

Natur am Niederrhein (N. F.)	23	155-165	11 Abb.	Krefeld 2008
------------------------------	----	---------	---------	--------------

## Stadtklima am Niederrhein – dargestellt am Beispiel der Stadt Krefeld

ANDREAS-BENT BARLAG UND WILHELM KUTTLER\*)

- 1 Einleitung
- 2 Untersuchungsgebiet
- 3 Untersuchungsziele und Messkonzept
- 4 Darstellung ausgesuchter Messergebnisse
- 5 Bewertung der Messergebnisse zum Klima und zur lufthygienischen Situation
- 6 Anwendungsbezogene Ergebnisdarstellung – Hinweise für die Stadtplanung
- 7 Fazit
- 8 Schriftenverzeichnis

### 1 Einleitung

Das Stadtklima hebt sich durch charakteristische Eigenschaften vom Klima des unbebauten Umlandes ab. Die Umwandlung natürlicher Bodenoberflächen in überwiegend versiegeltes Stadtgebiet, ein geringer Vegetationsanteil, thermische Trägheit der Oberflächenmaterialien und des Untergrundes, Oberflächenvergrößerung durch Bebauungsstrukturen sowie Emissionen aus Industrie, Gewerbe, Hausbrand und insbesondere dem Kfz-Verkehr wirken auf die Umwelt des Menschen ein. Wechselwirkungen zwischen Bebauung und technischen Aktivitäten einerseits und dem regionalen Klima andererseits modifizieren die lokalen klimatischen und lufthygienischen Verhältnisse zu einem Stadtklima, das sich während austauscharmer Wetterlagen besonders ausprägt und eine Minderung der Lebensqualität in urbanen Räumen bewirken kann (Kuttler 2006). Die Bedeutung der Stadtklimatologie im deutschsprachigen Raum spiegeln neben zahlreichen Fachartikeln die beiden umfangreichen Monographien von KRATZER (1956) und HELBIG et al. (1999) wider.

Als Rechtsbegriffe der Umweltschutzgesetzgebung sind in Hinblick auf die Bauleitplanung die Belange „Klima und Luft“ in der Stadt- und Regionalplanung zu berücksichtigen (z. B. § 1 Abs. 5 Nr. 7, BauGB (2004), § 2 Abs. 1 Nr. 2, UVPG (2005)). Ferner sind Entscheidungshilfen für die Bauleitplanung in Form von Bewertungen des klimatischen und lufthygienischen Ist-Zustandes städtischer Räume erforderlich

(BARLAG 1997), die vorzugsweise durch Stadtklimaanalysen, einschließlich entsprechender Sonderuntersuchungen, erbracht werden (z. B. KUTTLER & BARLAG 2002).

Klimaanalysen geben für den Planungsprozess Informationen über die Klimate der bebauten und unbebauten Flächen sowie über die Klimate von Flächen mit speziellen Klimaeigenschaften. Daran schließt sich die bewertende Darstellung der Klimafunktionen einzelner Areale und des urbanen Flächengefüges in synthetischen Klimafunktionskarten sowie die Darstellung von Empfehlungen für die vorbereitende Bauleitplanung zum Erhalt positiver und zur Minimierung negativer Klimafunktionen in Planungshinweiskarten an (BARLAG 1993). Die methodische Vorgehensweise bei Stadtklimaanalysen zeigt Abbildung 1. Das dargestellte Schema fand auch bei der Durchführung der für die Stadt Krefeld durchgeführten „Gesamtstädtischen Klimaanalyse Krefeld“ (KUTTLER et al. 2003) Anwendung, deren Ergebnisse nachfolgend auszugsweise vorgestellt werden.

### 2 Das Untersuchungsgebiet

Die Stadt Krefeld liegt linksrheinisch in der Niederrheinischen Tiefebene, nahe der Niederrheinischen Bucht, und wird durch die Niederterrassenstufe des Rheins zweigeteilt. Das Gelände ist bis auf einzelne Erhebungen als schwach reliefiert zu bezeichnen.

Makroklimatisch ist das Stadtgebiet durch den atlantisch-maritimen Klimabereich Nordwestdeutschland geprägt. Die Winter sind vergleichsweise mild und schneearm, die Sommer mäßig warm. Die regional-typische Windrichtungsverteilung zeigt Maxima aus Südwest sowie eine Komponente parallel zum Rheintal (EMONDS 1981; MURL 1989).

Die kreisfreie Stadt Krefeld zählt rund 242 000 Einwohner auf einer Fläche von 138 km<sup>2</sup> (Stadt Krefeld 2006). Das Stadtzentrum liegt leicht exzentrisch zur Stadtfläche in südwestlicher Lage. Vor allem dort, in geringerer Ausdehnung auch in den älteren Siedlungs-

\*) Anschrift der Autoren: Dr. A.-B. BARLAG, c/o Universität Duisburg-Essen – Institut für Geographie – Campus Essen, 45117 Essen; Prof. Dr. W. KUTTLER, c/o Universität Duisburg-Essen – Institut für Geographie – Campus Essen, 45117 Essen

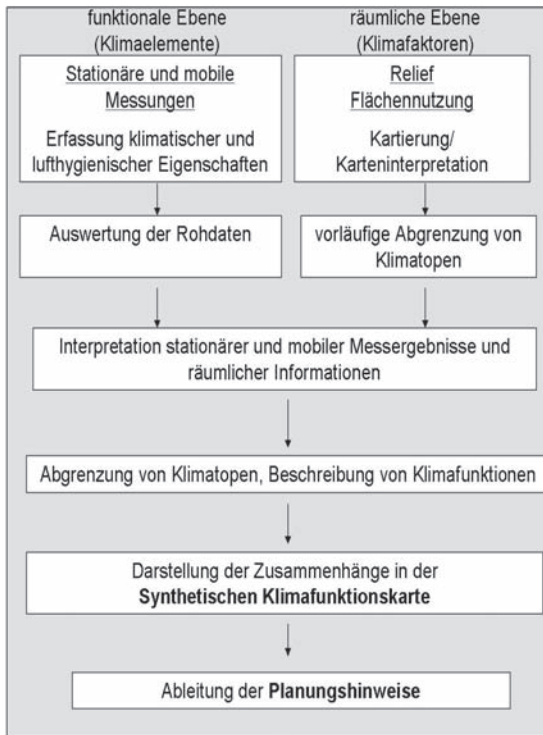


Abb. 1: Methodische Vorgehensweise zur Erstellung der Gesamtstädtischen Klimaanalyse Krefeld

bereichen, ist die Bebauung großflächig verdichtet. In den Randgebieten überwiegt aufgelockerte Wohnbebauung. Industrie- und Gewerbegebiete sind schwerpunktmäßig und großflächig im Nordosten der Stadt im Stadtteil Uerdingen, entlang des Rheinufers nahe dem stadteigenen Industriehafen sowie in Fischeln angesiedelt. Weitläufige Bereiche im Norden und Süden der Stadt stehen unter landwirtschaftlicher Nutzung, vergleichsweise gering ist der Anteil an Wäldern. Im überregionalen Verkehrsnetz liegt Krefeld südlich der BAB 40 und nördlich der BAB 44. Die BAB 57 führt in Nordsüdrichtung direkt durch das Stadtgebiet.

### 3 Untersuchungsziele und Messkonzept

Die Untersuchung zum Krefelder Stadtklima hat die Erstellung einer Gesamtstädtischen Klimaanalyse und die Ermittlung der immis-

sionsklimatischen Situation im Bereich von vier Plangebieten zum Ziel. Damit konnten innerhalb dieser hybrid angelegten Stadtklimaanalyse Synergieeffekte erzeugt werden, die Zeit und Kosten ersparten und zudem eine Erhöhung der Informationsdichte nach sich zogen.

Mit dem ersten Schritt wird ein Datenpool generiert, der für das gesamte Stadtgebiet Flächen bezogene Aussagen zum bodennahen Klima ermöglicht und in entsprechenden Karten Bewertungen der Stadtplanung zukommen lässt. Der zweite Schritt erlaubt Hinweise zu konkreten Planungsvorhaben, deren Inhalte zusätzlich zur Aussagenverdichtung in die Gesamtstädtische Klimaanalyse integriert wurden.

Das Untersuchungs- und Messkonzept von Stadtklimaanalysen richtet sich nach der Zielsetzung, den lokalen Spezifika und dem vereinbarten Maßstab, der üblicherweise in Anlehnung an urbane Flächennutzungspläne bei 1 : 20 000 liegt (VDI 3787, Bl. 9). Abbildung 2 zeigt die Standorte der acht Klimastationen, die innerhalb des Zeitraumes 1. 11. 2001 bis 31. 10. 2002 die Lufttemperatur, die relative Luftfeuchtigkeit, die Windgeschwindigkeit und -richtung auf drei Minuten-Mittelwert-Basis erfassten. Zusätzlich wurden an diesen Standorten NO<sub>2</sub>-Passivsammler installiert, um auf Basis von Wochenmittelwerten Aussagen zur bodennahen Immissionsituation in Abhängigkeit der Jahreszeiten ableiten zu können. Die Standortwahl berücksichtigt die spezielle urbane Flächennutzungsstruktur bzw. die vier zu untersuchenden Plangebiete in Krefeld (Abb. 7), was ebenso für die Routen-

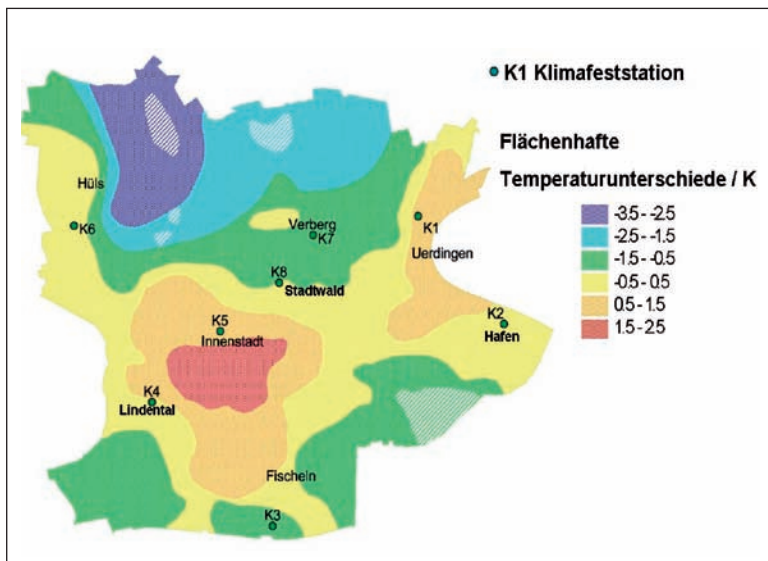


Abb. 2: Ergebnisse einer repräsentativen Temperaturmessfahrt in Krefeld. Nächtliche Lufttemperaturverteilung am 29./30. 7. 2002.

führung der drei nächtlichen Temperatur- und der drei tagsüber durchgeführten lufthygienischen Profilmessfahrten gilt (Abb. 8). Sonderuntersuchungen zur Luftqualität durch 24-h-Standmessungen und zur Kaltluftdynamik durch Tracerexperimente erfolgten in den vier Plangebieten.

#### 4 Darstellung ausgesuchter Messergebnisse

Von der Vielzahl der erzeugten Messergebnisse werden diejenigen dargestellt, die für planungsrelevante Aussagen besondere Bedeutung aufweisen. Dazu gehören Angaben zur bodennahen Lufttemperatur- und Luftfeuchtigkeitsverteilung, zu den bodennahen Austauschverhältnissen sowie zur Immissionsstruktur in Krefelds Straßen.

##### *Raum-zeitliche Verhältnisse der bodennahen Lufttemperaturverteilung*

Die Verteilung der Lufttemperatur innerhalb eines Stadtgebietes ist für stadtklimatologische Untersuchungen grundlegend, da sie über den Wärmehaushalt sehr empfindlich auf stadt- und geländespezifische Einflüsse reagiert. Generell ist zu erwarten, dass die Stadt gegenüber dem Umland wärmer ist und somit eine Wärmeinsel darstellt. Die Ausprägung der Tempera-

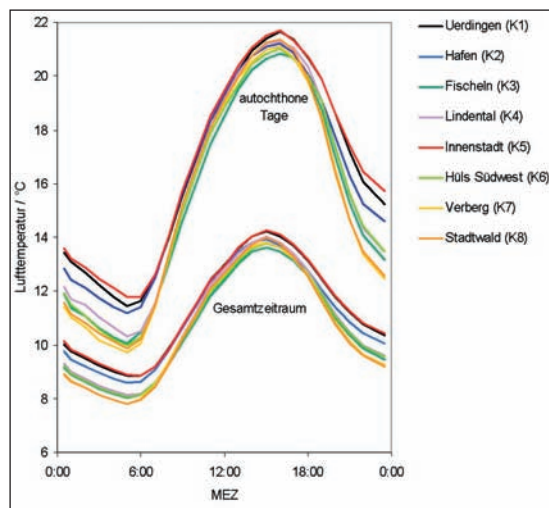


Abb. 3: Vergleich der durchschnittlichen Tagesgänge der Lufttemperatur im Gesamtzeitraum sowie an autochthonen Tagen im Krefelder Untersuchungsgebiet. Messzeitraum: 1. 11. 2001 bis 31. 10. 2002, Datengrundlage: Stundenmittelwerte.

turmodifikationen in Städten tritt in Abhängigkeit der Witterung, der Jahres- und der Tageszeit, der Oberflächenform, der Flächennutzung sowie der geographischen Breite auf (WIENERT & KUTTLER 2005).

Abbildung 2 zeigt als Resultat einer nächtlichen Temperaturmessfahrt, die in einer austauscharmen Sommernacht Ende Juli 2002 durchgeführt und deren Werte chronologisch korrigiert wurden, das durch die Klimafaktoren bedingte bodennahe Temperaturfeld. Die Isanomalenkarte (Isanomale = Linie gleicher Abweichung vom Gebietsmittel der Lufttemperatur) gibt mit roten Farben hohe Temperaturen und über orange, gelb, grün bis hin zu blau Bereiche mit geringeren Temperaturen unterhalb des Gebietsmittels wieder. Der Norden und Süden Krefelds ist aufgrund der Flächennutzung „Freiland“ sehr kühl, während im mittleren und im östlichen Stadtgebiet durch innerstädtische und industrielle Bebauung die bodennahe Temperaturverteilung Überwärmungen bis zu 6 K (Kelvin) gegenüber dem Umland aufweist.

Abbildung 3 zeigt anhand der Jahresdurchschnittstemperaturen zwischen den einzelnen Stationen Unterschiede bis zu 1,3 K, die sich im Mittel autochthoner Tage auf 3,3 K zwischen dem Innenstadtstandort (K5) und dem Freilandklimatop in Fischeln (K3) erhöhen. Diese Differenzen treten insbesondere nachts auf, da dann die unterschiedlichen Ströme der Wärmebilanz in Abhängigkeit der Flächennutzung das bodennahe Temperaturfeld ausgeprägt beeinflussen.

##### *Angaben zur Luftfeuchtigkeit in Krefeld*

Zur Aussageverdichtung zu den urbanen Luftfeuchtigkeitsverhältnissen erfolgte auf Basis der in Krefeld erhobenen Daten eine differenzierte Auswertung anhand des Dampfdruckes nach KUTTLER et al. (2007).

Entsprechende Stundenmittelwerte sind dem Innenstadtstandort (K5) und dem Umlandklimatop Fischeln (K3) entnommen und werden hier als Jahres- und Tagesgang dargestellt. Für beide Zeitgänge zeigt sich, dass die Werte an der Umlandstation höher sind als am Stadtstandort. Im Jahresgang (Abb. 4) werden erwartungsgemäß die höchsten Werte im Sommer, die niedrigsten Werte im Winter erreicht. Die Unterschiede der Monatsmittelwerte sind in den Wintermonaten geringer als im Sommer.

Die Tagesgänge des Dampfdruckes beider Standorte (Abb. 5) unterscheiden sich sowohl hinsichtlich ihrer Höhe als auch hinsichtlich ihres zeitlichen Verlaufes. Grundsätzlich ist festzustellen, dass am Umlandstandort der Dampfdruck höher ist als in der Stadt. Darüber hinaus zeigen die Werte im Umland die aus der Literatur bekannte Doppelwelle des Dampfdruckes mit einem Haupt- (9 bis 12 Uhr) und Nebenmaximum (22 bis 24 Uhr), die durch Minima um 6 Uhr und um 17 Uhr voneinander getrennt sind.

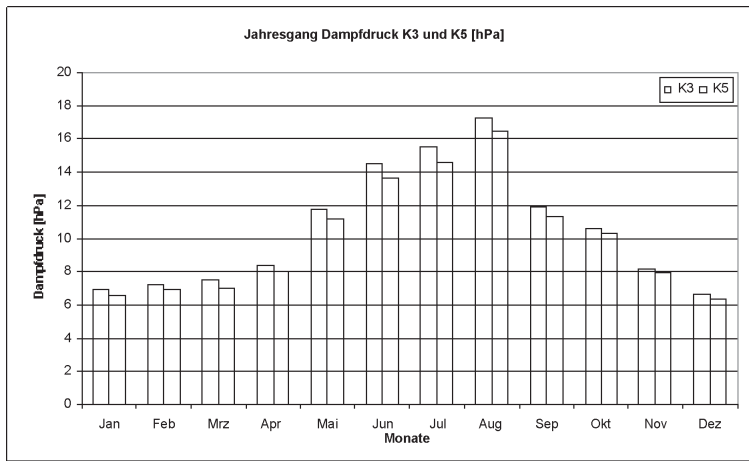


Abb. 4: Monatsmittelwerte des Dampfdrucks (hPa) am Stadt (K5)- und Umlandstandort (K3) in Krefeld (Basis: Stundenmittelwerte; 11/2001 bis 10/2002).

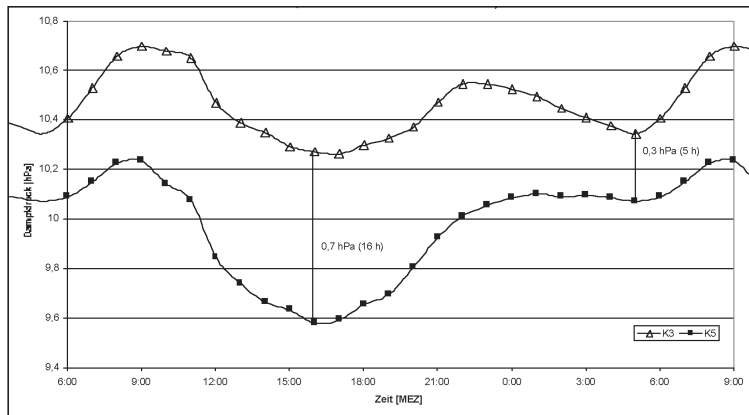


Abb. 5: Mittlerer Tagesgang des Dampfdrucks (hPa) am Stadt (K5)- und Umlandstandort (K3) in Krefeld (Basisgrundlage: Stundenmittelwerte; Messzeitraum: 11/2001 bis 10/2002).

Der Stadtstandort weist hingegen nur ein kürzer andauerndes Maximum (9 bis 10 Uhr) auf. Die vergleichsweise zum Umland am Abend und in der Nacht ansteigenden Werte bilden jedoch kein Nebenmaximum aus, sondern verharren auf mehr oder minder gleichem Niveau und gehen, ohne Durchlaufen eines Minimums, morgens in das Maximum über. Damit weist der Umlandstandort nur ein Maximum auf, das durch ein deutlich ausgeprägtes Minimum (16 Uhr) von den abendlich ansteigenden Werten getrennt wird. Die Tagesschwankung im Umland fällt geringer aus. Als weitere Besonderheit ist festzustellen, dass nach Durchlaufen des abendlichen Maximums am Umlandstandort (22 Uhr) hier die Werte bis zum frühen Morgen (6 Uhr) deutlich abnehmen, während das für

diesen Zeitraum am Stadtstandort nicht nachgewiesen werden konnte.

#### Die Ventilationsverhältnisse im Krefelder Stadtgebiet

Die urbanen Austauschverhältnisse sind aufgrund der heterogenen Rauigkeiten im Krefelder Stadtgebiet unterschiedlich ausgebildet. Generell ist zu konstatieren, dass mit zunehmender Bebauung die Windrichtung bis hin zu Kanalisierungseffekten und Turbulenzen modifiziert wird und die Windgeschwindigkeit abnimmt (KUTTNER & WEBER 2006; DÜTEMEYER 2000). Die urbanen Austauschverhältnisse sind jedoch gerade in stark bebauten Bereichen für den Abtransport der Überwärmung, insbesondere aber für die Verdünnung von Luft verunreinigenden Stoffen, von Bedeutung. Abbildung 6 zeigt anhand kumulativer Häufigkeiten der Windgeschwindigkeiten, dass im interstationären Vergleich im Krefelder Stadtgebiet ausgeprägte Unterschiede zu beobachten sind. Besonders deutlich werden die reduzierten innerstädtischen Austauschverhältnisse bei der Betrachtung von Schwachwinden, die nach MURL (1989) bei Windgeschwindigkeiten unter 1,5 m/s vorherrschen und zu Abkoppelungen des bodennahen Windfeldes vom übergeordneten Windregime führen können. Während Schwachwinde im Innenstadtbereich (K 5) bezogen auf das einjährige Datenkontingent zu fast 80 % auftraten, konnten Winde dieser Geschwindigkeitskategorie in Fischeln (K 3) und Hüls Südwest (K 6) lediglich zu unter 40 % registriert werden.

Bei Abkoppelungen vom übergeordneten Strömungssystem können unter Umständen Kaltluftflüsse vom Umland in bebauten Bereiche hinein gelangen und somit ein Mindestmaß an Ventilation aufrechterhalten. Dabei handelt es sich um durch Ausstrahlungsprozesse gebildete Luft, die kühler und somit schwerer als ihre Umgebungsluft ist und entweder thermisch oder gravitativ generiert in Bewegung geraten kann (VOGT 2001; VDI 3587, Bl. 5). Der Nachweis von



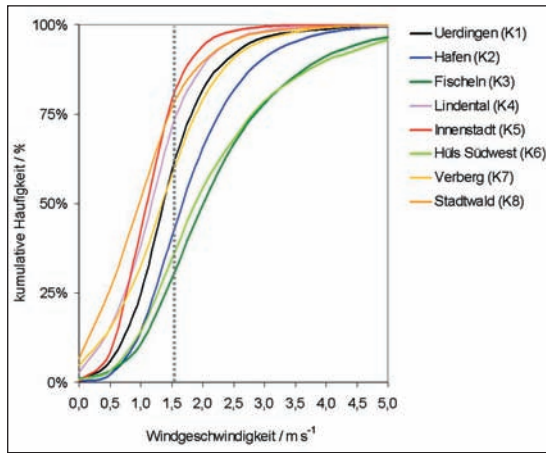


Abb. 6: Kumulative Häufigkeiten der Windgeschwindigkeiten im Krefelder Untersuchungsgebiet. (Basiszeitraum: 11/2001 bis 10/2002, Stundenmittelwerte).

Kaltluftströmen muss überwiegend mit optisch oder chemisch nachweisbaren Tracern (z. B. Rauch, Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>)) erfolgen, da konventionelle Windmessgeräte aufgrund mechanischer Trägheit im Schwachwindbereich nicht exakt aufzeichnen (KUTTLER & DÜTEMAYER 2003).

Abbildung 7 zeigt die vier SF<sub>6</sub>-Emissionspunkte im Bereich der vier Plangebiete Verberg im Norden, Fischeln West und Ost im Süden sowie Hils Südwest im Nordwesten. Mittels des eingesetzten Tracers konnte die Kaltluftausbreitung während austauscharmer Strahlungsächte nachgewiesen werden. Entsprechende Areale werden als Wirkgebiete bezeichnet, weil dort die Kaltluft kühlend bzw. ventilierend wirken kann und somit eine positive Klimafunktion aufweist.

Diese Angaben sind für die vorbereitende Bauleitplanung von großer Bedeutung, genau wie Hinweise zu Kaltluftleitbahnen, über die Kaltluft vom Entstehungsgebiet ins Wirkgebiet gelangen kann. Aufgrund der offenen Lage ist insbesondere der Südwest- bis Westsektor Krefelds sehr windanfällig, so dass eine Differenzierung in windanfällige Kaltluftentstehungs-

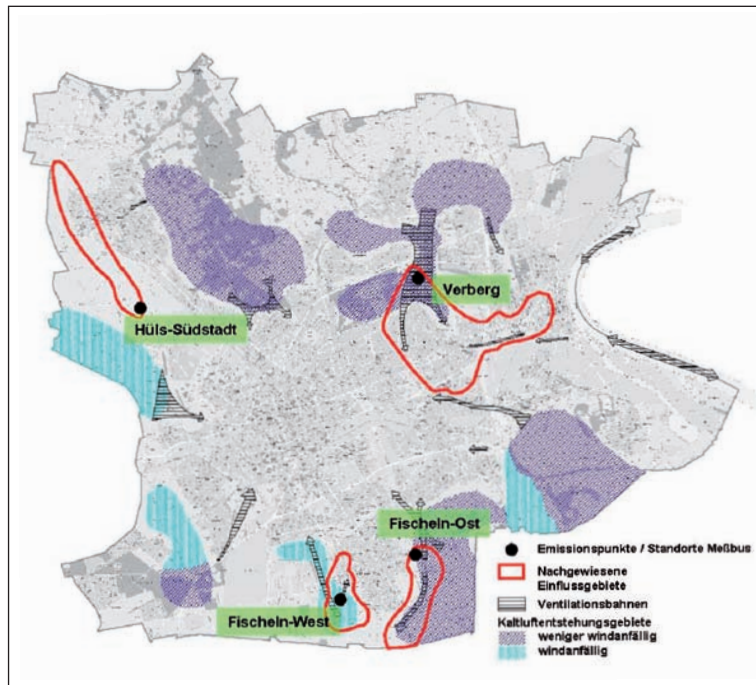


Abb. 7: Relevanz potentieller Kaltluftentstehungsgebiete und -leitbahnen in den vier Plangebieten Krefelds. Vier nächtliche Kaltluftausbreitungskampagnen (Tracer SF<sub>6</sub>).

gebiete mit geringer Bedeutung und weniger windanfälligen Kaltluftproduktionsgebieten mit größerer Klimabonität erfolgte.

Angaben zur Immissionsstruktur auf Krefelds Straßen Mit dem abteilungseigenen Messwagen wurden während austauscharmer Wetterlagen Profilmessfahrten auf ausgesuchten Straßen Krefelds vorgenommen. Während der Fahrt konnten im Sekundentakt die Spurenstoffe CO, CO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub> und O<sub>3</sub> aufgenommen und zu Streckenabschnittsmittelwerten zusammengefasst werden. Diese wurden nach den Kriterien Randbebauung, Vegetation und Verkehrsaufkommen festgelegt. Somit lagen für repräsentative Straßenzüge Krefelds statistisch abgesicherte Werte zur linienhaften Wiedergabe der bodennahen Immissionsituation vor.

Abbildung 8 zeigt anhand des Spurenstoffes CO, der als adäquater Indikator für innerstädtische Luftverunreinigung gilt, die Ergebnisse von jeweils einer im Frühjahr, Sommer und im Herbst durchgeführten Messfahrt. Die Fahrzeit betrug fünf Stunden und lag tagsüber zwischen den Verkehrsspitzen, um einen räumlichen Vergleich zu gewährleisten.

Absolut betrachtet handelt es sich bei Werten zwischen 0,25 und maximal 5,0 mg/m<sup>3</sup> um geringe CO-Konzentrationen. Dennoch lässt sich eine für das unter-

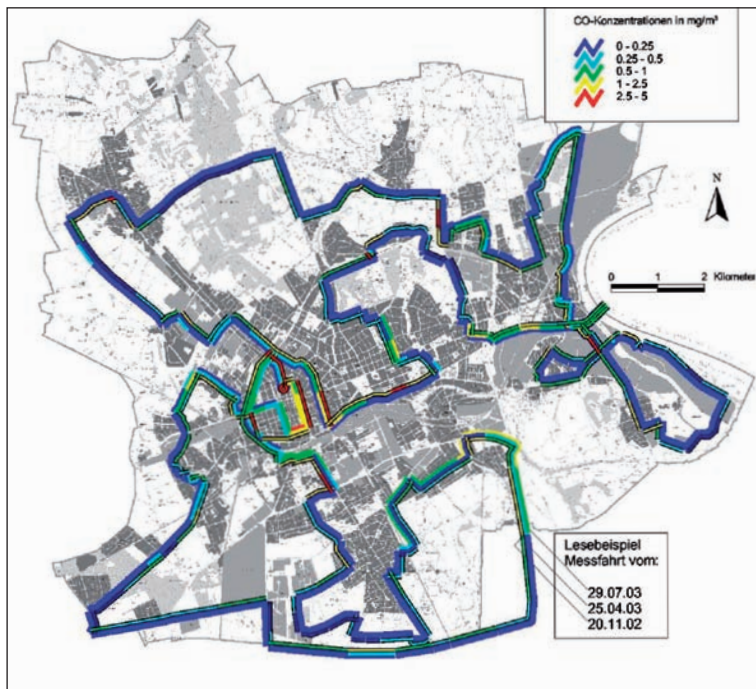


Abb. 8: Ergebnisse der lufthygienischen Untersuchungen in Krefeld. Streckenabschnittswert für CO während dreier lufthygienischer Profilmessfahrten sowie Messroute für die Lufttemperaturmessfahrten.

suchte Stadtgebiet typische Immissionsstruktur erkennen, mit höchsten Werten in der Innenstadt, auf Autobahnen und in Kreuzungsbereichen sowie geringeren Konzentrationen im Umland.

### 5 Bewertung der Messergebnisse zum Klima und zur lufthygienischen Situation

Die einfache Darstellung von Messergebnissen genügt nicht mehr den Ansprüchen heutiger Stadtklimaanalysen. Vielmehr sollen Hinweise zur klimatischen Bedeutung einzelner urbaner Flächen gegeben werden, die professionell aufbereitet, der Stadtplanung zur Verfügung gestellt werden. Jegliche Beurteilung von Flächennutzungsstrukturen setzt Flächenbewertungen im Hinblick auf die klimatische und lufthygienische Bonität entsprechender Bereiche innerhalb eines Stadtgebietes voraus. In der VDI 3787, Bl. 2 werden Bewertungsmaßstäbe für den aktinischen, thermischen und lufthygienischen Wirkungskomplex beschrieben und zur Anwendung empfohlen. Die Praxis zeigt jedoch, dass Bewertungen nach oben genannter VDI-Richtlinie Untersuchungskonzepte voraussetzen, die im Rahmen von Stadtklimaanalysen häufig aus zeitlichen und monetären Gründen nicht angewandt werden können. Daher kommen fallweise Bewertungskon-

zepte in Betracht, die nachfolgend für den klimatischen und für den lufthygienischen Sektor erläutert werden.

#### Bewertung der klimatischen Situation

Die Bewertung der thermischen, austauschrelevanten und human-biometeorologischen Verhältnisse beruht auf den Messergebnissen der Krefelder Stationen K1 bis K8, da deren Datenkontingente einen Umfang aufweisen, der statistisch untermauerte Aussagen zulässt (Abb. 9).

Auf der oberen Abszisse sind die Stationsstandorte und auf der Ordinate ausgesuchte stadtklimatologische Bewertungskriterien sowohl für den Sommer als auch für den Winter dargestellt, mit grüner Farbgebung für eine positive (geringe Belastung) und roter Farbe für eine negative Bewertung (hohe Belastung).

Danach zeigt sich, dass die Umlandstationen in Fischeln (K3) und in Hüls-Südwest (K6) bezüglich der thermischen und human-biometeorologischen Verhältnisse des Sommerhalbjahres als auch der austauschrelevanten Situationen ganzjährig begünstigt sind. Im Gegensatz dazu ist zu erkennen, dass zum Beispiel der Innenstadtstandort (K5) insbesondere im Sommer, bedingt durch die hier auftretende Wärmeinsel, benachteiligt ist (Sommertage bis heiße Nächte).

Im Winter dagegen weist dieses Klimatop vergleichsweise wenige Frost- und Heizztage sowie eine geringe Anzahl an kalten Tagen auf. Daraus ist ableitbar, dass die städtische Temperaturanomale durchaus ambivalent zu betrachten und damit zu bewerten ist, da im Winter Energiekosten für Heizzwecke eingespart werden können.

Die Messergebnisse, die in diese Bewertungsskala Eingang gefunden haben, gelten streng genommen nur für die unmittelbare Stationsumgebung. Aufgrund der Repräsentativität der einzelnen Stationsstandorte für das jeweilige Klimatop und im Abgleich mit den Ergebnissen der Temperaturmessfahrten lassen sich jedoch die Bewertungsaussagen in die Fläche projizieren.

*Bewertung der lufthygienischen Situation*

Aufgrund der angewandten Untersuchungsmethode mit mobilen Messungen und Passivsammlern können geltende Grenzwerte nach BImSchG (2004) nur bedingt herangezogen werden. Daher wurden speziell für die Stadtklimaanalyse Krefeld Methoden entwickelt, die eine bewertende Einordnung bestimmter Streckenabschnittsmittelwerte bzw. Flächennutzungsstrukturen erlauben (Abb. 10).

Der hier zur Anwendung gekommene Luftqualitätsindex (LQI) ist ein relatives Bewertungskriterium zur Identifikation kritischer Streckenabschnitte der Messfahrtroute und dient der linienhaften Darstellung. Für jeden der drei Spurenstoffe CO, NO und NO<sub>2</sub> wurden die jeweiligen Streckenabschnittsmittelwerte der drei Messfahrten zu einem Wert gemittelt. Wenn dieser Wert für die drei Spurenstoffe unter dem jeweiligen 90-Perzentil liegt, beträgt der LQI = 0, so dass der Streckenabschnitt als relativ unbedenklich eingestuft werden kann. Für jeden Spurenstoff, bei dem das 90-Perzentil überschritten wird, steigt der LQI um eine Stufe. In Anlehnung an die drei berücksichtigten Spurenstoffe liegt das Maximum bei einem LQI von drei.

Ein LQI von eins bis zwei tritt auf Autobahnen, Kraftfahrstraßen, im Innenstadtbereich und an stark genutzten Zufahrten bzw. Kreuzungen auf, mit höchsten LQI in Bereichen von Industriezubringerverkehr in Krefeld-Uerdingen und Krefeld-Hafen. Das Maximum von einem LQI von drei wird lediglich auf einem kurzen Streckenabschnitt südwestlich von Verberg dokumentiert.

Um darüber hinaus einen lufthygienischen Bewertungsbezug zu den Stationsstandorten K1 (Uerdingen) bis K8 (Stadtwald) herstellen zu können, wurde aus den Wochenmittelwerten der NO<sub>2</sub>-Passivsammler ein Jahresmittelwert gebildet. Bei Dreiteilung der Spannweite zwischen dem Standort mit dem höchsten (39,9 µ/m<sup>3</sup>) und demjenigen mit dem geringsten Wert (30,2 µ/m<sup>3</sup>) lassen sich die städtisch und/oder industriell geprägten Standorte in der Innenstadt (K5), in Uerdingen (K1) und im Hafen (K2) der höchstbelasteten Klasse, die Umlandstandorte Fischeln (K3), Ver-

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]	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Rot
Kalte Tage [Anzahl]	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Rot
Heiztage [Anzahl]	Grün	Grün	Rot	Rot	Grün	Rot	Rot	Rot
Sommertage [Anzahl]	Rot	Grün	Grün	Grün	Rot	Grün	Grün	Grün
Heiße Tage [Anzahl]	Rot	Grün	Grün	Grün	Rot	Grün	Grün	Grün
Grillpartytage [Anzahl]	Rot	Grün	Grün	Grün	Rot	Grün	Grün	Grün
Heiße Nächte [Anzahl]	Rot	Rot	Grün	Grün	Rot	Grün	Grün	Grün
<b>Austauschverhältnisse</b>								
Jahresmittel der Windgeschwindigkeit	Grün	Grün	Grün	Rot	Rot	Grün	Rot	Rot
Mittlere Windgeschw. autochthoner Tage	Grün	Grün	Grün	Rot	Grün	Grün	Rot	Rot
Schwachwindhäufigkeit [%]	Grün	Grün	Grün	Rot	Grün	Grün	Grün	Grün
Calmenhäufigkeit im Jahr	Grün	Grün	Grün	Rot	Grün	Grün	Grün	Grün
Calmenhäufigkeit autochthoner Tage	Grün	Grün	Grün	Rot	Grün	Grün	Grün	Grün
<b>Human-biometeorologische Verhältnisse</b>								
Rel. Häufigkeit von Tagstunden mit PMV > 0,5 [%]	Rot	Grün	Grün	Grün	Rot	Grün	Grün	Rot
Rel. Häufigkeit von Nachtstunden mit PMV > 0,5 [%]	Grün	Grün	Grün	Grün	Rot	Grün	Grün	Grün
Episoden mit einer Minstdauer 6 h mit PMV > 0,5 [%]	Grün	Grün	Grün	Grün	Rot	Grün	Grün	Grün
* 1. Juni bis 31. August 2002								
Legende	geringe Intensität, Belastung (Grün)			mittlere Intensität, Belastung (Gelb)			hohe Intensität, Belastung (Rot)	

Abb. 9: Bewertung thermischer, austauschrelevanter und human-biometeorologischer Verhältnisse im Krefelder Untersuchungsgebiet, Zeitraum 11/2001 bis 10/2002.

berg (K7) und Hüls-Südwest (K6) ebenso wie die Wohngebietsstandorte Lindental (K4) und Stadtwald (K8) der gering belasteten Kategorie zuzuordnen. Generell ist in Krefeld in Hinblick auf die erhobenen Spurenstoffe von einer absolut geringen Belastung sowohl in den Straßenräumen als auch in den Klimatopen auszugehen.

**6 Anwendungsbezogene Ergebnisdarstellung – Hinweise für die Stadtplanung**

Als geeignetes Instrument räumlich ausgerichteter Planungsstrategien eignet sich das Medium Karte. Um die Darstellung und Bewertung der klimatischen und lufthygienischen Situation sowie den daraus abgeleiteten Handlungsbedarf in einen räumlichen Bezug zum Untersuchungsgebiet stellen zu können, werden synthetische Klimafunktionskarten und Planungshinweiskarten erarbeitet. In synthetischen Klimafunktionskarten wird der generalisierte Ist-Zustand klimatischer Eigenschaften und Funktionen einzelner Flächennutzungsstrukturen, mithin die klimatische und lufthygie-



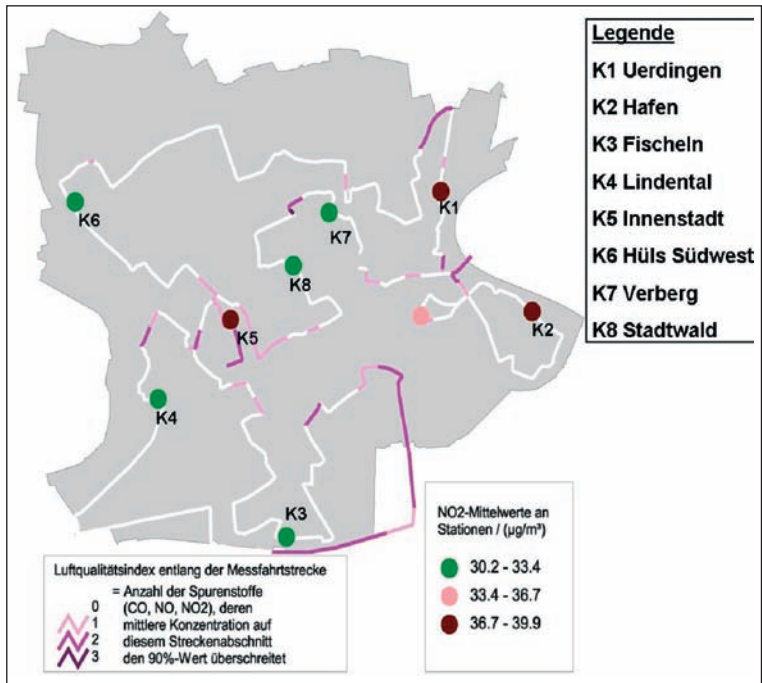


Abb. 10: Bewertung der lufthygienischen Untersuchungen in Krefeld. NO<sub>2</sub>-Stationsmittelwerte aus dem Messzeitraum vom 11/2001 bis 10/2002 sowie von drei lufthygienischen Profilmessfahrten zwischen den Berufsverkehrsspitzen

nische Bonität urbaner Klimatope, dargestellt. Darauf aufbauend ergeben sich Hinweise für die vorbereitende Bauleitplanung, die Klimatop bezogen und damit flächenhaft in Planungshinweiskarten dargestellt werden.

Abbildung 11 zeigt den Aufbau der genannten Karten, der in der VDI 3787, Bl. 1 zur Anwendung empfohlen wird. Da spezielle Klimafunktionen, wie zum Beispiel Kaltluftproduktion, Klimatop übergreifend erfolgen können, müssen entsprechende Aussagen gekennzeichnet werden. Gleiches gilt für Angaben zum Luftaustausch und zu lufthygienischen Verhältnissen. Daher enthalten diese Karten mehrere Informationsebenen, die von flächenhaften Aussagen bis zu punktuellen Angaben reichen. Bezogen auf die Ebenen 2 bis 5 wird darüber hinaus dargelegt, ob Messergebnisse oder Kartierungen von Klimafaktoren im Vordergrund des Erkenntnisgewinns stehen.

- 1. Ebene** → Generalisierte Situation (Topographie)
- 2. Ebene** → Klimatopdarstellung (Flächenmethode)  
Kartierung von Klimafaktoren /  
Ergebnisse stationärer u. mobiler Messungen
- 3. Ebene** → Spezielle Klimafunktionen (Raster-, Signurmethode)  
Ergebnisse stationärer u. mobiler Messungen /  
Kartierung von Klimafaktoren
- 4. Ebene** → Dynamik der Luftaustauschprozesse  
Ergebnisse stationärer u. mobiler Messungen /  
Kartierung von Klimafaktoren
- 5. Ebene** → Lufthygienische Verhältnisse  
Ergebnisse stationärer u. mobiler Messungen /  
Kartierung von Klimafaktoren

Generalisierte, bewertende Darstellung überwiegend für strahlungsreiche, windschwache Wetterlagen. Grenzziehungen aufgrund von Witterungsgeschehen und Maßstab nicht linienscharf.

<b>Synth. Klimafunktionskarte:</b>	<b>Planungshinweiskarte:</b>
→ Klimatope, Klimatische Funktionen, lufthygienische Situation, Bewertung des klimatischen Ist-Zustandes	→ Flächenhafte Empfehlungen zu Ungunst-, Ausgleichs- und Übergangsbereichen, zusätzliche lokale Planungsempfehlungen

Abb. 11: Erstellung und Aufbau der Karten. Synthetische Klimafunktionskarte und Planungshinweiskarte

In Abbildung 12 wird ein Ausschnitt aus der Planungshinweiskarte gezeigt. Ausgewählt wurde der Bereich mit dem Ortsteil Fischeln (K3), da es sich hierbei zusätzlich zu Aussagen zum gesamtstädtischen Klima, um eines der Plangebiete mit konkretem Informationsbedarf handelt. Darüber hinaus kommt in diesem Gebiet eine Kollision zwischen stadtklimatisch ausgerichteten Maßeempfehlungen und dem urbanen Nahverdichtungspotential Krefelds zum Tragen.

Die unterschiedlichen Flächeninformationen leiten sich aus den Inhalten der synthetischen Klimafunktionskarte ab. Es muss darauf hingewiesen werden, dass insbesondere in Hinblick auf den verwendeten Maßstab die dargestellten Grenzziehungen keinen linienhaften Aussagecharakter besitzen, sondern wegen möglicher unterschiedlicher Wetterlagen, Schichtungen der bodennahen Atmosphäre und Windrichtungen räumliche Modifikationen aufweisen können und damit fließend zu interpretieren sind. Dies wird in der Karte sowohl durch ähnliche Farbgebungen als auch durch geschwungene Grenzziehungen benachbarter und mit ähnlichen Klimafunktionen ausgestatteter Räume angedeutet.

Der Ortskern Fischelns wird als Ungunstraum klassifiziert, obwohl Abweichungen gegenüber dem Versie-





Abb. 12: Beispiel zur Planungshinweiskarte Krefelds. Ausschnitt Plangebiet Fischeln

gelungsgrad anderer Ungunsträume im Krefelder Stadtgebiet vorhanden sind. Die Hinterhofgärten im betrachteten Raum sind jedoch derart gekammert, dass beispielsweise Kaltluft, die sich dort aufgrund der teilweise unversiegelten Oberflächen bodennah bilden kann, nicht in den Straßenraum vordringt und somit auch nicht klimatisch wirksam wird. Daher wird die Empfehlung ausgesprochen, dass hier grundsätzlich keine weitere Bebauung erfolgen sollte. Dieser Planungshinweis kollidiert mit dem Krefelder Nahverdichtungspotential zur Vermeidung der Zersiedelung des Umlandes. Die Krefelder Entscheidungsträger müssen somit Prioritäten hinsichtlich der zukünftigen Realnutzungsverwertung setzen. Sollte die Entscheidung gegen den hier ausgewiesenen Planungshinweis fallen, sind die zusätzlichen Planungshinweise, die für Ungunsträume dargestellt sind, umzusetzen. Dazu zählen: Förderung der Dach- und Fassadenbegrünung, Vernetzung von Grünflächen und möglichst breite Öffnungen für Ventilationszwecke offen halten bzw. schaffen.

## 7 Fazit

Stadtklimaanalysen haben nicht die Intention eines interurbanen Klimavergleiches, sondern betrachten die lokalklimatischen Spezifika eines Ortes. Für Krefeld lassen sich generell positive Aussagen zum Stadtklima herleiten, die in Hinblick auf die Flächennutzungsstruktur zusammenfassend den Begriff „Gartenstadtcharakter“ zulassen. Die hier nur in Auszügen dargestellten Planungshinweise sollen bewirken, dass diese positive Aussage zum Stadtklima Krefelds auch in Zukunft Gültigkeit aufweisen wird bzw. fallweise Verbesserungen erzielt werden können.

Analysen zur unterschiedlichen Ausprägung des Klimas in verschiedenen Städten bleiben speziellen, nicht von kommunalen Auftraggebern unterstützen Forschungsvorhaben vorbehalten. So konnte zum Beispiel WIENERT (2002) durch eine Literaturrecherche klimatischer Daten von 150 Städten den Nachweis erbringen, dass die Intensität städtischer Überwärmung auch, jedoch mit geringem Einfluss von der geographischen Breite abhängt.

## 8 Schriftenverzeichnis

- BImSchG (2004): Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz BImSchG) Vom 26. September 2002, zuletzt geändert durch Gesetz vom 08. 07. 2004
- BARLAG, A.-B. (1993): Planungsrelevante Klimaanalyse einer Stadt in Tallage – dargestellt am Beispiel der Stadt Stolberg (Rhld.). – Essener Ökologische Schriften, Bd.1: 185 S.; Hohenwarsleben (Westarp-Wissenschaften)
- (1997): Möglichkeiten der Einflussnahme auf das Stadtklima. – VDI-Berichte 1330: 127-146
- BauGB (2004): Baugesetzbuch in der Fassung vom 27. 8. 1997, zuletzt geändert durch Gesetz vom 5. 5. 2004
- DÜTEMEYER, D. (2000): Urban-orographische Bodenwindssysteme in der städtischen Peripherie Kölns. – Essener Ökologische Schriften, Bd. 12: 171 S.; Hohenwarsleben (Westarp-Wissenschaften)
- EMONDS, H. (1981): Klimatisch-lufthygienischer Fachbeitrag zum Grünordnungsplan der Stadt Krefeld; Krefeld (Stadt Krefeld – Planungsamt –)
- HELBIG, A., BAUMÜLLER, J. & KERSCHGENS, M. J. (Hrsg.) (1999): Stadtklima und Luftreinhaltung, 2. Aufl. – 467 S., Berlin (Springer)
- KRATZER, A. (1956): Das Stadtklima. – 184 S.; Braunschweig (Vieweg)
- KUTTNER, W. (2006): Stadtklima. – MÖLLER, D. (Hrsg.): Klimawandel – vom Menschen verursacht? Acta Academiae Scientiarum, 10: 49-109; Erfurt
- & DÜTEMEYER, D. (2003): Umweltmeteorologische Untersuchungsmethoden. – Promet, Jg. 30,(1-2): 15-27; Offenbach
- GRAF, A.; BLANKENSTEIN, S. & BARLAG, A.-B. (2003): Gesamtstädtische Klimaanalyse Krefeld – unter besonderer Berücksichtigung von vier Plangebieten (Unveröffentlichter Abschlussbericht, durchgeführt im Auftrag der Stadt Krefeld). – 104 S.; Essen
- & BARLAG, A.-B. (2002): Mehr als städtische Wärmeinseln. – Essener Unikate. Berichte aus Forschung und Lehre, Heft 19: 84-97; Essen
- & WEBER, S. (2006): Angewandte Stadtklimaforschung in deutschen Großstädten. – Geographische Rundschau, 58, (7/8): 42-50; Braunschweig
- WEBER, S.; SCHONFELD, J. & HESSELSCHWERDT, A. (2007): Urban/rural atmospheric water vapour pressure differences and urban moisture excess in Krefeld, Germany. – International Journal of Climatology; 27 (14) 2005-2015
- MURL (1989): Klimaatlas von Nordrhein-Westfalen. – Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft (Hrsg.); Düsseldorf
- Stadt Krefeld (2006): Internetpräsenz der Stadt Krefeld unter [www.krefeld.de](http://www.krefeld.de)
- UVPG (2005): Umweltverträglichkeitsgesetz in der Fassung vom 26.06.2005
- VDI-Richtlinie 3787, Bl. 1. Umweltmeteorologie. Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen. – VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft im VDI und DIN-Normenausschuss (Hrsg.). – 73 S.; Düsseldorf
- VDI-Richtlinie 3787, Bl. 2. Umweltmeteorologie. Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung. – VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft im VDI und DIN-Normenausschuss (Hrsg.). – 29 S.; Düsseldorf
- VDI-Richtlinie 3787, Bl. 5. Umweltmeteorologie. Lokale Kaltluft. – VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft im VDI und DIN-Normenausschuss (Hrsg.). – 85 S.; Düsseldorf

- VDI-Richtlinie 3787, Bl. 9. Umweltmeteorologie. Berücksichtigung von Klima und Lufthygiene in der räumlichen Planung. – VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft im VDI und DIN-Normenausschuss (Hrsg.). – 70 S.; Düsseldorf
- VOGT, J. (2001): Lokale Kaltluftabflüsse. – Karlsruher Schriften, Bd. **14**. – 354 S.; Karlsruhe
- WIENERT, U. (2002): Untersuchungen zur Breiten- und Klimazonenabhängigkeit der urbanen Wärmeinsel – eine statistische Analyse. – Essener Ökologische Schriften, Bd. **16**: 211 S.; Hohenwarsleben (Westarp-Wissenschaften)
- & KUTTLER, W. (2005): The dependence of the urban heat island intensity on latitude – A statistical approach. – Meteorologische Zeitschrift, Vol. **14**, No. 5: 677-686; Stuttgart