter Zugrundelegung der Referenzwerte der LUQS-Station des Landesumweltamtes NRW und vor dem Hintergrund zunehmenden Kfz-Verkehrs der ab dem Jahr 2010 gemäß der 22. BImSchV geltende NO<sub>2</sub>-Grenzwert bei den Standorten Innenstadt (K5), Uerdingen (K1) und Hafen (K2) leicht überschritten bzw. erreicht wird. Das Auftreten von Maxima zwischen 50 µg/m<sup>3</sup> bis 112 µg/m<sup>3</sup> innerhalb des Untersuchungszeitraumes zeigt, dass auch zukünftig deutliche Überschreitungen des NO<sub>2</sub>-Grenzwertes zu erwarten sind.

Abb. 7: Messdaten der vier 24-h-Standmessungen (15-Minuten-Mittel) im Rahmen der Gesamtstädtischen Klimaanalyse Krefeld im Messzeitraum vom 01.11.2001 bis 31.10.2002.

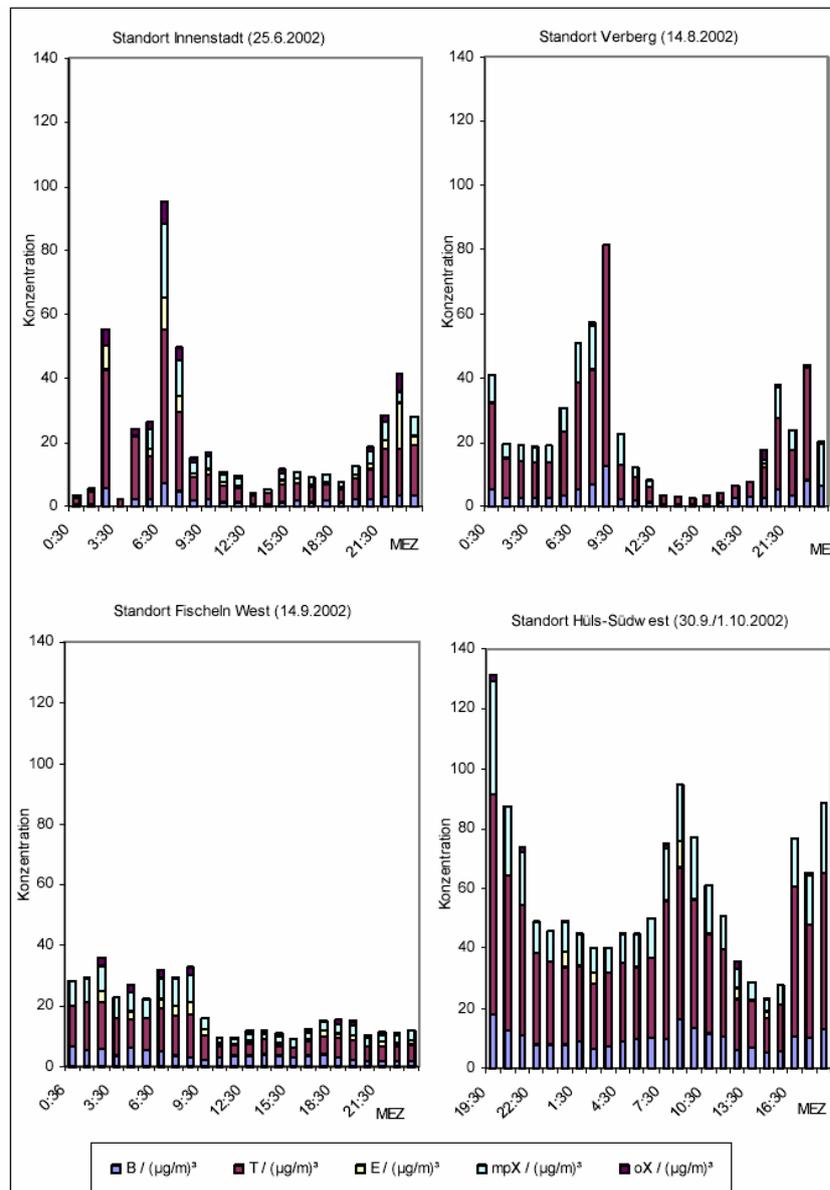


Quelle: Kuttler et al, Gesamtstädtische Klimaanalyse Krefeld, S. 63, 2003.

Durch vier 24-h-Standmessungen wurden während austauscharmer Wetterlagen (worst-case-Situationen) neben den meteorologischen Parametern Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit, UV-Strahlung und Globalstrahlung, lufthygienische Daten der Spurenstoffkonzentrationen Ozon [O<sub>3</sub>], Stickoxid [NO], Stickstoffdioxid [NO<sub>2</sub>] und Kohlenmonoxid [CO] sowie zu den Konzentration der aromatischen Kohlenwasserstoffe Benzol, Ethylbenzol, Toluol, o-Xylol und m/p-Xylol (BETX) gewonnen (vergl. Abb. 7). Die Standmessungen wurden im nahen Umfeld der Klimastationen Fischeln (K3), Innenstadt (K5), Hüls-Südwest (K6) und Verberg (K7) durchgeführt. Die Konzentrationen der Spurenstoffe CO und NO sowie die aromatischen Kohlenwasserstoffe zeigen in der Innenstadt, bei Verberg und bei Hüls-Südwest deutlich den morgendlichen und etwas schwächer den abendlichen Berufsverkehr. O<sub>3</sub> zeigt Maxima am Nachmittag, NO<sub>2</sub> verhält sich intermediär. Im Vergleich der vier Standmessungen erweist sich der Standort Hüls-Südwest in unmittelbarer Nähe der Venloer Straße als auch zu lokalen Emittenten als derjenige mit den höchsten Konzentrationen primärer Spurenstoffe.

Hinsichtlich der Grenzwerte der 22. BImSchV (2002) und der maximalen Immissionskonzentrationswerte (MIK-Werte) nach VDI 2310 (1974) überschreitet keiner der untersuchten Stoffe die Mittelungsintervalle

Abb. 8: BETX-Konzentrationen während der vier 24-h-Standmessungen (integrierende Stundenmittel) im Rahmen der Gesamtstädtischen Klimaanalyse Krefeld im Messzeitraum vom 01.11.2001 bis 31.10.2002.

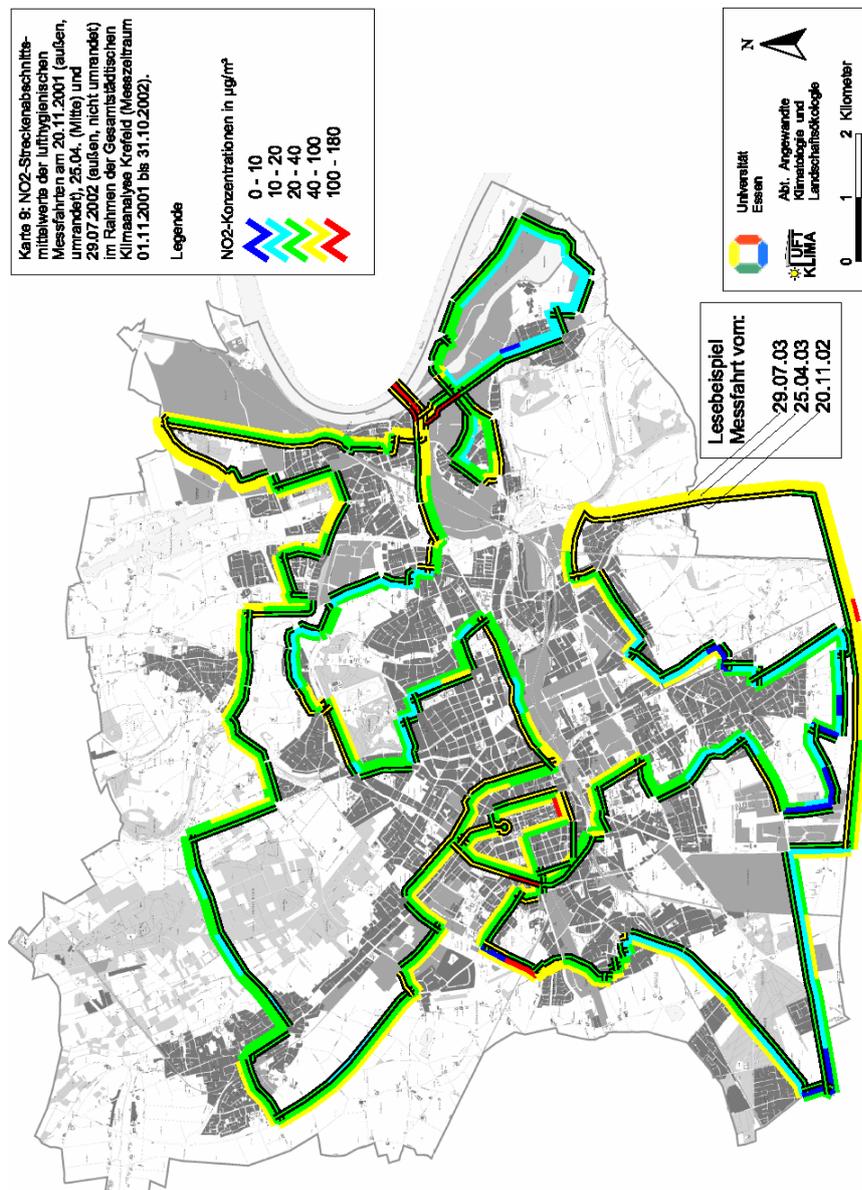


Quelle: Kuttler et al, Gesamtstädtische Klimaanalyse Krefeld, S. 64, 2003.

von einer Stunde oder weniger der vorgegebenen Werte. Bei Stickoxiden und Ozon werden jedoch für längere Mittelungsintervalle (8 h, 24 h, 1 a) die Grenzwerte angenähert oder überschritten.

Zusätzlich zu den NO<sub>2</sub>-Messungen an den Feststationen und den 24-h-Standmessungen lufthygienischer Parameter, wurden bei worst-case-Situationen drei lufthygienische Messfahrten (vergl. Abb. 9) mit hoher Auflösung entlang eines festgelegten, linienhaften Straßennetzes und an drei Tagen jeweils Punktmessungen der BETX-Konzentrationen (Profilmessfahrten) an ausgewählten Punkten entlang der Strecke der lufthygienischen Messfahrten durchgeführt (vergl. Abb. 8). Bei absolut betrachtet geringen Konzentrationswerten weist demnach die Innenstadt, und je nach Messfahrtermin auch weitere, kreuzungsreiche, stark befahrene Bereiche als auch die Düsseldorfer Straße, Spitzenwerte auf. Lange Außenortsabschnitte auf der A44 und der A57 zeigen hingegen geringere CO-Konzentrationen. Dagegen steigt im Reiseverkehr die Bildung von NO, so dass die Konzentrationen des primären Spurenstoffs in verkehrsbelasteten Bereichen ebenfalls erhöht sind und gerade auf Autobahnen und Kraftfahrtstrassenabschnitten hohe Werte aufweisen. Als sekundärer Spurenstoff weist das Verteilungsmuster von NO<sub>2</sub> eine weniger starke Bindung an Emissionsquellen auf, zeigt aber in verkehrsbelasteten Bereichen die höchsten Konzentrationen. Da der Anstieg

Abb. 9: NO<sub>2</sub>-Streckenabschnittsmittelwerte der lufthygienischen Messfahrten am 20.11.2001 (außen, umrandet), 25.04.2001 (Mitte) und 29.07.2001 (außen, nicht umrandet) im Rahmen der im Rahmen der Gesamtstädtischen Klimaanalyse Krefeld im Messzeitraum vom 01.11.2001 bis 31.10.2002.



der NO-Konzentration unmittelbar den Abbau von Ozon fördert, sind hohe Ozonkonzentrationen eher eine Erscheinung der nicht zu quellfernen Reinluftgebiete, so dass während den Messfahrten Werte, die diejenigen der LUQS-Station des Landesumweltamtes erreichen oder noch überschreiten, vor allem in verkehrsarmen Umland- sowie in geringerem Ausmaß in verkehrsberuhigten Wohnbereichen zu finden sind. Aus den BETX-Messungen ergeben sich vor allem im Tagesgang deutliche Unterschiede. So verzeichnet der Standort Fischeln aufgrund seiner Nähe zur A44 einem der Innenstadt ähnlichen BETX-Tagesgang mit deutlicher Abnahme nach dem morgendlichen Berufsverkehr. An den Standorten Hafen und Oppum treten dagegen um die Mittagszeit hohe Konzentrationen auf. Die übrigen Standorte verhalten sich intermediär.

#### 4.8 Bewertung der klimatischen und lufthygienischen Verhältnisse

##### Klimatische Situation

Für die klimatologische Bewertung wird auf der Grundlage einer dreistufigen Skala ein Relativvergleich des gesamten stationären Datenkollektivs vorgenommen. Die Differenzen zwischen den Maximum- und Minimumwerten der betrachteten Parameter werden in drei gleich große Bewertungsintervalle klassifiziert, die mit „geringe – mittlere – hohe Belastung“ eingestuft wurden (vergl. Tab. 5). In der anschließenden Bewertung werden die betrachteten Größen der Feststationen dieser Intervalle beurteilt und losgelöst von Zahlenwerten mit einer bewertenden Farbe versehen (vergl. Tab. 6). Zusätzlich geben die Messfahrten Hinweise auf die Übertragbarkeit der thermischen Bewertung der Stationen auf ganze Stadtteile oder Flächennutzungstypen unter Beschränkung auf Strahlungsnächte. Für eine diesbezügliche Bewertung können die Ergebnisse der Messfahrt vom 29./30.07.2002 und ihre Umsetzung in eine Isanomalienkarte als Grundlage herangezogen werden.

Die Ergebnisse der Bewertung thermischer, austauschrelevanter und human-biometeorologischer Verhältnisse im Krefelder Untersuchungsgebiet zeigt, dass die Umlandstationen Fischeln (K3) und Hüls-Südwest (K6) sowohl bezüglich der thermischen Verhältnisse des Sommerjahres als auch der austauschrelevanten und human- biometeorologischen Verhältnisse insgesamt begünstigt sind. Ebenso wie an den Feststationen

Tab. 5: Bewertungsgrenzen verschiedener klimatologischer Kennwerte basierend auf den gedrittelten Differenzen zwischen Maximum- und Minimumwerten der betrachteten klimatischen Kenngrößen.

Kriterium	Einheit	Intensität, Belastung					
		gering		mittel		hoch	
		von	bis	von	bis	von	bis
<b>Thermische Verhältnisse</b>							
Frosttage	[Anzahl]	34	40	41	47	48	54
Kalte Tage	[Anzahl]	13	14	15	16	17	19
Heiztage	[Anzahl]	242	249	250	257	258	266
Sommertage	[Anzahl]	25	27	28	30	31	34
Heiße Tage	[Anzahl]	7		8		9	10
Grillpartytage	[Anzahl]	18	24	25	31	32	38
Heiße Nächte	[Anzahl]	3	7	8	12	13	17
<b>Austauschverhältnisse</b>							
Jahresmittel der Windgeschwindigkeit	[m s <sup>-1</sup> ]	2,3	1,9	1,8	1,4	1,3	1,0
Mittel der Windgeschwindigkeit autochthoner Tage	[m s <sup>-1</sup> ]	1,4	1,2	1,1	0,9	0,8	0,6
Schwachwindhäufigkeit	[%]	29,2	45,8	45,9	62,6	62,7	79,4
Schwachwindepisoden mit Mindestdauer von 6h	[Anzahl]	150	167	168	185	186	203
Calmenhäufigkeit im Jahr	[%]	2,6	9,7	9,8	17,0	17,2	24,4
Calmenhäufigkeit an autochthonen Tagen	[%]	8,5	21,1	21,2	33,9	34,0	46,6
<b>Human-bioklimatische Verhältnisse</b>							
Rel. Häufigkeit von Tagstunden mit PMV > 0,5	[%]	37,4	43,1	43,2	49,0	49,1	54,8
Rel. Häufigkeit von Nachtstunden mit PMV > 0,5	[%]	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Episoden (Mindestdauer 6 h) mit PMV > 0,5	[Anzahl]	24	27	28	32	33	37
*Zeitraum: 1.6.2002 bis 31.8.2002							

Quelle: Kuttler et al, Gesamtstädtische Klimaanalyse Krefeld, S. 77, 2003.

Lindental (K4) und Stadtwald (K5) treten an den Umlandstationen im Winter jedoch verstärkt Tage unterhalb definierter Temperaturschwellen auf. Die durch Wohnbebauung geprägten Standorte sind jedoch durch einen deutlich eingeschränkten Luftaustausch und eine daraus resultierende mittlere bis hohe sommerliche human-biometeorologische Wärmebelastung gekennzeichnet. Das thermische Niveau der Standorte Innenstadt (K5) und Uerdingen (K2) führt infolgedessen zu einer je nach Nutzungssensibilität individuellen Wärmebelastung. Während der Standort Uerdingen als thermisch mittelmäßig belastet eingestuft werden kann, weist der Innenstadtstandort eine besonders benachteiligte Situation hinsichtlich der Austausch- und human-biometeorologischen Verhältnisse auf. Eine diesbezügliche Mittelstellung nimmt der Standort Hafen (K2) ein, da die Austauschverhältnisse ähnlich günstig wie die der Umlandstandorte sind.

Die hohe thermische Belastung des Innenstadtstandortes im Sommer (geringe Kältebelastung im Winter) ist auf das gesamte Innenstadtgebiet übertragbar und wird in Teilen der Innenstadt noch übertroffen. Die geringere Wärmebelastung des Standortes Uerdingen (K2) ist typisch für ein sekundäres Wärmeinselenzentrum, das aus dem, mit einer Mischung aus Gewerbe-, Industrie- und Wohnbauflächen, bebauten Teil des Rheinuferbereichs besteht. Eine weitere Übertragbarkeit dieser thermischen Situation auf andere Gewerbe-

**Tab. 6: Ergebnisse der Bewertung thermischer, austauschrelevanter und human-biometeorologischer Verhältnisse im Krefelder Untersuchungsgebiet bezogen auf den Zeitraum 01.11.2001 bis 31.10.2002.**

Bezeichnung	Stationsname							
	Uerdingen (K1)	Hafen (K2)	Fischeln (K3)	Lindental (K4)	Innenstadt (K5)	Hüls Südwest (K6)	Verberg (K7)	Stadtwald (K8)
<b>Thermische Verhältnisse</b>								
Frosttage [Anzahl]								
Kalte Tage [Anzahl]								
Heiztage [Anzahl]								
Sommertage [Anzahl]								
Heiße Tage [Anzahl]								
Grillpartytage [Anzahl]								
Heiße Nächte [Anzahl]								
<b>Austauschverhältnisse</b>								
Jahresmittel der Windgeschwindigkeit								
Mittlere Windgeschw. autochthoner Tage								
Schwachwindhäufigkeit [%]								
Calmenhäufigkeit im Jahr								
Calmenhäufigkeit autochthoner Tage								
<b>Human-biometeorologische Verhältnisse</b>								
Rel. Häufigkeit von Tagstunden mit PMV > 0,5 [%]								
Rel. Häufigkeit von Nachtstunden mit PMV > 0,5 [%]								
Episoden (Mindestdauer 6 h) mit PMV > 0,5 [%]								
* 1. Juni bis 31. August 2002								
Legende	geringe Intensität, Belastung			mittlere Intensität, Belastung			hohe Intensität, Belastung	

Quelle: Kuttler et al, Gesamtstädtische Klimaanalyse Krefeld, S. 78, 2003.

und Industriegebiete im Stadtgebiet ist nur bedingt möglich, da aufgrund ihrer unterschiedlichen Struktur und Lage ein thermisch inhomogenes Verhalten vorausgesetzt werden muss. Die thermische Situation der Wohngebietsstationen Lindental und Stadtwald lassen sich auf Wohngebiete mit Vororts-, Gartenstadt- oder Dorfcharakter übertragen, soweit diese nicht durch die räumliche Nähe zu stärker überwärmten Bereichen geprägt sind. Sie zeigen zugleich die Spannweite dieses Nutzungstyps von „mittelmäßig“ bis „kalt“, je nach Gebäude- und Grünflächendichte und Lage im Relief. Für einige Wohngebiete (z.B. Teile von Traar) sind demnach noch geringere Wärme- und höhere Kältebelastungen zu erwarten. Die Umlandstationen Fischeln (K3), Hüls-Südwest (K6) und Verberg (K7) erweisen sich nur für den mittleren und wärmeren Teil der Umlandstandorte als repräsentativ. In Muldenlage sind hier nachts geringere Temperaturen zu erwarten. Die thermische Mittelstellung des Hafenstandortes (K2) ist durch die Lage zwischen intensiv genutzten und unbebauten Rheinuferbereichen begründet.

### Lufthygienische Situation

Zur Bewertung der lufthygienischen Situation wurde ein Luftqualitätsindex für die einzelnen Streckenabschnitte der Messfahrten errechnet, in den die Messergebnisse der Spurenstoffe CO, NO und NO<sub>2</sub> einfließen. Der Luftqualitätsindex beruht auf dem Mittelwert der Streckenabschnittswerte der Messfahrten für jeden der drei Spurenstoffe. Er ist gleich 1, wenn die Konzentration eines Spurenstoffs das 90%-Perzentil aller Streckenabschnittsmittelwerte erreicht oder überschreitet, d. h. der Streckenabschnitt gehört zu den 10 % der Abschnitte mit den höchsten Konzentrationen dieses Spurenstoffs. Trifft dies für zwei Spurenstoffe zu, so beträgt der Index 2. Wird das 90%-Perzentil bei den 3 Spurenstoffen überschritten, erhält der Streckenabschnitt den höchsten Index 3. Abschnitte mit dem Index 0 sind bezüglich aller drei Stoffe unauffällig. Die Qualitätsindizes weisen die höchsten Konzentrationen dem Verkehrsknotenpunkt zwischen Uerdingen, Linn und Hafen, Streckenabschnitten innerhalb der Innenstadt sowie den Kraftfahrzeugstraßen- und Autobahnabschnitten zu (vergl. Klimafunktionskarte). Daneben treten aber auch einzelne Streckenabschnitte mit Luftqualitätsindizes > 0 in Wohngebietsbereichen zwischen Oppum und Fischeln, in Verberg und westlich der Innenstadt auf. Aufgrund seines antagonistischen Verhaltens gilt für Ozon die Feststellung, dass alle Gebiete mit geringen Konzentrationen der übrigen Spurenstoffe bei sommerlichen Strahlungswetterlagen für hohe Ozonkonzentrationen prädestiniert sind.

Eine Zusammenschau der Punktmessungen aus dem NO<sub>2</sub>-Passivsammler, den BETX-Messungen und den Standmessungen zeigt mit Ausnahme des Standortes Hüls-Südwest überwiegend geringe Konzentrationen im Umland und Höchstkonzentrationen in der Innenstadt und im Bereich Hafen/Uerdingen. Die hohen Konzentrationen entlang der Autobahn nehmen im Umland mit guten Durchmischungsvoraussetzungen beiderseits der Fahrbahn rasch ab. In weniger gut ventilierbaren Siedlungsbereichen hingegen kann die Nähe einer vielbefahrenen Straße die Luftqualität beeinträchtigen, wie einzelne Punkte und Abschnitte in Verberg und Oppum zeigen.

## **5. Klimafunktionsräume im Krefelder Stadtgebiet und Hinweise für die Stadtplanung**

Die planungsrelevanten Karten der synthetischen Klimafunktionskarte und der Planungshinweiskarte wurden für die Klimaanalyse in Anlehnung an die Empfehlungen der Richtlinie VDI 3787 Bl. 1 (1997) erstellt. Sie geben einen zusammenfassenden Überblick über die Untersuchungsergebnisse in generalisierter, flächenhaft interpretierter Form wieder. Sie ergänzen den Textteil, auf den insbesondere dann zugegriffen werden sollte, wenn Detailfragen der Stadtplanung zu klären sind. Beide Karten wurden im Maßstab 1:20.000 erstellt und sind Bestandteil der Klimaanalyse. Sie liegen in verkleinerter Form der Vorlage als Anlagen bei.

Die Erstellung der Karten beruht auf Flächeneinheiten, wohingegen die räumlichen Änderungen der Klimaparameter (z.B. Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit), aber auch die Spurenkonzentrationen, fließend und zeitlichen Schwankungen unterworfen sind. Daher wurden anstelle eines automatisierten Interpolationsverfahrens, primär die Klimafaktoren Flächennutzung und Relief als Kartengrundlage herangezogen. Die Abgrenzung der Flächen klimatischer und lufthygienischer Charakteristika sowie entsprechende Planungsempfehlungen, erfolgte unter Rückgriff auf Kartenwerke (Digitale Stadtkarte 1:10.000, transformiert in den Bewertungsmaßstab 1:20.000, TK 25 für das Stadtgebiet Krefeld, Stadtatlas 1:10.000 (1996) mit Grund- und Luftbildkartensammlung auf Basis der DGK 5) mit Berücksichtigung der Ergebnisse der

mobilen und stationären Untersuchungen und unter Zuhilfenahme von Plausibilitäts- und Analogieschlüssen. Die so ermittelten Grenzen sind nicht als flächenscharf anzusehen, sondern markieren Übergangsbereiche und beziehen sich auf den Bewertungsmaßstab 1:20.000. Alle wertenden Darstellungen basieren auf einem Relativvergleich innerhalb des Krefelder Untersuchungsgebietes.

### 5.1 Synthetische Klimafunktionskarte

Die Synthetische Klimafunktionskarte gibt die zweidimensionale Darstellung und Differenzierung von Klimatopen und die klimatischen Funktionen von Teilen des Stadtgebietes wieder. Die lufthygienische Situation ist anhand von Liniensignaturen dargestellt, deren Klassifizierung auf dem ermittelten Luftqualitätsindex der Messfahrten entlang der betrachteten Streckenabschnitte basiert.

Klimatope sind räumliche Einheiten, in denen die mikroklimatisch wichtigsten Faktoren relativ homogen und die Auswirkungen wenig unterschiedlich sind (Definition der VDI 3787 Bl. 1 (1998)). In erster Linie wirken hier die Einflussfaktoren Relief, Flächennutzung, Oberflächenstruktur, Untergrund sowie Vegetationsanteil und –zusammensetzung während austauscharmer Strahlungswetterlagen auf das Mikroklima eines Standortes ein. In derartigen Fällen sind nicht die Eigenschaften der herangeführten Luftmasse, sondern die Energieumsätze am Boden für das Kleinklima bestimmend. Innerhalb des Untersuchungsgebietes wurden acht Klimatoptypen nach den speziellen topographischen Gegebenheiten des Krefelder Stadtgebietes differenziert. Im Vergleich zu anderen Städten zeichnet sich das Krefelder Stadtklima in weiten Teilen durch den Gartenstadtcharakter aus, der bei der Klimatoptypendifferenzierung Berücksichtigung findet. Tab. 7 gibt die Klimatoptypen innerhalb des Stadtgebietes einschließlich einer Kurzbeschreibung wieder. Verschiedene Flächen weisen über die Klimatopeigenschaften hinaus Klimafunktionen auf, die vor Ort einen besonderen Einfluss auf Klima und Luftqualität haben können. Ferner modifizieren sie im Falle einer Fernwirkung die klimatischen und lufthygienischen Eigenschaften ihrer entsprechenden Wirkgebiete.

Die Darstellung des Luftqualitätsindex in der Synthetischen Klimafunktionskarte gibt die während der mobilen Messungen erfassten Spurenstoffkonzentrationen für CO, NO und NO<sub>2</sub> in einer vierstufigen Farbskala kategorisiert wieder. Nicht gemessene Streckenabschnitte, die aber aufgrund eines erhöhten Verkehrsaufkommens und kompakter Randstrukturen auffällige Spurenstoffkonzentrationen erwarten lassen, sind ebenfalls gekennzeichnet.

### 5.2 Planungshinweiskarte

Auf der Grundlage der Untersuchungsergebnisse der Klimaanalyse und einer darauf gründenden synthetischen Klimafunktionskarte wurde die Planungshinweiskarte im Maßstab 1:20.000 für die Stadt Krefeld erstellt. Sie unterscheidet klimatische Ungunst- und Ausgleichsräume sowie Übergangsbereiche, die flächig abgegrenzt werden. Sie enthält klimarelevante Planungshinweise und Punktsignaturen für spezielle Funktionsräume und die für solche Bereiche ausgesprochenen Planungsempfehlungen. Lasträume wurden aufgrund des vorgefundenen Gartenstadtcharakters für Krefeld nicht ausgewiesen. Die Definitionen der stadtklimatischen Planungsräume sind in Tab. 8 wiedergegeben.

Im Krefelder Stadtgebiet umfassen die stadtklimatischen bzw. lufthygienischen Ungunsträume Bereiche der Innenstadt und Uerdingens sowie die größeren Gewerbegebiete. Die Klimaanalyse enthält neben weiteren Aussagen hierzu die wesentliche Empfehlung, dass zur Verbesserung der stadtklimatischen Situation der bestehende Grün- und Freiflächenanteil in diesen Stadtbereichen erhöht und eine weitere Verdichtung durch Bebauung vermieden werden sollte. Es wird empfohlen, dass Verkehrsaufkommen innerhalb der Ungunsträume nicht weiter zunehmen zu lassen und entlang verkehrsreicher Straßen mit dichten Randstrukturen die den Luftaustausch behindernden Bebauungsriegel aufzulockern. In Industrie- und Gewerbegebieten, insbesondere im Osten der Stadt, empfiehlt die Klimaanalyse emissionsarme Betriebe anzusiedeln.

Als Übergangsbereiche mit einer Mischung aus positiven und negativen klimatisch-lufthygienischen Eigenschaften sind weiträumig die Siedlungsbereiche um die Krefelder Innenstadt anzusehen, in denen zwar

Tab. 7: Klimatoptypen im Stadtgebiet Krefeld – Legende der synthetischen Klimafunktionskarte

<b>Klimatope</b>	
Stadtkern-Klimatop	Stark urban geprägt, hoher Anteil versiegelter Flächen; sehr geringer Vegetationsanteil; deutliche nächtliche Erwärmung; eingeschränkte Austauschverhältnisse, verminderte Luftqualität durch Kfz.-Verkehr, vor allem in Straßen mit geschlossenen Randstrukturen.
Gewerbe-/Industrie-Klimatop	Hoher Anteil versiegelter Flächen mit wenig Vegetation; produkt- und prozess-spezifische Emissionen; z.T. hoher Anteil an Lkw-Verkehr; z.T. deutliche Überwärmung der benachbarten Umgebung.
Stadt-Klimatop	Überwiegend geschlossener Siedlungsbereich mit teilweise aufgelockerter Bebauung; Blockbebauung mit großen Innenhöfen sowie einzelnen Hochhäusern; höherer Grün- und Freiflächenanteil als beim Stadtkern-Klimatop; mäßige nächtliche Überwärmung; Austauschverhältnisse teilweise eingeschränkt; verminderte Luftqualität i.d.R. nur an übergeordneten Straßen.
Gartenstadt-/Dorf-Klimatop	Übergangsbereich mit mehr oder weniger geschlossener Bebauung zum städtisch unbeeinflussten Umland; hoher Frei- und Grünflächenanteil; ausgeglichenes nächtliches Lufttemperaturniveau; Austauschverhältnisse gegenüber dem Umland durch Bebauungs- und Vegetationsstruktur nachteilig beeinflusst; verminderte Luftqualität nur entlang von Hauptverkehrsstraßen.
Grünanlagen-Klimatop	Innerstädtisches Klimatop; je nach Ausdehnung und Vegetationsstruktur Übergang zum Freiland- bzw. Wald-Klimatop; nächtliches Lufttemperaturniveau gegenüber der bebauten Umgebung gesenkt; wegen Flächengröße und umgebenden Randstrukturen meist keine nennenswerte Fernwirkung auf die umliegende Bebauung; Immissionsbelastung bei ungünstigen Austauschverhältnissen aus Einträgen Kfz.-bürtiger Spurenstoffe oder benachbarten Flächennutzungen möglich.
Wald-Klimatop	Wald- und Forstgebiete mit eigenem Bestandsklima; gedämpfter Tagesgang von Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit; Kaltluftproduktionsflächen im Niveau des Kronendaches; Filterfunktion für atmosphärische Spurenstoffe; als Immissionsschutz günstig, als Luftleitbahn ungeeignet.
Freiland-Klimatop	Landwirtschaftliches geprägtes Klimatop; überwiegend unversiegelte Oberflächen; gute Austauschverhältnisse durch geringe Rauigkeit; niedriges Lufttemperaturniveau mit Kaltluftproduktion; verminderte Luftqualität nur entlang übergeordneter Straßen; aufgrund seiner Größe ist das Klimatop insgesamt für das Stadtklima von Krefeld prägend.
Gewässer-Klimatop	Wasserkörper mit thermisch ausgleichender Wirkung; klimatischer Einfluss beschränkt sich zumeist auf die Wasseroberfläche selbst und auf die angrenzenden Uferbereiche; wegen der sehr geringen aerodynamischen Rauigkeit als Luftleitbahn geeignet; Funktion einer Spurenstoffs Senke.
<b>Klimatische Funktionen</b>	
Kaltluftproduktionsgebiet	Weitgehend unversiegelte Oberflächen ermöglichen nachts hohe negative Strahlungsbilanzen und führen zur Bildung bodennaher Kalt- und Frischluft, die über geeignete Luftleitbahnen zur Belüftung / Abkühlung überbauter Gebiete im Krefelder Stadtgebiet beitragen. Es werden zwei Typen unterschieden. Typ 1: Windanfälliger Typ, Exponierte Flächen mit starker Durchmischung und daher mäßiger Abkühlung der bodennahen Atmosphäre. Typ 2: weniger windanfälliger Typ, Tiefergelegene und parkartig gegliederte Flächen mit geringer Durchmischung und daher starker Abkühlung der bodennahen Atmosphäre.
Kaltluftsammlgebiet	In Geländesenken kann vor Ort produzierte und in den umgebenden Gebieten produzierte Kaltluft zusammenfließen und stagnieren.
Ventilationsbahn	Ein breiter Querschnitt und geringe aerodynamische Rauigkeit ermöglichen Be- und Entlüftung auch während austauscharmer Wetterlagen überwiegend in Abhängigkeit von der übergeordneten Windrichtung.
<b>Lufthygienische Funktionen</b>	
Luftqualitätsindex	Dargestellt ist die relative Immissionssituation entlang von Straßen auf Basis der Anzahl der Spurenstoffe, deren Streckenabschnittsmittelwert das 90-Prozent-Perzentil der Messfahrten überschreitet.
Streckenabschnitt Kategorie 0	Keiner der drei Spurenstoffe (CO, NO, NO <sub>2</sub> ) übersteigt den 90%-Wert.
Streckenabschnitt Kategorie 1	Einer der drei Spurenstoffe (CO, NO, NO <sub>2</sub> ) übersteigt den 90%-Wert.
Streckenabschnitt Kategorie 2	Zwei der drei Spurenstoffe (CO, NO, NO <sub>2</sub> ) übersteigen den 90%-Wert.
Streckenabschnitt Kategorie 3	Alle drei Spurenstoffe (CO, NO, NO <sub>2</sub> ) übersteigen den 90%-Wert. Weitere angenommene kritische Strecken außerhalb der Messfahrten.
<b>Industrieller Emittenten</b>	Größere Konzentration industrieller Emittenten.
<b>Filterfunktion großer Waldgebiete</b>	Waldgebiete stellen als Spurenstoffsinken Frischluftentstehungsgebiete dar.

Quelle: Kuttler et al, Gesamtstädtische Klimaanalyse Krefeld, Klimafunktionskarte, 2003.

eine aufgelockerte Bauweise vorherrscht, es in Abhängigkeit von Baukörperanordnung und Vegetationsstruktur jedoch zu eingeschränkten Belüftungsverhältnissen kommen kann. Die Klimaanalyse em-

pfiehlt für diese Räume, dass im wesentlichen zur Wahrung des ausgeglichenen Stadtklimas mit nur geringer Wärmebelastung, keine weitere Verdichtung durch Bebauung erfolgen und eine Zunahme der Versiegelung vermieden werden sollte. Hingegen sollten die Grünflächen in einem zusammenhängenden Netz erweitert werden.

**Tab. 8: Planungsempfehlungen für das Stadtgebiet Krefeld – Legende der Planungshinweiskarte**

<b>Flächenstatus</b>	
Ungunsträume	Verdichtete Bebauung oder hoher Verdichtungsgrad; eingeschränkte Austauschverhältnisse; Emissionen aus erhöhtem Verkehrsaufkommen, Gewerbe oder Hausbrad, geringer Grünflächenanteil. <b>Empfehlung:</b> Steigerung des Grünflächenanteils und Förderung der Dach- und Fassadenbegrünung; Vernetzung von Grünflächen; grundsätzlich keine Zunahme der Bebauung und des Kfz-Verkehrs; Förderung von Entsiegelung durch Begrünung; Erweiterung emittierender Nutzungen nur unter Vermeidung einer Beeinträchtigung benachbarter Wohngebiete zulassen.
Übergangsräume	Siedlungsbereiche und kleine Gewerbegebiete mit stellenweiser verdichteter Bebauung und höherem Verkehrsaufkommen bei gleichzeitig allgemein hohem Grün- und Freiflächenanteil. <b>Empfehlung:</b> Bei weiteren Bebauungsmaßnahmen auf Vernetzungsfunktion der Grünflächen achten; vorhandene Grünflächen erhalten und erweitern; wo möglich, Flächenversiegelung vornehmen.
	<b>Ausgleichsräume:</b> Weitgehend unversiegelte Flächen, die als Bereiche ohne städtische Überwärmung und wegen ihrer Emissionsarmut ausgleichend auf das Stadtklima wirken. Kaltluft- und Frischluftproduktionsgebiete können über Luftleitbahnen positiv auf Ungunst- und Übergangsbereiche einwirken.
Allgemeiner Ausgleichsraum	Freiflächen des Umlandes mit Frischluft- und Kaltluftbildung von mittlerer bis geringer Relevanz für die Ungunsträume aufgrund ihrer Ausdehnung oder Lage zum Stadtgebiet. <b>Empfehlung:</b> Erhaltung dieser Flächenareale günstig, maßvolle Erweiterung von Bauflächen möglich.
Lokale Ausgleichsfunktion	Innerstädtische Grünflächen wirken auf kleinem Raum thermisch und lufthygienisch ausgleichend. <b>Empfehlung:</b> Durch Vernetzung von Grünflächen ausgleichende Wirkung fördern; dichte Randstrukturen bei Neuanlage von Grünanlagen vermeiden; bestehende Einfassungen auflockern.
Gewässer	Gewässer wirken thermisch ausgleichend und sind geeignete Luftleitbahnen sowie Spurenstoffsinken. <b>Empfehlung:</b> Weitere abriegelnde Randbebauung vermeiden, bestehende Strömungshindernisse beseitigen oder auflockern.
Ventilationsfunktion	Rauigkeits- und querschnittsbedingt zur Belüftung urbaner Bereiche geeignete Flächen. Austauschfunktion erhalten und fördern bzw. durch die Freihaltung und Verbreiterung von Luftleitbahnen schaffen (mit möglichst breitem Querschnitt und geringer Rauigkeit).
Wald-/Forstgebiete	Größere zusammenhängende Wald- und Forstareale mit Filterfunktion. <b>Empfehlung:</b> Geschlossene Bestände erhalten.
Walderweiterung möglich	Flächen in Nachbarschaft zu zusammenhängenden Wald- und Forstarealen. <b>Empfehlung:</b> Erweiterung bestehender Waldflächen zu großräumigen Frischluftproduktionsgebieten möglich.
<b>Zusätzliche Planungsempfehlungen</b>	
Immissionsschutz einrichten	Soweit noch nicht vorhanden, Immissionsschutz einrichten (Immissionsschutzpflanzungen bzw. bei geringem Platzangebot Immissionsschutzwälle oder Wände) an 1.) Straßen und 2.) zwischen eng benachbarten Wohn- und Industriegebieten, soweit diese sich durch Kfz-bürtige oder prozessbedingte Spurenstoffemissionen auszeichnen.
keine Bebauung oder Emittenten	In Kaltluftsammlergebieten sind eine Ausweitung der Wohnbebauung sowie Spurenstoffemissionen zu vermeiden.
Maßvolle Verdichtung möglich	In locker bebauten Wohngebieten mit nur geringer nächtlicher Wohnbebauung sowie Spurenstoffemissionen zu vermeiden.
Strömungshindernis	In Ventilationsbahnen gelegene größere Gebäudegruppen oder Waldgebiete können den Austausch behindern. Eine weitere Vergrößerung oder Verdichtung dieser Flächen ist daher zu vermeiden.
Verkehrsvermeidung	In der Innenstadt treffen ein hohes Aufkommen an Kfz-Verkehr und baulich bedingt ungünstige Austauschverhältnisse zusammen. Insbesondere auf engen Straßen mit dichter Randbebauung sind weitere Emissionen zu vermeiden.
Emissionen vermeiden	Bei Neueinrichtung von Industrieanlagen im Osten der Stadt ist zu beachten, dass diese bei austausch- armen Wetterlagen häufig in Luv der Innenstadt liegen. Spurenstoffemissionen insbesondere aus geringer Quellhöhe sind daher nach Möglichkeit zu vermeiden.
	<b>Hinweise zu Plangebieten</b> Verweise auf großmaßstäbigere Empfehlungen zu vier Plangebieten im Textteil der Gesamtstädtischen Klimaanalyse Krefeld
[Symbol]	Eingriff aus klimatisch-lufthygienischer Sicht weitgehend unbedenklich
[Symbol]	Eingriff aus klimatisch-lufthygienischer Sicht problematisch

Quelle: Kuttler et al, Gesamtstädtische Klimaanalyse Krefeld, Legende zur Planungshinweiskarte, 2003.

Die stadtklimatisch-lufthygienisch günstigen Potenziale der **Ausgleichsräume** im Stadtgebiet sollten prinzipiell erhalten bleiben. Die Klimaanalyse empfiehlt hier im wesentlichen, Bebauungsmaßnahmen mög-

lichst zu vermeiden. Unvermeidbare Vorhaben im Bereich dieser Ausgleichsräume sollten höchstens mit minimaler Versiegelung einhergehen und Straßenerweiterungen sowie eine Zunahme des Verkehrsaufkommens nicht zugelassen werden. Der Grund für diese Empfehlungen ist die stadtklimatisch bedeutsame Situation, dass insbesondere die Gebiete südöstlich des Stadtkörpers während austauscharmer Wetterlagen sowohl klimatisch als auch lufthygienisch günstig auf den Stadtkörper einwirken. Ähnliche Aussagen können anhand der Planungshinweiskarte und der Klimafunktionskarte für die Gebiete zwischen Verberg und Bockum, nordnordwestlich von Uerdingen, zwischen dem Hülser Bruch und Inrath, westlich und östlich von Fischeln und nordwestlich von Schicksbaum abgeleitet werden.

## **6. Klimatische Verhältnisse und Planungsempfehlungen in den vier Plangebieten (Sonderuntersuchungsgebiete) und den übrigen Plangebieten für Wohn-, Gewerbe-, Industrie- und Straßenvorhaben**

### Plangebiet Verberg

Für den südöstlich von Verberg gelegenen Freiraum ist eine Walderweiterung und möglicherweise eine Erweiterung der Bebauung an der Zwingenbergstraße geplant. Bereits im Klimagutachten von Edmonds wurde darauf hingewiesen, dass das Gebiet Teil einer in Nord-Süd-Richtung verlaufenden Ventilationsbahn ist, über die Umlandluft in die bebauten Gebiete des Stadtteils Bockum geführt werden kann. Durch Tracerversuche konnte die vermutete Ventilationsbahn in der vorliegenden Klimaanalyse nachgewiesen werden. Ihr Wirkungsgebiet erstreckt sich im Süden bis zur Berliner Straße und im Osten bis nach Uerdingen. Neben weiteren Detailaussagen kommen die Gutachter in der Klimaanalyse zu der Feststellung, dass ihr Schutz aus klimatisch-lufthygienischer Sicht zur Erhaltung des Ist-Zustandes in jedem Fall begrüßt wird. Die Ventilationsbahn sollte also in jedem Fall erhalten bleiben. Eine dichte Bebauung oder Bewaldung, bei geschlossenem hohem Waldbestand, kann den bodennahen Lufttransport durchaus empfindlich stören und eine Verschlechterung der Belüftungssituation nach sich ziehen. Daher sollte von einer Bebauung über eine Einzelhausbebauung (mit großen Abständen entlang der Zwingenbergstraße oder einzelne Häuser-zeilen in Nord-Süd-Ausrichtung im Bereich der Werner-Voß-Straße) hinaus, Abstand genommen werden.

### Plangebiet Fischeln-Ost

Die Klimaanalyse geht für das Plangebiet Fischeln-Ost von einer länglichen, in NNW-SSE-Richtung verlaufenden Wohnbebauung entlang der Rheinbahnlinie aus. Die geplante Wohnbebauung ist nicht im FNP-Entwurf enthalten. Dagegen sieht der FNP-Entwurf die Realisierung einer Umgehungsstraße östlich von Fischeln vor. Gemäß dem Klimagutachten von Edmonds (1981) nimmt östlich von Fischeln eine bis in das westliche Stadtzentrum Krefelds reichende Ventilationsbahn ihren Ausgang. Vor dem Hintergrund der durchgeführten Tracerkampagne lässt gemäß der Klimaanalyse per Analogieschluss vermuten, dass bei Schwachwindlagen mit südlicher Windkomponente die südlich von Fischeln gebildete Kaltluft durch das Tal nach Nord-Nordost abfließt und Anschluss an die erwähnte Ventilationsbahn findet. Aufgrund der geländebedingt geringen klimatischen Relevanz des Plangebietes für das westlich gelegene Fischeln und aufgrund seiner länglichen Form in Randlage einer der vermuteten Ventilationsbahn ist die Errichtung der geplanten Bebauung aus klimatisch-lufthygienischer Sicht prinzipiell möglich. Jedoch ist zu empfehlen, das kleine Tal des „Fischelner Dorfgrabens“ von Bebauung und Emittenten freizuhalten und z. B. als Grünfläche zu gestalten. Um das Einzugsgebiet der vermuteten Ventilationsbahn nicht unnötig zu verkleinern, sollte die Bebauung idealerweise nur westlich des „Fischelner Dorfgrabens“ realisiert werden.

### Plangebiet Fischeln-West

Die Änderung des Flächennutzungsplans sieht für diesen Teil des Krefelder Stadtgebietes Erweiterungen durch Wohnbebauung am westlichen und südlichen Ortsrand von Fischeln vor. Darüber hinaus ist außerdem die Ausweitung der Gewerbe- und Industriegebiete im Südwesten von Fischeln unter Einhaltung eines Freiflächenstreifens zwischen Gewerbe- und Wohnnutzung sowie eine Umwidmung der nördlich gelegenen Landwirtschaftsflächen in Grünareale geplant. Die Tracerausbreitungskampagne zeigt, dass in geringem Umfang ein bodennaher Kaltluftfluss nach Norden auch entgegen der übergeordneten Luftströmung möglich ist und neben einem zusätzlichen Geländeeinfluss auch der Temperaturgradient zwischen der städtischen Wärmeinsel und dem Umland einen nördlich gerichteten Flurwind induzieren könnte. Neben detaillierten Aussagen zur Siedlungsstruktur des Planungsgebietes befürworten hier die Gutachter in der Klimaanalyse die Erweiterung des Wohngebietes in seinem östlichen Teil und die Errichtung der Gewerbe-

flächen im Süden und Westen. Aufgrund der Einschränkung hinsichtlich der Kaltluftverhältnisse, die sich bei dem jetzigen Planungsstand ergeben, werden planerische Einschränkungen hinsichtlich der Siedlungsstruktur, der Lage und der Größe der geplanten Gewerbe-, Wohn- und Freiflächennutzung genannt. Dies betrifft auch das Einzugsgebiet der Ventilationsbahn östlich von Fischeln, da in diesem Fall die Ansiedlung von emissionsstärkeren Betrieben im Süden von Fischeln zu einer Anreicherung der in Nord-Nordost-Richtung abfließenden Kaltluft in bewohnte Gebiete führt.

#### Plangebiet Hüls-Südwest

Hinsichtlich der Wirkung eines Wohnsiedlungsgebietes südwestlich von Hüls kommt die Klimaanalyse zu dem Ergebnis, dass bei Anströmung aus westlichen und Süd-süd-westlichen Richtungen eine merkliche Erwärmung der überströmten Luft und eine Verringerung der Eindringtiefe in die Bebauung von Hüls und Inrath zu erwarten ist. Allerdings ist aufgrund des Windgeschwindigkeitsniveaus über Teilen von Hüls hoch und die Erwärmung von Hüls in sommerlichen Strahlungsnächten sehr schwach. Daher scheint das Planungsgebiet gemäß der Klimaanalyse besser als die meisten anderen Randlagen im Krefelder Stadtgebiet zur Aufnahme eines Wohngebietes geeignet zu sein. Dies ließe sich durch die Bebauungsart unterstützen, die etwa dem Klimatotyp „Dorf/ Gartenstadt“ entsprechen sollte.

In Ergänzung zu den vier Sonderuntersuchungsgebieten wurden weitere Stadteile und Nutzungseinheiten im Rahmen der Klimaanalyse hinsichtlich ihrer klimatischen Bedeutung, Funktionsweise und Planungsrelevanz analysiert. Die Analyse betrifft das Wohngebiet Schicksbaum, die regelmäßige und rechtwinklige Stadt- und Straßenstruktur, die Grün- und Waldflächen, Naherholungs- und Landschaftsschutzgebiete im Norden, Westen und Südosten des Stadtgebietes sowie die Grünzüge im Bereich Rott-Engerstraße, Willhelmshof-Stadtwald und die Friedhofsanlagen südwestlich des Krefelder Zentrums. Hierzu werden aus detaillierten Überlegungen heraus durch die Gutachter Empfehlungen ausgesprochen, mit dem Ziel die bestehenden Grünflächen zu erhalten, da sie für das Krefelder Stadtgebiet eine nicht zu unterschätzende, z.T. erhebliche klimatisch-lufthygienische Bedeutung als Filterflächen sowie Frisch- und Kaltluftentstehungsgebiete besitzen. Ihre Relevanz als Luftleitbahnen für die Belüftung hängt im Einzelnen von der Relieflage und Windrichtung ab. Die regelmäßige, rechtwinklige Stadt- und Straßenstruktur im Krefelder Zentrum wirkt sich auf die lufthygienische Situation grundsätzlich negativ aus, da sich für potenzielle Ventilationsströmungen die Möglichkeit vermindert, der übergeordneten Windrichtung oder der Geländeform zu folgen. Allerdings erhöht sich deren Durchgängigkeit, wenn Straßen keine abrupte Richtungsänderungen oder blinde Enden aufweisen. Von Nachteil ist wiederum, dass alle potenziellen Ventilationsbahnen Straßen sind und linienhaften, emissionsquellenfreie Grünzüge in der Innenstadt fehlen. Ungünstige klimatisch-lufthygienische Verhältnisse sind dort zu erwarten, wo stark befahrene Straßen und dichte Bebauung in einheitlicher Höhe bei engeren dazwischen liegenden Straßen zusammentreffen. Das Umleiten des Verkehrs um die engeren Straßen herum wird daher empfohlen soweit dies noch nicht realisiert ist. Die Gutachter weisen jedoch darauf hin, dass dieses Ziel, dass im Verkehrsentwicklungsplan - VEP (1991) festgelegt worden sei, innerhalb des Zentrums der Stadt Krefeld bereits realisiert sei und die Verkehrsbeschränkung innerhalb der „Vier Wälle“ zu begrüßen ist.

### **7. Voraussichtliche Auswirkungen der klimatischen Funktionsräume auf die beabsichtigte Stadtplanung des Flächennutzungsplans der Stadt Krefeld**

Wie in Kap. 2 bereits darauf hingewiesen wurde, besteht durch die gesetzliche Verankerung im Baugesetzbuch und im Gesetz zur Umweltverträglichkeitsprüfung die Verpflichtung der Berücksichtigung des Klima innerhalb der Stadtplanung. Zusätzlich erfordert die künftige Umsetzung der Plan-UVP gemäß der EU-Richtlinie [2001/42/EG] in nationales Recht die Prüfung von vorbereitenden Bauleitplänen hinsichtlich der voraussichtlichen klimatischen Auswirkungen geplanter Nutzungen und Nutzungsänderungen. Durch die bestehende Gesetzgebung besteht also nicht nur die Verpflichtung der städtischen Planung nachteilige stadtklimatische Auswirkungen bei Vorhaben aller Art zu vermeiden, sondern auch die stadtklimatische Wirksamkeit von Vorhaben bereits auf der Ebene der vorbereitenden Bauleitplanung zu prüfen und abzuwägen.

Die vorliegende Klimaanalyse stellt eine hervorragende Grundlage dar, bei künftigen Planungen die stadtklimatischen Auswirkungen insgesamt solide einzuschätzen und die Planung von Lage und Struktur der jeweiligen Einzelvorhaben, B-Pläne und die Änderungen des Flächennutzungsplans stadtklimatisch zu be-

urteilen. Gemäß der Klimaaanalyse für die Stadt Krefeld stellen jedoch die Planungsempfehlungen auf dieser Basis eines stadtklimatischen Ist-Zustandes stets Wahrscheinlichkeitsaussagen dar (S. 93 der Klimaaanalyse). Auf dieser Grundlage ist bei Planungsentscheidungen stets die sicherere Lösung zu favorisieren. In welchem Umfang die beschriebenen klimatischen Einschränkungen planerisch wirksam werden, könne nach Meinung der Gutachter letztlich nur eine Modellierung der Strömungsverhältnisse für den Planzustand zeigen. Zeigt sich also bei der Beurteilung von Einzelvorhaben und B-Plänen, dass die Aussagen und Planungshinweise zur Beurteilung der klimatischen Auswirkungen nicht ausreichend sind, sie gleichzeitig aber eine erhebliche Bedeutung in der Abwägung erreicht haben, so muss gegebenenfalls auf die Modellierung des Planungsvorhabens zur Prognose der klimatischen Wirkungen zurückgegriffen werden, um hierzu zweifelsfreie Aussagen zu erreichen.

Auf der Ebene der Neuaufstellung des FNP werden die klimatischen Auswirkungen der geplanten Änderungen und der Ausweisung von Wohn-, Gewerbe- und Industrieflächen derzeit weiter geprüft. Die Prüfung findet im Rahmen der ökologischen Bewertung des Flächennutzungsplans statt. Hierzu werden die vorliegenden Ergebnisse der gesamtstädtischen Klimaaanalyse einschließlich der Aussagen zu den Sonderuntersuchungsgebieten gemeinsam mit den weiteren physisch-geographischen Faktoren bzw. Schutzgütern, zu denen Aussagen vorliegen oder im Rahmen von ergänzender Gutachten erarbeitet werden, in eine Bewertungsmatrix eingearbeitet. Die ökologische Bewertung soll der Stadt Krefeld die Abwägung der Umweltbelange nach der geschilderten Gesetzgebung und für die Neuaufstellung des FNP Krefeld erlauben.

## **8. Hinweise zur Luftreinhalteplanung**

Hinsichtlich der gesetzlich vorgeschriebenen Luftreinhalteplanung gemäß der EU-Richtlinie sowie auf der Grundlage des § 47 BImSchG und der 22. BImSchV, weist die Klimaaanalyse der Stadt Krefeld aufgrund der lufthygienischen Messungen daraufhin, dass die bis 2005 bzw. stufenweise bis 2010 einzuhaltenden Grenzwerte der 22. BImSchV bei längeren Mittelungsintervallen im Falle der Stickoxide erreicht oder überschritten werden. Gleiches gilt für Kohlenmonoxid. Der Jahresgrenzwert für Benzol wurde bei den Messungen mehrfach überschritten. Die Ergebnisse machen bereits deutlich, dass zukünftig zumindest örtliche Überschreitungen der künftig einzuhaltenden Grenz- und Schwellenwerte dieser Stoffe zu registrieren sind oder zumindest die Gefahr der Überschreitung vorhanden ist. Da durch die Gesetzgebung für die Kommunen die Verpflichtung besteht, bereits der Gefahr von Überschreitungen der Grenz- und Schwellenwerte entgegenzuwirken und bestehende Überschreitungen von Luftschadstoffkonzentrationen stufenweise zu vermeiden, kann auch aufgrund der Aussagen der gesamtstädtischen Klimaaanalyse ein Handlungsbedarf für die Aufstellung einer Luftreinhalteplanung bezogen auf das Stadtgebiet Krefeld festgestellt werden.

Art und Umfang einer Luftreinhalteplanung müssen einschließlich der aufzustellenden Maßnahmen- und Aktionspläne detailliert bestimmt werden. Hierbei gilt es jedoch zu berücksichtigen, dass es bei den im Rahmen der Klimaaanalyse unter stadt- und bioklimatologischen Aspekten durchgeführten Messungen um punkthafte und daher räumlich-zeitlich äußerst begrenzte Messungen handelt. Sie lassen zwar den Schluss eines begrenzten lokalen Zusammenhangs zu den infrage kommenden Emissionsquellen (Verkehr, Industriegebiet im Hafen, Stadt- und Verkehrsräume der Uerdingens und der Innenstadt) zu. Für eine schlüssige Luftreinhalteplanung bedarf es jedoch einer detaillierten räumlich-zeitlichen wie qualitativen Bestimmung der lokalen und regionalen Emissionsquellen, so dass eine erfolgreiche, auf kausalen, lokalen wie überregionalen Ursachen beruhende Planung erfolgen kann.

## **9. Literaturverzeichnis**

Die Aussagen beziehen sich direkt auf die hier aufgeführten Quellen, so dass dieser Quellennachweis lediglich einen Ausschnitt der in der Klimaaanalyse der Stadt Krefeld verzeichneten Literatur darstellt, bzw. einzelne Titel als Ergänzung zu verstehen sind. Weitere Literaturinformationen sind in der Klimaaanalyse der Stadt Krefeld verzeichnet.

*BauGB* (2002): Baugesetzbuch in der Fassung vom 27.08.1997, zuletzt geändert am 23.07.2002.

- Edmonds, H.* (1981): Klimatisch-lufthygienischer Fachbeitrag zum Grünordnungsplan der Stadt Krefeld. Herausgegeben durch den Oberstadtdirektor der Stadt Krefeld. Krefeld.
- Gerstengarbe, F.-W. u. P.C. Werner* (1999): Katalog der Großwetterlagen Europas (1981 – 1998) nach Paul Hess und Helmuth Brezowsky. – 5. Auflage. Hrsg.: Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung. Potsdam.
- Hupfer, P.* (1998): Klima und Klimasystem. In: Lozan, J. L., Graßl, H. u. P. Hupfer (Hrsg.): Warnsignal Klima. Hamburg.
- Jendritzky, G.* (1993): Das Bioklima als Gesundheitsfaktor. In: GR 45, H.2, S. 107-114.
- Kuttler, W.* (1993): Planungsorientierte Stadtklimatologie. Aufgaben, Methoden und Fallbeispiele. In: GR 45, H.2, S. 95-106.
- Kuttler, W., Graf, A., Blankenstein, S. u. A.-B. Barlag* (2003): Gesamtstädtische Klimaanalyse Krefeld unter besonderer Berücksichtigung von vier Plangebieten. Durchgeführt im Auftrag der Stadt Krefeld, erstellt durch die Abteilung Angewandte Klimatologie und Landschaftsökologie der Universität Essen. Essen.
- Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen* (1989): Klima-Atlas von Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf.
- Schönwiese, C.* (1995): Klimaänderungen. Daten, Analysen, Prognosen. Berlin, Heidelberg.
- Stadt Krefeld* (2003): Neuaufstellung des Flächennutzungsplans. FNP-Entwurf. Stand: Frühzeitige Bürgerbeteiligung. Krefeld.
- TA Luft* (2002): Entwurf zur Novellierung der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft. Erste allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz.
- UVPG* (2002): Gesetz zur Umweltverträglichkeitsprüfung in der Fassung vom 05.09.2001, zuletzt geändert am 18.06.2002.
- VDI-Richtlinie 2310* (1974): Maximale Immissions-Werte (einschließlich Bl. 12 (1985) und Bl. 15 (2001)). VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft. Hrsg.: Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN-Normenausschuss. Düsseldorf.
- VDI-Richtlinie 3787 Blatt 2* (1998): Umweltmeteorologie. Methoden zu human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung. VDI/ DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft. Hrsg.: Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN-Normenausschuss. Düsseldorf.
22. *BImSchV* (2002): Zweiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Immissionswerte für Schadstoffe der Luft) vom 11.09.2002.