

ESSENER UNIKATE

Berichte aus Forschung und Lehre

Umwelt Ruhr

19

Vitalität einer Region I

Diethard E. Meyer	8	Geofaktor Mensch
Dirk Hallenberger Jochen Vogt	26	Und sie erforscht sich doch...
Wilfried Loth Sabine Vofskamp	34	Essen im Umbruch
Wolfgang Burghardt	44	Zwischen Puszta und Tropen
Guido Benno Feige Randolph Kricke	58	Der Pott grünt
Petra Podraza Helmut Schuhmacher Mario Sommerhäuser	68	Das Adersystem
Wilhelm Kuttler Andreas-Bent Barlag	84	Mehr als städtische Wärmeinseln
Eckart Pankoke	98	Von der Revier-Kultur zur Kultur-Region
Hans-Werner Wehling	110	Die industrielle Kulturlandschaft des Ruhrgebiets
Jörg Schönharting	120	Ausdruck individueller Mobilität
Karl Rohe	130	„Libertas Ruhrgebietsiensis“?

Auf der stadtklimatologischen Grundlagenforschung basierend entwickelte sich in den vergangenen Jahrzehnten die angewandte Stadtklimatologie als praxisorientierter Forschungszweig. Durch zunehmende Urbanisierung und gesteigertes Umweltbewusstsein erlangten die Wechselwirkungen zwischen Klima, Lufthygiene und Planung im Städtebau eine immer stärker werdende Bedeutung. Das Ruhrgebiet als Ballungsraum bietet sich für stadtklimatologische Untersuchungen besonders an.

Mehr als städtische Wärmeinseln

Angewandte Stadtklimaforschung

Von Wilhelm Kuttler und Andreas-Bent Barlag

Die Stadtklimatologie untersucht als Teildisziplin der Mikro- und Mesoklimatologie die klimatische und lufthygienische Situation in Städten und industriellen Ballungsräumen. Die sich in diesen Gebieten einstellende, vom Menschen nicht beabsichtigte Klimabeeinflussung wird allgemein als „Stadtklima“ bezeichnet. Dieses tritt weltweit in allen urbanen Agglomerationen auf, die jedoch – nach geographischer und topographischer Lage, großklimatischer Prägung sowie vorherrschender Wirtschafts- bzw. Infrastruktur – zu unterschiedlichen Stadtklimatypen führen.

Aufbauend auf der stadtklimatologischen Grundlagenforschung, deren erste Ergebnisse in einer richtungweisenden deutschsprachigen Monographie ihren Niederschlag fanden¹, entwickelte sich in den vergangenen Jahrzehnten die angewandte Stadtklimatologie als praxisorientierter Forschungszweig.

Durch zunehmende Urbanisierung und gesteigertes Umweltbewusstsein erlangten die Wechselwirkungen zwischen Klima, Lufthygiene und Planung im Städtebau eine immer stärker werdende Bedeutung. Um dieser Entwicklung Rechnung zu tragen, wurden die Umweltbelange „Klima“ und „Lufthygiene“ in verschiedenen gesetzlichen Regelwerken, wie dem Baugesetzbuch², dem Bundesimmissionsschutzgesetz³, dem Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz⁴, dem Bundesnaturschutzgesetz⁵ bzw. Verordnungen, wie der 23. Bundesimmissionsschutzverordnung⁶ und der Wärmeschutzverordnung⁷, verankert.

Der vorliegende Beitrag geht im ersten Teil auf die wichtigsten Grundlagen und Charakteristika der allgemeinen Stadtklimatologie ein und stellt im zweiten Teil exemplarisch Untersuchungsergebnisse aus dem Ruhrgebiet vor.

Ursachen und Charakteristika des Stadtklimas

Die Ursachen des Stadtklimas lassen sich auf drei Faktorengruppen zurückführen, die – direkt oder indirekt – durch die Art der Bebauung, die Flächenversiegelung und die Nutzung urban-industrieller Gebiete bedingt sind. Es handelt sich hierbei um

- die Umwandlung ursprünglich natürlichen Bodens in überwiegend aus künstlichen Materialien bestehende, versiegelte Flächen mit starker dreidimensionaler Strukturierung,
- die Reduzierung der mit Vegetation bedeckten Flächen und
- die Freisetzung von gasförmigen, flüssigen und festen Luftbeimengungen sowie von Abwärme aus technischen Prozessen.

Die genannten Faktoren beeinflussen die Zusammensetzung der Stadtatmosphäre, den Strahlungs-

und Wärmehaushalt der Oberflächen und der städtischen Grenzschicht sowie den Luftaustausch zwischen Stadt und Umland. Sie führen gemeinsam zu dem Erscheinungsbild des Stadtklimas, dessen Einzelkomponenten exemplarisch für eine mitteleuropäische Großstadt in Abildung 1 zusammengefasst sind.

Urbane Energiebilanz

Die in der Stadtluft enthaltenen Spurenstoffe, die unterschiedlichsten Quellen entstammen, beeinflussen den urbanen Energiehaushalt, der sich aus der Strahlungs- (1) und der Wärmebilanz (2) zusammensetzt.

Konventionsgemäß werden Strahlungs- und Wärmeflussdichten mit einem positiven Vorzeichen versehen, wenn sie zur Bezugsfläche gerichtet sind. Im umgekehrten Fall sind sie negativ.

Die Strahlungsbilanz (1) einer Fläche setzt sich zusammen aus:

$$Q = (I + D)(1 - \rho_s) + A(1 - \rho_l) + E / \text{W m}^{-2} \quad (1)$$

mit

I = direkte Sonnenstrahlung / W m^{-2}

D = diffuse Sonnenstrahlung / W m^{-2}

ρ_s = kurzwelliger Reflexionsgrad / 1

ρ_l = langwelliger Reflexionsgrad / 1

A = langwellige Gegenstrahlung / W m^{-2}

E = langwellige Ausstrahlung / W m^{-2}

Auf die urbane Strahlungsbilanz (1) wirken die kurz- und langwelligeren Strahlungsströme unterschiedlich stark ein. So führen die Luftinhaltsstoffe der Stadtatmosphäre im Vergleich zum Umland zu einer absoluten Strahlungsschwächung, wobei der relative Anteil der diffusen Strahlung (D) im Allgemeinen auf Kosten der direkten Strahlung (I) erhöht wird. Darüber hinaus hängt die Verminderung der Globalstrahlung ($G = I + D$) natürlich von der Zenitdistanz der Sonne, der dadurch vorgegebenen optischen Weglänge und auch von den optischen Eigenschaften der in der Luft enthaltenen Gase und Schwebeteilchen ab. Räumliche Unterschiede ergeben sich darüber hinaus in Abhängigkeit von einzelnen Windrichtungen wegen der potenziellen Beeinflussung durch die städtischen Abluftfahrten. Profilmfahrten, die zur Erfassung der solaren Bestrahlungsstärke mit einem dafür geeigneten Messfahrzeug auf einer durch die Stadt Essen von Nord nach Süd verlaufenden Route durchgeführt wurden,

ergaben z. B. Strahlungseinbußen von bis zu sieben Prozent. Besonders hohe Attenuationen wiesen dabei Verkehrsknotenpunkte auf⁸.

Der kurzwellige Reflexionsgrad (ρ_s), der von der Beschaffenheit und Exposition der Oberflächen abhängt, beläuft sich für Großstädte in den mittleren Breiten auf bis zu 30 Prozent. Demgegenüber spielt der langwellige Reflexionsgrad (ρ_l) mit etwa fünf Prozent für die urbane Strahlungsbilanz nur eine untergeordnete Rolle. Grundsätzlich werden die langwelligen Strahlungsflussdichten durch die Temperatur der Oberflächen und die der Atmosphäre mit den darin enthaltenen infrarotaktiven Gasen Wasserdampf und CO_2 bestimmt. Auf die langwellige Ausstrahlung (E) übt die Horizontüberhöhung, die in engen Straßenschluchten bei hoher Randbebauung extreme Werte annehmen kann, eine dominierende Wirkung aus.

Die Wärmebilanz (2) setzt sich unter der Voraussetzung von Advektions- und Niederschlagsarmut zusammen aus:

$$Q + q_m + q_s + q_l + q_i + q_p = 0 / \text{W m}^{-2} \quad (2)$$

mit

Q = Strahlungsbilanz / W m^{-2}

q_m = metabolische Wärmeflussdichte / W m^{-2}

q_s = künstliche Wärmeflussdichte / W m^{-2}

q_l = turbulente latente Wärmeflussdichte / W m^{-2}

q_i = turbulente sensible Wärmeflussdichte / W m^{-2}

q_p = Bodenwärmeflussdichte / W m^{-2}

Neben der Strahlungsbilanz bestimmen die Terme q_m , q_s , q_l , q_i und q_p die städtische Wärmebilanz (2). Unter der metabolischen Wärmeproduktion (q_m) versteht man die durch den Stoffwechsel von Organismen biochemisch erzeugte Wärme. Ihre flächenbezogenen Werte sind allerdings meist sehr niedrig (Stadt Essen < 1 W m^{-2}).

Eine für die städtische Wärmebilanz wesentlich wichtigere Größe ist hingegen die künstliche Wärmeproduktion (q_s). Diese beruht auf

Einflussgrößen	Veränderungen gegenüber dem nicht bebauten Umland	Einflussgrößen	Veränderungen gegenüber dem nicht bebauten Umland
Globalstrahlung (horizontale Fläche)	bis -10 %	Dauer der Frostperiode	bis -30 %
		Wind - Geschwindigkeit - Richtungsböigkeit - Geschwindigkeitsböigkeit	bis -20 % stark variierend erhöht
Gegenstrahlung	bis +10 %	Absolute Luftfeuchtigkeit - tags - nachts	weniger mehr
UV-Strahlung im Sommer im Winter	bis -90 % bis -30 %	Nebel - Großstadt - Kleinstadt	weniger mehr
Sonnenscheindauer im Sommer im Winter	bis -8 % bis -10 %	Niederschlag - Regen - Schnee - Tauabsatz	mehr (leeseitig) weniger weniger
Sensibler Wärmestrom	bis +50 %	Bioklima	
Wärmespeicherung	bis +40 %	Vegetationsperiode	bis zu zehn Tage länger
Lufttemperatur - Jahresmittel - Winterminima - in Einzelfällen	~ + 2 K bis +10 K bis +15 K	Luftverunreinigungen - CO, NOx, AVOC ¹⁾ , PAN ²⁾ - Ozon <small>1) = anthropogene Kohlenwasserstoffe 2) = Peroxycetylnitrat</small>	mehr weniger (Spitzen höher)

(1) Charakteristika des Stadtklimas einer Großstadt in den mittleren Breiten.

Quelle: P. Hupfer, W. Kuttler (Hrsg.): Witterung und Klima, 10. Auflage, Teubner, Leipzig 1998, verändert

der Abwärme von Kraftfahrzeugen, Kraftwerken und Industrieanlagen, ergänzt durch den öffentlichen und privaten Energieverbrauch. In summa kann sie Werte von bis zu 100 W m^{-2} erreichen⁹, in Einzelfällen auch mehr.

Die turbulenten Flüsse sensibler und latenter Wärme (q_s, q_l) sind je nach Oberflächenbeschaffenheit in Städten höchst unterschiedlich ausgeprägt. So werden bei starker Sonneneinstrahlung q_s über trockenen versiegelten Flächen wesentlich höhere Werte als q_l erreicht, weil keine Energie für die Verdunstung von Wasser aufgewendet werden kann. Die Werte des Bowen-Verhältnisses (q_s/q_l) liegen deshalb deutlich über eins und charakterisieren damit städtisch bebaute Flächen.

Komplettiert wird die städtische Wärmebilanz durch die Bodenwärmeflussdichte (q_b), die an Strahlungstagen wegen der hohen Wärmeleitfähigkeits- und Wärmekapazitätswerte von Baumaterialien eine wichtige thermische Speicherfunktion übernimmt. In mitteleuropäischen Städten kann dieser Wert bei trockenem Wetter bis zu 40 Prozent der städtischen Wärmebilanz ausmachen. Diese Energie steht dann zumindest zeitweise nicht für andere Wärmetransportgrößen, wie für q_s , und damit für die Lufterwärmung, zur Verfügung.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass sich urban-industrielle Gebiete im Vergleich zu natürlichen Oberflächen im Allgemeinen durch höhere Werte der Strahlungs- und Wärmebilanzglieder D, A, E, q_s, q_b und q_s auszeichnen. Hingegen sind die direkte Sonnenstrahlung (I) infolge der atmosphärischen Trübung sowie der latente turbulente Wärmestrom (q_l) aufgrund der Reduzierung verdunstungsaktiver Flächen in Städten eher unterrepräsentiert.

Städtische Wärmeinseln

Ein bekanntes Faktum des Stadtklimas sind die durch die Verände-

rung der Strahlungs- und Wärmebilanz verursachten höheren Luft- und Oberflächentemperaturen. Diese im Vergleich zum Umland positiven Wärmeanomalien werden als „städtische Wärmeinseln“ bezeichnet. Der Begriff zielt auf die sich inselartig vom kühleren Umland absetzende, dreidimensional auftretende Überwärmung von Siedlungskörpern ab. Städtische Wärmeinseln sind stark von der Witterung sowie der Tages- und Jahreszeit abhängig und unterliegen deshalb einem steten Gestalts- und Intensitätswechsel. So weisen mitteleuropäische Städte z. B. die höchsten bodennahen Temperaturunterschiede zum Umland in austauscharmen (autochthonen) sommerlichen Strahlungsnächten auf, während sich bei austauschreicher (allochthoner) Witterung nur eine geringe urbane Überwärmung einstellt (Abb. 2).

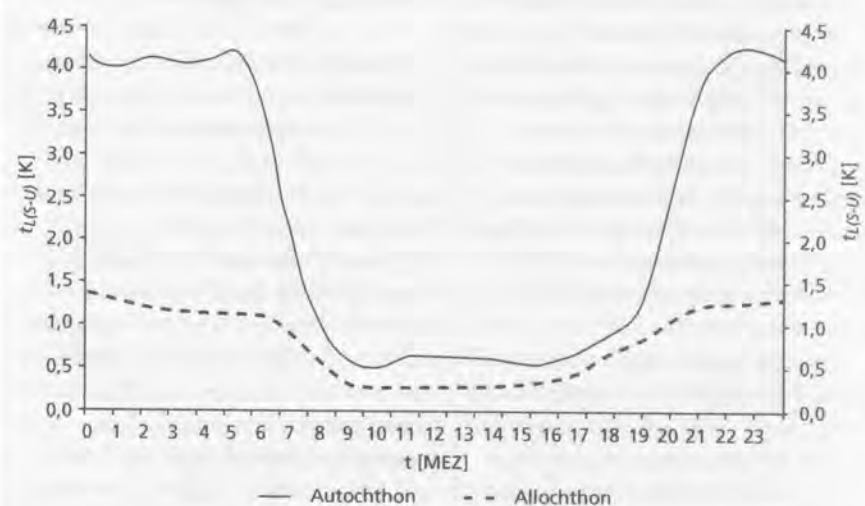
Urbane Windverhältnisse

Eine wichtige Rolle für den urbanen bodennahen Luftaustausch spielen die durch Gebäude beeinflussten Windverhältnisse. Im Allgemeinen ist deshalb in Städten von niedrigeren Windgeschwindigkeiten und häufigeren Windstillen auszugehen

als im Umland. Obwohl Böigkeit und Turbulenz erhöht sein können, ist der atmosphärische Austausch insgesamt eingeschränkt, so dass sich die thermische und lufthygienische Situation aufgrund des verminderten Abtransportes der Wärme und von Spurenstoffen insbesondere dort verschlechtert, wo sich urbane Flächennutzungen durch hohe Rauigkeiten und/oder niedrig gelegene Emissionsquellen auszeichnen.

Als Hauptverursacher erhöhter urbaner bodennaher Immissionskonzentrationen gilt gegenwärtig der Kfz-Verkehr. Dadurch kommt es insbesondere in Nähe stark befahrener Straßen, die sich durch hohe Immissionskonzentrationen kfbürtiger Spurenstoffe auszeichnen können, zu Luftqualitätsproblemen.¹⁰

Eng gekoppelt an die überwiegend nächtlich auftretende städtische Überwärmung kann sich bei niedriger übergeordneter Windgeschwindigkeit eine stadteinwärts gerichtete bodennahe Luftströmung entwickeln. Da sie von der Flur, dem Umland, zur Stadt weht, wird sie Flurwind genannt. Ein derartiges Windsystem ist hinsichtlich seiner Persistenz zwar fragil, kann aber durchaus planungsrelevant sein,



(2) Mittlerer Tagesgang der Lufttemperaturdifferenzen zwischen einer Stadt- (S) und einer Umlandstation (U) für autochthone und allochthone Wetterlagen der Messperiode 7/1995 bis 6/1996 in Köln.

Quelle: D. Dütemeyer: Urban-orographische Bodenwindssysteme in der städtischen Peripherie Kölns. (=Essener Ökologische Schriften, Bd. 12), Westarp-Wissenschaften, Hohenwarsleben 2000.

wenn es z. B. durch den Transport von kalter Umlandluft dazu beiträgt, die klimatisch-lufthygienische Situation in den Innenstädten durch Abkühlung und Erhöhung der Luftqualität zu verbessern. Am Beispiel der Stadt Bochum konnte ein Flurwindssystem zu zehn Prozent der Jahresstunden nachgewiesen werden¹¹.

Neben einer gut ausgebildeten Wärmeinsel, also einem möglichst großen horizontalen Temperaturgradienten zwischen Stadt und Umland, steigern raugkeitsarme Ventilationsbahnen die Belüftungseffektivität von Flurwinden, die das Kaltluftquellgebiet im Umland mit dem urbanen Wirkgebiet auf möglichst kurzem Wege verbinden.^{12,13}

Niederschlag und Nebel in Städten

Stadtgebiete beeinflussen auch die Niederschlagsverhältnisse. Verantwortlich hierfür sind der Wärmeinseleffekt, die größere Oberflächenraugigkeit, die Partikelemission und die raugkeitsbedingte Ablenkung fallender Regentropfen im bodennahen Windfeld. Diese Faktoren führen allerdings nur in seltenen Fällen zu einer Erhöhung der absoluten Regenspenden. Hingegen ist es wahrscheinlicher, dass die Siedlungskörper eine räumliche Umverteilung der Niederschläge verursachen, die insbesondere den leeseitig der Stadtzentren gelegenen Flächen zugute kommen. Untersuchungen zur Niederschlagsverteilung im Ruhrgebiet ergaben, dass urbanbeeinflusste Standorte um etwa sieben Prozent höhere mittlere Jahresniederschlagssummen aufweisen als rurale Gebiete¹⁴.

Auch der Gehalt der bodennahen Atmosphäre an Wasserdampf unterscheidet sich zwischen Stadt und Umland, insbesondere während austauscharmer Strahlungswetterlagen. Wegen der geringeren Verbreitung verdunstungsaktiver Flächen ist die Stadtatmosphäre tagsüber meist trockener. Nachts hingegen können sich die Verhältnisse zum Umland

durchaus für kurze Zeit umkehren. Der höhere Feuchtigkeitsgehalt der Stadtatmosphäre beruht dann u. a. darauf, dass es im Siedlungsbereich zu einem geringeren Tauabsatz wegen der nächtlichen städtischen Überwärmung kommt. Da sich das Umland stärker und schneller abkühlt, wird dort die Taupunkttemperatur eher und länger unterschritten, so dass Kondensation einsetzt.¹⁵

Grundlegend geändert haben sich in den vergangenen Jahrzehnten die Sicht- und Nebelverhältnisse in mitteleuropäischen Ballungsräumen. Während diese früher eine höhere Anzahl an Nebeltagen im Vergleich zum Umland aufwiesen, lässt sich seit etwa 20 Jahren ein Rückgang der Nebelhäufigkeit in Städten erkennen.¹⁶ Diese Entwicklung dürfte mit den durchgeführten Luftreinhaltemaßnahmen in Zusammenhang stehen, da sich die Konzentration hygroskopischer Kondensationskerne durch Abnahme des Schwebstaubgehaltes in der bodennahen Atmosphäre verringert hat. Aber auch die Zunahme des urbanen Wärmeinseleffektes, bedingt durch verstärkte Bautätigkeit und Flächenversiegelung, wird hierauf nicht ohne Auswirkung geblieben sein.

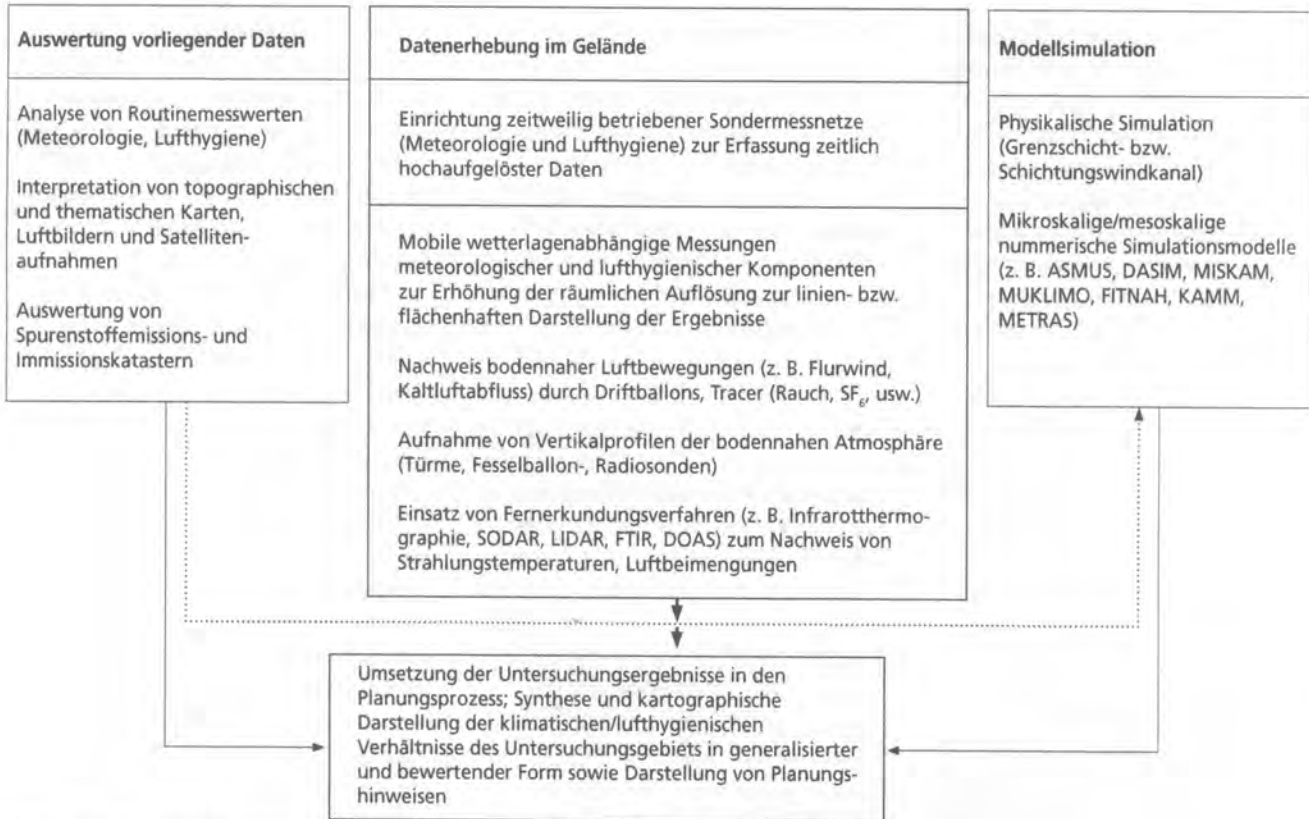
Untersuchungsmethoden der Stadtklimaforschung

Zum Nachweis mikro- und mesoklimatischer sowie lufthygienischer Unterschiede zwischen Stadt und Umland wird in der Regel auf darauf abgestimmte Untersuchungsmethoden zurückgegriffen, die in Abbildung 3 zusammengefasst sind. Voraussetzung der Messungen ist ferner die Wahl möglichst repräsentativer Mess-Standorte im urbanen und ruralen Gebiet, wo an Feststationen mindestens ein Jahr lang die entsprechenden lufthygienischen und klimatischen Größen gemessen werden sollten. Das kann wegen der Heterogenität städtischer Flächennutzungen nur über eine sinnvolle Generalisierung und Aufteilung des Siedlungskörpers in Gebiete gleich-

artigen kleinklimatischen Verhaltens erreicht werden. Flächen, die diese Anforderungen erfüllen, werden Klimatope genannt. In den meisten Fällen kann auf das Datenmaterial der vom Deutschen Wetterdienst betriebenen Messnetze nicht zurückgegriffen werden, da diese zur Beantwortung überregionaler Fragestellungen eingerichtet wurden und deshalb die mikroklimatischen Probleme weitgehend ausblenden. Die Einrichtung von Sondermessnetzen mit hohen Stationsdichten ist deshalb unumgänglich. An derartigen Feststationen erfolgt zwar mit hoher zeitlicher Auflösung eine Messwetterfassung; diese erlaubt jedoch streng genommen nur punktuelle Aussagen für den entsprechenden Klimatotyp. Um flächendeckende Daten zu erhalten, sind zusätzlich mobile Messungen (z. B. Messfahrten auf vorher festgelegten Routen, Abb. 4) durchzuführen. Eine derartige Datenerfassung ermöglicht die quasi-zeitgleiche Aufnahme der wichtigsten klimatologischen und lufthygienischen Größen. Bei engmaschig gewähltem Messnetz und hoher zeitlicher Datenaufnahme ist im Allgemeinen eine hohe Interpretationssicherheit gewährleistet. Letztere wird für die flächenbezogene Aussage dadurch erhöht, dass ergänzend auf statistische Berechnungsverfahren zurückgegriffen wird, deren Eingangsparameter orts- und bebauungstypische Größen darstellen.

Die Aufgabe stadtklimatologischer Untersuchungen besteht häufig auch darin, Ventilationsbahnen zwischen Stadt und Umland nachzuweisen, durch die während austauscharmer Strahlungswetterlagen nachts Kaltluft aus dem Umland dem bebauten Raum zugeführt werden kann. Derartige Kaltlufttransporte werden in reliefiertem Gelände gravitativ angetrieben oder entstehen in ebenem Gelände thermisch generiert als Flurwind.

Zum Nachweis der human-bio-meteorologisch wichtigen Kaltluftdynamik für Siedlungsgebiete finden



(3) Klimatische und lufthygienische Untersuchungsmethoden für die Stadt- und Regionalplanung. Quelle: VDI-Richtlinie 3787, Bl. 9: Umweltmeteorologie. Die Berücksichtigung von Klima und Lufthygiene in der Stadt- und Regionalplanung, VDI-Verlag, Düsseldorf (Gründruck 2002).

häufig Tracer (engl. Spürstoffe) Verwendung. Tracer sind in der Atmosphäre nicht oder nur in sehr niedrigen Hintergrundkonzentrationen enthaltene Spurenstoffe, die man im Quellgebiet der Kaltluft freisetzt und ihre Ausbreitung entweder visuell – durch Rauch bzw. Seifenblasen – oder messtechnisch, und zwar bei Verwendung von Schwefelhexafluorid (SF₆), Tetrafluormethan (CF₄) und Hexafluorethan (C₂F₆), mit Hilfe gaschromatischer Analysen von Luftproben in den potenziellen Wirkgebieten, verfolgt.¹⁷ Hieraus können Aussagen zur Geschwindigkeit und zum Volumen der Kaltluft sowie über deren Ausbreitung auch zur Eindringtiefe in bebauten Gebiet abgeleitet werden, wie am Beispiel der Stadt Mülheim belegt werden konnte.¹⁸

Aufschluss über die vertikale Struktur der Stadtatmosphäre erhält man am einfachsten durch Fesselballonsondierungen und Fernerkundungsverfahren (z. B. SODAR, LIDAR), die auch zur dreidimensio-

nen Analyse von Kaltluftbewegungen eingesetzt werden. Diese Untersuchungen werden insbesondere bei schwachwindigem Strahlungswetter durchgeführt, um Aufschluss über die atmosphärische Stabilität zu erhalten, die in extremen Fällen, z. B. bei Vorherrschen von Bodeninversionen, die Durchmischung der Atmosphäre behindert und dadurch einen Abtransport von Luftverunreinigungen nicht mehr zulässt.

Bewertungsverfahren

Um die Ergebnisse stadtklimatischer Messungen ihrer Bedeutung nach möglichst objektiv einschätzen zu können, sollten diese bewertet werden. Die Ziele einer Bewertung liegen vor allem in der Ermittlung klimatisch/lufthygienischer Belastungs- und Ausgleichsräume, im Nachweis der Empfindlichkeit einer Fläche gegenüber bestimmten Nutzungen oder in der vorausschauenden Optimierung von Bauleitplänen. Bei den Bewertungsverfahren wird

eine relative von einer absoluten Validierung unterschieden. Bei der relativen Bewertung werden räumliche bzw. zeitliche Unterschiede gemessener Größen festgestellt, ohne dass diese auf Grenzwerte bezogen werden.¹⁹ Die absolute Bewertung orientiert sich hingegen an Grenzwerten.^{20,21} Bei der Verwendung von Mess- und Bewertungsdaten für die Praxis hat sich seit einigen Jahren das Konzept der „Synthetischen Klimafunktionskarte“ bewährt.²² Hierbei handelt es sich um kartographisch aufbereitete flächenbezogene Darstellungen geländeklimatischer und lufthygienischer Sachverhalte, die vielfach die Basis bilden für Planungshinweiskarten, in denen Maßnahmenempfehlungen für den Anwender enthalten sind.²³

Beispiel einer Gesamtstädtischen Klimaanalyse – Gelsenkirchen

Seit Jahrzehnten unterliegt das Ruhrgebiet einem massiven wirtschaftlichen Strukturwandel, der

auch in Hinblick auf den Flächenbedarf Auswirkungen zeigt. Ehemalige Bergbau- und Industriegebiete stellen z. T. großräumige Brachflächen dar, die einer neuen Verwendung zugeführt werden müssen. Um Fehlentwicklungen zu vermeiden und Planungsstrategien transparent zu machen, erstellen Kommunen Flächennutzungspläne (FNP), in denen im Rahmen der vorbereitenden Bauleitplanung für einen Zeitraum von 10 bis 15 Jahren die zukünftigen Nutzungen urbaner Flächen festgelegt werden. Vor der Neuaufstellung eines FNP werden Bereiche, die besondere umweltrelevante Eigenschaften aufweisen könnten, einer darauf ausgerichteten Bewertung unterzogen. Die angewandte Stadtklimatologie greift diesen bedeutenden Planungsaspekt durch darauf abgestimmte Untersuchungen auf. Entsprechende Ergebnisse werden häufig in Gesamtstädtische Klimanalysen integriert, so dass kommunalen Planungsbehörden ein umfassendes stadtklimatisches Grundgerüst vorgelegt werden kann.

Innerhalb des Zeitraumes vom 01.11.1998 bis 31.10.1999 wurden in der Stadt Gelsenkirchen klimatisch-lufthygienische Messungen durchgeführt. Die Ergebnisse fließen in eine synthetische Klimafunktionskarte sowie in eine Planungshinweiskarte ein, so dass der Stadt Gelsenkirchen

über Detailangaben hinaus der klimatische Ist-Zustand in generalisierter und bewerteter Form als gesamtstädtisches Klimagutachten zur Verfügung gestellt werden konnte.

Nachfolgend werden Auszüge aus der Gesamtstädtischen Klimanalyse Gelsenkirchen²⁴ als ein stadtklimatologisches Fallbeispiel aus dem Ruhrgebiet vorgestellt.

Untersuchungsziele

Als primäres Projektziel wurde von der Stadt Gelsenkirchen die Untersuchung der klimatisch-lufthygienischen Funktionen einzelner Flächennutzungsstrukturen als Beurteilungskriterien für die Neuaufstellung des FNP formuliert. Darüber hinaus sollten vier unversiegelte Gewerbe-/Industriebrachen in die Untersuchung eingebunden werden, um Entscheidungshilfen für die Festlegung zukünftiger Nutzungen geben zu können.

Die auf diese Aufgabenstellungen ausgerichtete Untersuchungsmethodik wurde ferner von klimasteuernden Faktoren des Untersuchungsgebietes bestimmt. Im vorliegenden Fall waren das:

- Lage innerhalb des polyzentrisch angelegten Ruhrgebietes
- bipolare Stadtstruktur mit zwei Stadtzentren
- Bebauung mit durchschnittlich

vier bis fünf Geschossen

- im Wesentlichen durch Kfz-Abgase verursachte Immissionsituation (0,55 Kfz/Einwohner), die mittlerweile für das Ruhrgebiet typisch ist
- relativ ebene Morphographie mit der Emscherniederung als tiefstem Bereich.

Mit insgesamt sechs Klimafeststationen, drei nächtlichen Lufttemperaturmessfahrten, vier tagsüber durchgeführten lufthygienischen Profilmessfahrten und 19 Vertikalaufstiegen mittels Fesselballonsondierungen (speziell für den FNP) sowie vier über 24 Stunden laufenden lufthygienischen Standmessungen und zwei Tracerausbreitungskampagnen (speziell für die Plangebiete), kam ein Messdesign zum Einsatz, das für die Lösung klimatischer und lufthygienischer Fragestellungen eine hohe räumliche wie auch zeitliche Auflösung der Messergebnisse garantiert. Abbildung 5 gibt einen Überblick über das Untersuchungsgebiet sowie über die räumliche Anordnung stationärer und mobiler Messungen.

Bodennahe Lufttemperaturverhältnisse

Von den gemessenen klimatologischen Größen fällt der Lufttemperatur eine besondere Bedeutung zu, da sie über den Wärmehaushalt sehr empfindlich auf stadtklimatische Einflüsse reagiert. Im Wesentlichen bedingt durch Ausstrahlungs- und Austauschprozesse entsteht eine raumtypische Lufttemperaturverteilung vorwiegend während windstiller Strahlungsächte, aus deren flächenhafter Struktur lokaltypische Besonderheiten des betrachteten Gebietes ableitbar sind.

Aufgrund der Bebauungsstruktur Gelsenkirchens ist davon auszugehen, dass sich eine bodennahe Temperaturverteilung ausbildet, die als Besonderheit eine deutlich ausgeprägte zweikernige Wärmeinsel aufweist.

Abbildung 5 zeigt eine aus drei sommerlichen strahlungsächtlichen



(4) Messfahrzeug der Abteilung Angewandte Klimatologie und Landschaftsökologie der Universität Essen zur Erfassung meteorologischer und lufthygienischer Komponenten.

Messfahrten gemittelte und chronologisch korrigierte Verteilung der bodennahen Lufttemperatur mit einem maximalen Temperaturunterschied von 6,0 K. Danach bilden sich in den beiden Stadtzentren (s. Station 1 und 2) die Bereiche größter Überwärmung aus, so dass die zweiker-nige Wärmeinsel zu erkennen ist. Daneben weisen die Nebenzentren und die Bereiche mit hoher Siedlungsdichte ebenfalls deutliche Überwärmungen auf. Niedrige Temperaturen zeigen die nördlichen und südwestlichen Randbereiche des Stadtgebietes sowie der östliche Teil der Emscherniederung.

Die Ergebnisse von Temperaturmessfahrten dienen zur flächenhaften Abgrenzung einzelner Räume nach thermischen Kriterien. Unter weiterer Verwendung flächenbezogener Klimafaktoren wie der Realnutzung und des Reliefs, können somit räumliche Abgrenzungskriterien zum Klimatopentwurf als Grundlage der synthetischen Klimafunktionskarte entwickelt werden.

Diese flächenhaften Aussagen spiegeln aufgrund der mobilen Datenerfassung lediglich eine Momentaufnahme des Stadtklimas wider. Zur statistischen Absicherung und weiteren Differenzierung der Ergebnisse werden zusätzliche Erkenntnisse z. B. über das tägliche und saisonale Verhalten der bodennahen Lufttemperaturverhältnisse benötigt. Die über ein Jahr kontinuierlich erfassten und zeitlich hochaufgelösten Messwerte der Klimafeststationen (3-Minuten-Mittelwerte) erzeugen einen Datenpool, der diesen Anforderungen entspricht.

Abbildung 6 zeigt dies exemplarisch anhand von klimatologischen Ereignistagen, die Aussagen darüber zulassen, wie häufig fest definierte Schwellenwerte, z. B. der Lufttemperatur, an den jeweiligen Stationsstandorten über- bzw. unterschritten werden.²⁵

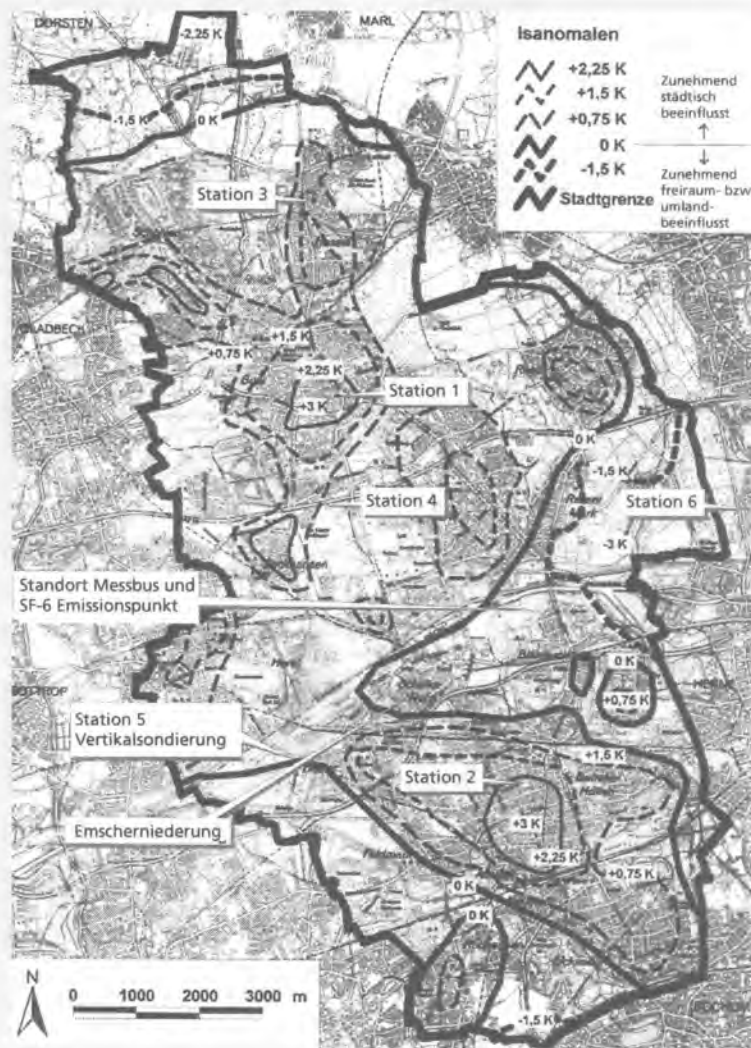
Danach ist die Anzahl der Ereignistage an den städtisch geprägten Flächen in den Wintermonaten im

Vergleich zu den Umlandstationen verringert, im Sommer dagegen erhöht. Die Ergebnisse sind auf die städtische Wärmeinsel zurückzuführen, die im gesamten Jahresverlauf eine positive Temperaturanomalie bewirkt. Im Winter resultiert daraus die geringere Anzahl an kalten Tagen sowie an Frost- und Heiztagen, mit der Folge einer Reduzierung des für die Raumheizung notwendigen Energieeinsatzes. Dagegen ist in städtischen Gebieten im Sommer mit einer Zunahme der Wärmebelastung für die Bevölkerung zu rechnen. Die Wirkung der städtischen Wärmeinsel ist somit als durchaus ambivalent anzusehen.

Atmosphärische Austauschverhältnisse

Die von West nach Ost verlaufende Emscherniederung im Untersuchungsgebiet ist aufgrund der überwiegend unversiegelten Oberflächen als großräumiger Kaltluftproduzent, in Verbindung mit ihrer tiefen Lage aber auch als Kaltluftammelgebiet anzusehen.

Daraus kann die Gefahr des Auftretens von Bodeninversionen resultieren, die den bodennahen atmosphärischen Austausch stark einschränken. Diesem bedeutenden Untersuchungsaspekt wird durch die Auswertung des Datenmaterials von



(5) Mess-Standorte und Verteilung der bodennahen Lufttemperaturdifferenzen (K) bezogen auf den Durchschnittswert von drei strahlungsnächtlichen Messfahrten innerhalb des Untersuchungszeitraums 01.11.1998 bis 31.10.1999 in der Stadt Gelsenkirchen. Quelle: W. Kuttler, A. Kref, S. Schaefers, A.-B. Barlag: Gesamtstädtische Klimaanalyse Gelsenkirchen, Endbericht, durchgeführt im Auftrag der Stadt Gelsenkirchen, Umweltamt (unveröffentlicht), Essen 2000, verändert

		Stadt		Vorort	Umland		Halde	
Winter	Ereignistage	Definition	St. 1: Buer	St. 2: Schalke	St. 3: Hassel	St. 4: Sutum	St. 5: Nord- sternpark	St. 6: Hoppenbruch
		Frosttage	$t_{\min} \leq 0^{\circ}\text{C}$	36	33	57	44	23
	kalte Tage	$t_{\text{mit}} < 0^{\circ}\text{C}$	19	17	21	20	21	23
Sommer	Heiztage	$t_{\text{mit}} < 15^{\circ}\text{C}$	238	236	255	247	254	241
	warme Tage	$t_{\text{mit}} \geq 20^{\circ}\text{C}$	49	47	25	32	31	34
	Sommertage	$t_{\max} > 25$	47	45	39	40	37	38
	heiße Tage	$t_{\text{mit}} \geq 30^{\circ}\text{C}$	14	8	10	7	6	11
	Grillpartytage	$t_{21\text{h}} > 20^{\circ}\text{C}$	50	43	22	36	34	34
	heiße Nächte	$t_{0\text{h}} > 20^{\circ}\text{C}$	21	15	5	10	8	13

(6) Anzahl klimatologischer Ereignistage im Stadtgebiet von Gelsenkirchen. Messzeitraum: 01.11.1998 bis 31.10.1999.

Quelle: W. Kuttler, A. Kreft, S. Schaefers, A.-B. Barlag: Gesamtstädtische Klimaanalyse Gelsenkirchen, Endbericht, durchgeführt im Auftrag der Stadt Gelsenkirchen, Umweltamt (unveröffentlicht), Essen 2000, verändert

zwei in unterschiedlichen Geländehöhen installierten Klimastationen sowie durch die Interpretation der Ergebnisse von Fesselballonaufstiegen nachgegangen.

Ein Vergleich der Schwellenwerte (Abb. 6), die am tiefstgelegenen Standort im Nordsternpark (Station 5, Emscherniederung, 36 Meter ü. NN) und am Höhenstandort auf der Halde Hoppenbruch (Station 6, 102 Meter ü. NN) aufgezeichnet wurden, lässt anhand der auf der Halde registrierten geringeren Anzahl an Frost- und Heiztagen für den Winter sowie der in der Höhe häufiger auftretenden „heißen Nächte“ im Sommer, erkennen, dass sich in der Emscherniederung ganzjährig Bodeninversionen ausbilden können. Weitere Datenanalysen ergaben, dass innerhalb des Messzeitraumes etwa zu 50 Prozent des Jahres nächtliche Inversionen auftraten.

Abbildung 7 enthält auszugsweise Vertikalprofile der Lufttemperatur aus sommerlichen Vertikalsondierungen, die bis zu einer Höhe von über 500 Metern ü. Gr. dargestellt sind. Danach sind die stärksten Gradienten unterhalb von 50 Metern ü. Gr. zu erkennen. Mit fortschreitender Nacht bauen sich jedoch Bodeninversionen bis zu 200 Metern ü. Gr. auf, wodurch die bodennahe

Mischungsschicht stark reduziert wird.

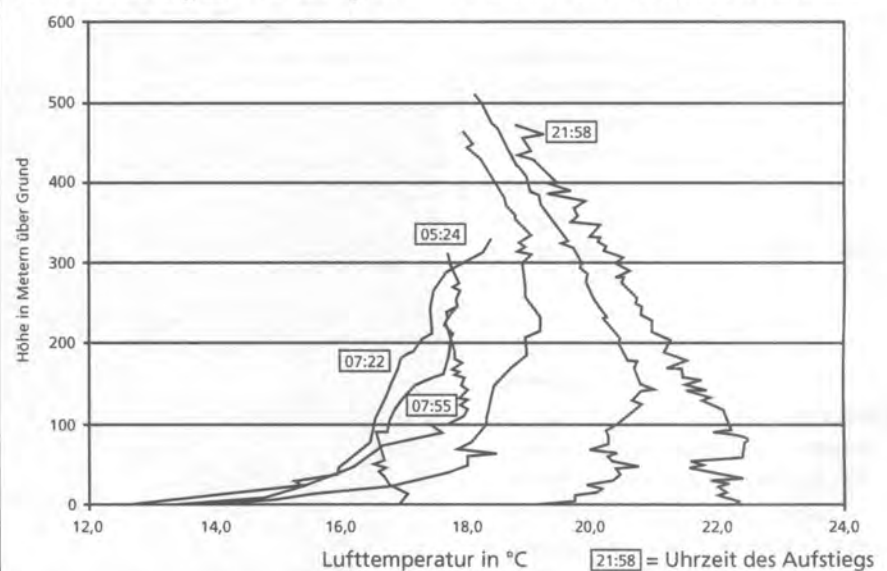
Für Planungsbelange folgt daraus, dass innerhalb der Emscherniederung die bodennahe Freisetzung von Luftverunreinigungen nur bedingt zugelassen werden sollte.

Kaltluftdynamik

Mit den ambivalenten Auswirkungen der städtischen Wärmeinsel vergleichbar, kann auch der Kaltluft sowohl eine negative als auch posi-

tive Auswirkung auf das Stadtklima zugeschrieben werden.²⁶ Stagnierende Kaltluft führt, wie für die Emscherniederung dargestellt, zu verminderten Austauschverhältnissen, während bodennah in Siedlungsgebiete fließende Kaltluft zur Ventilation beiträgt, wodurch die Frischluftversorgung und der Abbau der nächtlichen Überwärmung möglich ist.

Zur Untersuchung der Kaltluftdynamik auf einer größtenteils unversiegelten Industriebrache erfolgte während einer extrem austauscharmen



(7) Ausgewählte Vertikalprofile der Lufttemperatur in Gelsenkirchen. Datenbasis: nächtliche Fesselballonsondierungen (17./18.06.1999) im Nordsternpark (Station 5). Quelle: W. Kuttler, A. Kreft, S. Schaefers, A.-B. Barlag: Gesamtstädtische Klimaanalyse Gelsenkirchen, Endbericht, durchgeführt im Auftrag der Stadt Gelsenkirchen, Umweltamt (unveröffentlicht), Essen 2000, verändert

Strahlungsnacht eine unter Einsatz des Tracers Schwefelhexafluorid (SF_6) durchgeführte Kaltluftausbreitungskampagne.

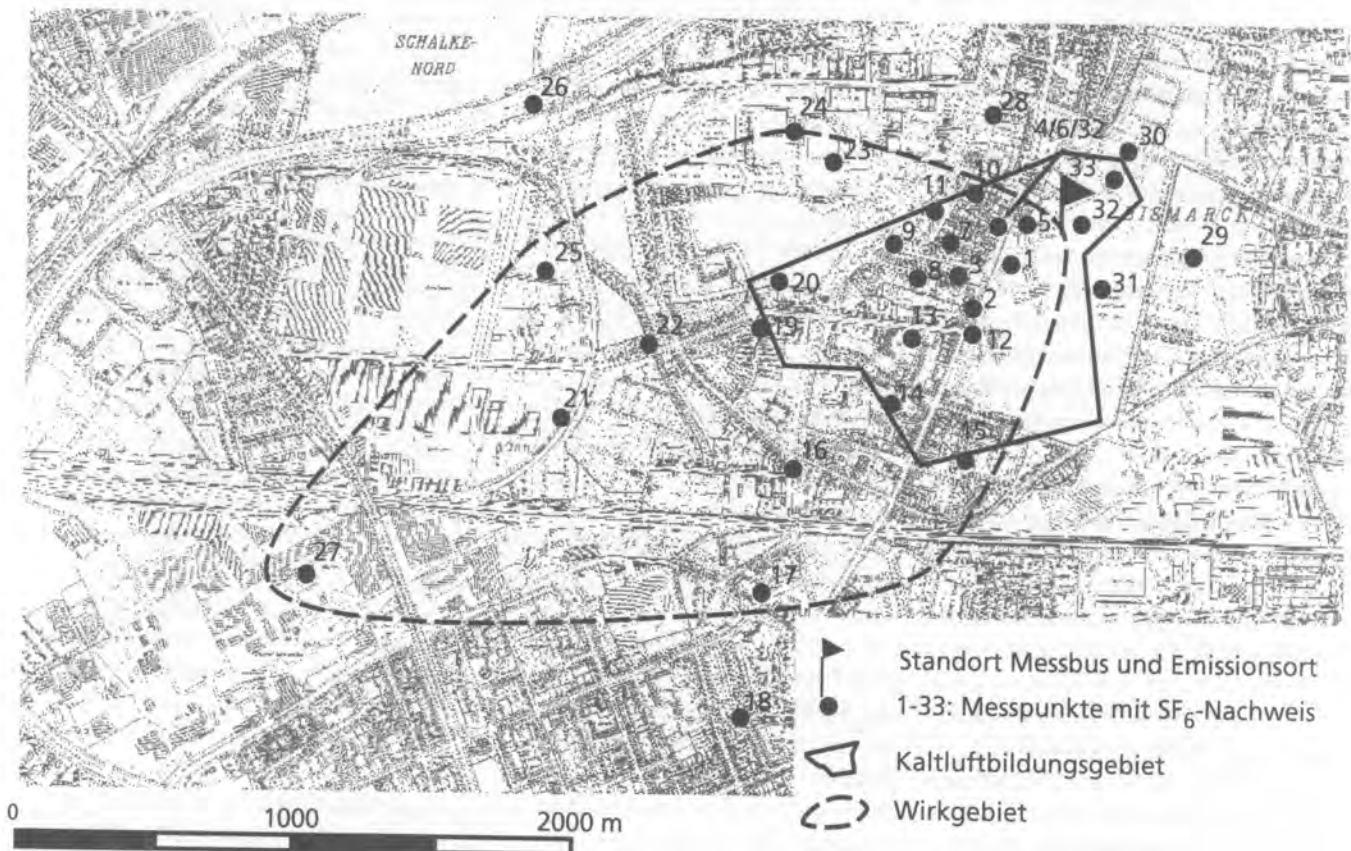
Abbildung 8 zeigt das mit diesem Tracer nachgewiesene Kaltluftausbreitungsgebiet, welches vom SF_6 -Emissionspunkt im östlichen Teil der zu beurteilenden Fläche, dem geringen Gefälle folgend, etwa drei Kilometer nach Südwesten reicht. Bei einer Größe der Industriebrache von 90 Hektar, die aufgrund der unversiegelten Oberfläche als Kaltluftproduktionsgebiet anzusehen ist, weist die Kaltluftausbreitung ein planungsrelevantes Wirkgebiet von etwa 360 Hektar auf. Zur Überprüfung der Luftqualität der transportierten Kaltluft wurde innerhalb des entsprechenden Ausbreitungsbereiches eine lufthygienische Standmessung bei schwachen östlichen Winden vorgenommen. Als mögliche Verursacher von Kaltluftverunreinigungen kamen

im Osten und Südosten des Plangebietes entlangführende Straßen als Linienquellen in Frage. Daher wurden insbesondere die kfz-bürtigen Spurenstoffe CO , NO , NO_2 und O_3 minütlich sowie BTX (Benzol, Toluol, Xylole) halbstündlich erfasst und zur Darstellung eines Tagesganges zu Stundenmittelwerten weiterverarbeitet. Anhand des täglichen Konzentrationsverlaufes der leicht flüchtigen Kohlenwasserstoffe (VOC) mit Maximalwerten zwischen 13.00 Uhr und 16.00 Uhr bzw. 18.00 Uhr, konnten die genannten Linienquellen als Verunreiniger der abfließenden Kaltluft ausgeschlossen werden, da diese ausschließlich nachts auftritt.

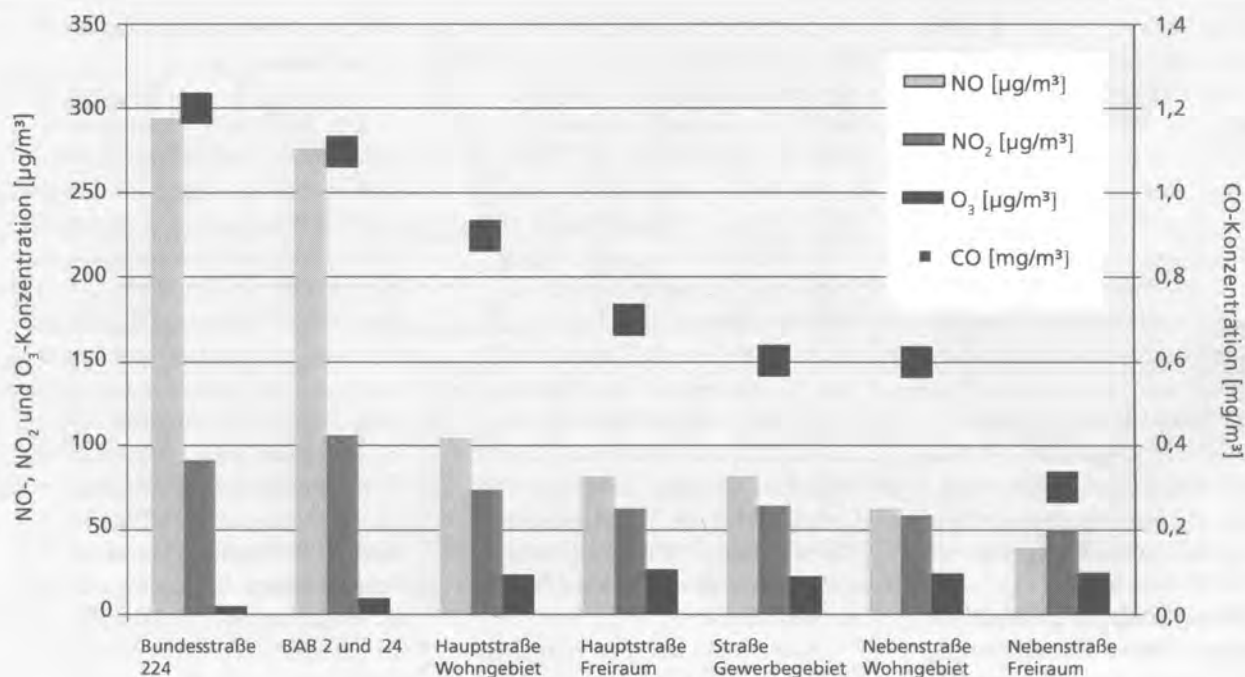
Somit kann der unversiegelten Industriebrache die Klimafunktion „Kaltluftproduktion“ zugesprochen werden, die durch die nachgewiesene großflächige Kaltluftausbreitung mit einer unkritischen Luftqualität Planungsrelevanz erlangt.

Lufthygienische Situation im Straßenraum

Für die Erstellung einer synthetischen Klimafunktionskarte werden Aussagen zum Flächenbezug benötigt. Dies bezieht sich auch auf lufthygienische Komponenten, vor allem auf diejenigen, die bodennahen Quellen entstammen. Die Anzahl der Luftqualitätsüberwachungsstationen des Landesumweltamtes NRW weisen eine ihrer Aufgabenstellung der Landesüberwachung entsprechende geringe räumliche Auflösung auf (69 Stationen in NRW, 25 Stationen im Ruhrgebiet, eine Station in Gelsenkirchen) und können somit nur ungenügende Eingangsdaten für die geforderte hohe räumliche Auflösung liefern. Eine auf den Flächenbezug ausgerichtete Methode stellt dagegen die mobile Aufnahme von Horizontalprofilen dar, deren Routenföhrung die repräsentative Flächennutzungsstruktur einer Stadt



(8) Kaltluftausbreitungskampagne mittels Schwefelhexafluorid (SF_6) in Gelsenkirchen in der Nacht vom 04./05.11.1999. Quelle: W. Kuntler, A. Krefz, S. Schaefers, A.-B. Barlag: Gesamtstädtische Klimaanalyse Gelsenkirchen, Endbericht, durchgeführt im Auftrag der Stadt Gelsenkirchen, Umweltamt (unveröffentlicht), Essen 2000, verändert



(9) Darstellung mittlerer Immissionskonzentrationen verschiedener kfz-bürtiger Spurenstoffe für unterschiedliche Straßentypen Gelsenkirchens. Datenbasis: Streckenabschnittsmittelwerte der lufthygienischen Profilmessfahrten vom 16.06.; 08.07.; 24.08.; 02.09.1999 jeweils zwischen 10.00 und 16.00 Uhr.

Quelle: W. Kuttler, A. Kreft, S. Schaefers, A.-B. Barlag: Gesamtstädtische Klimaanalyse Gelsenkirchen, Endbericht, durchgeführt im Auftrag der Stadt Gelsenkirchen, Umweltamt (unveröffentlicht), Essen 2000, verändert

berücksichtigt. Die während der Fahrt im 1-Sekunden-Takt aufgenommenen Komponenten CO, NO, NO₂ und O₃ wurden für charakteristische Straßenzüge zu Streckenabschnittsmittelwerten verarbeitet und auf eine Kartengrundlage nach indizierten Konzentrationsstufen klassifiziert aufgetragen. Somit ergeben sich Bewertungsmöglichkeiten der Immissionsituation anhand eines linienhaften Raummusters der erfassten kfz-relevanten Spurenstoffe.²⁷

Als zusammenfassendes Ergebnis der insgesamt 470 lufthygienisch quantifizierten Streckenabschnitte zeigt Abbildung 9 eine Darstellung der mittleren Immissionsituation für typische Straßenzüge Gelsenkirchens.

Erwartungsgemäß weisen Autobahnen und Bundesstraßen die höchsten CO-, NO- und NO₂-Konzentrationen auf, gefolgt von Hauptstraßen in Wohngebieten. Die niedrigsten Spurenstoffwerte werden auf Nebenstraßen in Gewerbegebieten sowie auf Nebenstraßen innerhalb

städtischer Freiräume beobachtet. Dem chemischen Verhalten des sekundären Spurenstoffes O₃ entsprechend, sind dessen Konzentrationen, bezogen auf die dargestellten Straßentypen, gegenläufig.²⁸

Dieses grob aufgelöste Immissionsmuster variiert nach lokalem bzw. täglichem Verkehrsaufkommen und darüber hinaus in erheblichem Maße nach den durch die Straßendrandbebauung beeinflussten Austauschverhältnissen. Daher ist eine weitere räumliche Differenzierung der Immissionsituation in o. g. Streckenabschnitte sinnvoll.

Die für das Fallbeispiel auszugsweise und komprimiert dargestellten Untersuchungsergebnisse ergeben unter weiterer Berücksichtigung detaillierter Angaben zu den Wind- und Luftfeuchtigkeitsverhältnissen sowie zur human-bioklimatischen Situation fundierte Aussagen zum raum-zeitlichen Gefüge des Stadtklimas und der lufthygienischen Situation Gelsenkirchens, die eine Beurteilung des Ist-Zustandes zulassen und die Erstellung eines Maß-

nahmenkataloges als Entscheidungshilfe für stadtplanerische Belange ermöglichen.

Synthetische Klimafunktionskarte und Planungshinweiskarte

Die Integration stadtklimatischer Erkenntnisse in den Planungsvollzug mit dem Ziel der Sicherung positiver klimatischer Funktionen bzw. der Minimierung von stadtklimatischen Negativerscheinungen innerhalb einzelner Flächennutzungsstrukturen erfolgt über das Medium Karte, um der Priorität des Raumbezuges bei kommunalen Planungsmaßnahmen gerecht zu werden.²⁹ Die Maßstabsgröße der thematischen Karten wie der Synthetischen Klimafunktionskarte bzw. der Planungshinweiskarte lehnt sich sinnvollerweise an den Maßstab der von Planungsbehörden verwendeten Karten an, in die die Ergebnisse von bzw. Bewertungen durch Stadtklimaanalysen einfließen.³⁰ In der Regel ist das der für die vorbereitende Bauleitplanung aufzustellende Flächennutzungsplan.

- 1
- **Innenstadtklimatop:** Sehr stark urban geprägt, hoher Anteil versiegelter Flächen, sehr deutliche nächtliche Überwärmung, stark eingeschränkte Austauschverhältnisse, erhöhte Belastung durch Kfz-Verkehr.
 - **Klimatop der verdichteten städtischen Siedlungsbereiche und Nebenzentren:** Dominanz der Bebauung gegenüber den Freiflächen, deutliche nächtliche Überwärmung, eingeschränkte Austauschverhältnisse, teilweise erhöhte Verkehrsbelastung.
 - **Klimatop des äußeren geschlossenen Siedlungsbereichs und der Nebenzentren:** Aufgelockerte Bebauung, höherer Frei- und Grünflächenanteil, mäßige nächtliche Überwärmung, teilweise eingeschränkte Austauschverhältnisse.
 - **Stadtrandklimatop:** Übergangsbereich von mehr oder weniger geschlossener Bebauung zum städtisch beeinflussten Freiraum, hoher Anteil von Frei- und Grünflächen, ausgeglichenes nächtliches Lufttemperaturniveau, in der Regel gute Austauschverhältnisse, bei unversiegelten Oberflächen potenzielles Kaltluftproduktionsgebiet.
 - **Klimatop des städtisch beeinflussten Freiraums:** Überwiegend unversiegelte Oberflächen mit geringer Rauigkeit, zunehmende Ausbildung des Umlandklimas, ausgeprägte Tagesgänge der Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit, kühle nächtliche Lufttemperaturen, gute Austauschverhältnisse, bei unversiegelten Oberflächen potenzielles Kaltluftentstehungsgebiet.
 - **Klimatop der landschaftlich geprägten Freiräume:** Umlandgeprägtes Klimatop, überwiegend unversiegelte Oberflächen, gute Austauschverhältnisse, stark ausgeprägte Tagesgänge der Lufttemperatur und Luftfeuchte, kaltes nächtliches Lufttemperaturniveau, bei unversiegelten Oberflächen potenzielles Kaltluftentstehungsgebiet.
 - **Gewässerklimatop:** Wasserkörper mit thermisch ausgleichender Wirkung und sehr geringer Rauigkeit.
 - **Klimatop der Industrie- und Gewerbegebiete:** Hoher Anteil versiegelter Freiflächen, Freisetzung produkt- bzw. prozessbedingter Spurenstoffe und Abwärme, vielfach erhöhter Schwerlastverkehr.
 - **Waldklimatop:** Größere Wald- bzw. Forstgebiete, Bestandsklima: stark gedämpfter Tagesgang der Lufttemperatur und der Luftfeuchtigkeit; Frisch- und Kaltluftproduktionsflächen mit Filterfunktion für atmosphärische Spurenstoffe.
 - **Regionaler Grünzug:** Zusammenhängende Grünzüge im Westen und Osten Gelsenkirchens mit klimatischen und lufthygienischen Ausgleichs- und Vernetzungsfunktionen.
 - **Erhöhte Inversionsgefahr:** Tiefstgelegener Bereich im Untersuchungsgebiet entlang der Emscher bzw. entlang des Rhein-Herne-Kanals.
 - **Nachgewiesene Kaltluftproduktionsgebiete:** Weitgehend unversiegelte Oberflächen ermöglichen effektive Ausstrahlung und führen zur Produktion bodennaher Kaltluft, die über geeignete Luftleitbahnen zur Belüftung/Abkühlung überbauter Gebiete transportiert werden kann.
 - **Kaltluftsammlgebiete:** Hohe Kaltluftproduktion oder fehlende Luftleitbahnen bzw. Strömungshindernisse können zu Kaltluftstauung führen, bei bodennahen Emissionsquellen (z. B. Kfz-Verkehr) sind Spurenstoffanreicherungen möglich.
 - **Nachgewiesene Luftleitbahnen:** Geringe Rauigkeiten und breiter Querschnitt ermöglichen Luftaustausch auch während windschwacher Strahlungswetterlagen.
 - **Nachgewiesene Kaltluftflüsse:** Kaltluftabfluss zur Ventilation von Siedlungsgebieten.
 - **Luftbelastung durch Kfz-Verkehr:**
Mäßig
Hoch
Sehr hoch

Die Synthetische Klimafunktionskarte der Gesamtstädtischen Klimaanalyse Gelsenkirchen, die im Maßstab 1:20.000 erstellt wurde, ist im Sinne einer differenzierten Bewertung in die nachfolgend genannten Ebenen gegliedert:

- (1) Abgrenzung von Klimatopen mit dem Ziel der flächenhaften Differenzierung von Räumen, die ähnlich auftretende klimatisch-lufthygienische Merkmale aufweisen (z. B. Innenstadtklimatop)
- (2) Darstellung von klimatopübergreifenden Flächen, denen definierte Klimafunktionen zugesprochen werden können (z. B. Kaltluftproduktionsgebiet)
- (3) Ausweisung von punktuell auftretenden Phänomenen (z. B. Windfeldveränderungen durch Bebauungsstrukturen)
- (4) Markierung lufthygienisch auffälliger Straßenabschnitte bezogen auf die kfz-bürtigen Spurenstoffe NO, NO₂ und CO (z. B. Streckenabschnittsmittelwerte).

Die kartographischen Kriterien der Synthetischen Klimafunktionskarte gelten auch für die Planungshinweiskarte. Der inhaltliche Schwerpunkt liegt bei dieser Karte in der Ausweisung und flächenhaften Abgrenzung von:

- (1) Stadtklimatischen Lasträumen (z. B. Förderung der Be- und Entlüftung)
- (2) Stadtklimatischen Ungunsträumen (z. B. Verzicht auf weitere Versiegelung)
- (3) Übergangsbereichen von Last- zu Ausgleichsräumen (z. B. Vernetzung von Flächen mit Klimafunktionen fördern)
- (4) Ausgleichsräumen mit der Funktion der Klimamelioration für angrenzende Räume (z. B. Kaltluftabflussbahnen vom Quell- zum Wirkgebiet erhalten).

Aus Gründen des Umfangs sowie der in den Originalkarten enthaltenen Farbgestaltung erfolgt hier lediglich eine gekürzte Wiedergabe der Legendentexte zur Synthetischen Klimafunktionskarte und zur Planungshinweiskarte (Abb. 10, 11).

(10) Legende für die Synthetische Klimafunktionskarte Gelsenkirchen (I).
Quelle: verändert nach: Kutler, Kref, Schaefer, Barlag: Gesamtstädtische Klimaanalyse Gelsenkirchen, Endbericht, 2000

II

- **Stadtklimatischer Lastraum:** Förderung der Be- und Entlüftung, Vernetzung mit den Ausgleichsräumen der Regionalen Grünzüge, Steigerung des Grünflächenanteils, Einsatz von Dach- und Fassadenbegrünung, Blockinnenhofentkernung, keine weitere Verdichtung der Bebauung und des Kfz-Verkehrs, Auflockerung der Randbebauung und Emissionsminderung, insbesondere in Straßen mit eingeschränkten Austauschbedingungen (Straßenschluchten).
- **Industrieklimatischer und gewerblicher Lastraum:** In aktiv genutzten Gebieten Erhöhung des Frei- und Grünflächenanteils, wenn möglich Reduzierung insbesondere des Schwerlastverkehrs, Gewerbe- und Industriebrachen möglichst weitgehend entsiegeln und bei zukünftigen Stilllegungen auf Vernetzungspotenzial zwischen Last- und Ausgleichsräumen achten.
- **Stadtklimatischer Ungunstraum:** Förderung des Luftaustausches in den Kernen der Nebenzentren, auf weitere Versiegelung möglichst verzichten, bei weiterer Verdichtung der Bebauung Frei- und Grünflächenanteil erhalten (Dach- und Fassadenbegrünung, Straßenraumbegrünung), Blockinnenhofentkernung, keine Vollversiegelungen, sondern Versickerung und Verdunstung ermöglichen, wenn möglich Minderung der Kfz-Emissionen.
- **Übergang zwischen Last- und Ausgleichsräumen:** Bei weiteren Bebauungsmaßnahmen auf Vernetzungsfunktionen der betreffenden Flächen achten, vorhandene Bebauungsstrukturen wenn möglich in Teilen entsiegeln um Versickerung von Niederschlägen und Verdunstung zu ermöglichen, Grün- und Freiflächenanteil möglichst erhalten bzw. ergänzen.
- **Klimatischer Ausgleichsraum (terrestrisch):** Stadt- und immissionsklimatisches Ausgleichspotenzial erhalten und ausbauen, keine weiteren Versiegelungen, keine weiteren Emissionsquellen, bei unvermeidbaren Bebauungsmaßnahmen keine Riegelbildungen zulassen, Offenhalten bestehender Luftleitbahnen, keine geschlossenen künstlichen Oberflächen, möglichst großflächige Versickerung und Verdunstung ermöglichen, nach Möglichkeit Schaffung neuer Be- und Entlüftungsschneisen, um die Vernetzung mit stadtklimatischen Lasträumen zu verbessern, bestehende Strömungshindernisse beseitigen oder auflockern.
- **Klimatischer Ausgleichsraum (hygrisch):** Keine abriegelnden Randbebauungen zulassen, bestehende Strömungshindernisse beseitigen oder auflockern.
- **Wald bzw. Forstgebiete:** Erhalt und Erweiterung der vorhandenen Flächen, positive Wirkungen (Filterfunktion oder Kaltluftproduktion) durch geeignete Luftleitbahnen zu den stadtklimatischen Last- und Ungunsträumen sicherstellen bzw. schaffen.
- **Regionaler Grünzug:** Erhalt und Erweiterung des bestehenden Frei- und Grünflächenanteils, keine weitere Bebauungsverdichtung oder Flächenversiegelung, keine weiteren Emittenten, kein Ausbau des bestehenden Straßennetzes bzw. Steigerung des Kfz-Verkehrs.
- **Austausch und Vernetzungsfunktion fördern bzw. herstellen:** Austausch fördern, Vernetzungsfunktionen durch Schaffung bzw. Freihalten von Luftleitbahnen ermöglichen bzw. erhalten.
- **Bestehende Strömungshindernisse:** Strömungshindernisse beseitigen oder auflockern um Luftaustausch zu ermöglichen bzw. zu verbessern.
- **Nachgewiesene Luftleitbahn:** Emscherniederung als Be- und Entlüftungsschneise erhalten, keine quer zur Strömungsrichtung verlaufende Bebauung (Riegelbildung), keine weiteren Emittenten, Verbindungsfunktion zwischen den Ausgleichsräumen der Regionalen Grünzüge erhalten bzw. ausbauen, Luftaustausch in die angrenzend bebauten Gebiete verbessern.
- **Immissionsschutz einrichten:** Soweit noch nicht vorhanden Immissionsschutz vor Kfz-bürtigen Spurenstoffen einrichten (Immissionsschutzpflanzungen bzw. bei geringem Platzangebot Immissionsschutzwälle).

(11) Legende für die Planungshinweiskarte Gelsenkirchen (II).
Quelle: verändert nach: Kuttler, Krefit, Schaefers, Barlag: Gesamtstädtische Klimaanalyse Gelsenkirchen, Endbericht, 2000

Deutlich wird der durch Kausalverknüpfung beider Legendentexte entstandene raumbezogene Informationsgehalt, der zur Integration stadtklimatischer Belange in den kommunalen Planungsprozess notwendig ist.

Ausblick

Die digitale Erstellung der beschriebenen Karten ermöglicht die Aggregation der darin enthaltenen Informationen in das von Stadtplanungsbehörden häufig eingesetzte Geographische Informationssystem (GIS). Geographische Informationssysteme haben sich auch in der Stadtklimatologie als bedeutende Werkzeuge etabliert, da dadurch die flächenhafte Differenzierung der bodennahen klimatischen Verhältnisse in Verbindung mit den räumlichen Strukturen der Geofaktoren erfasst, erklärt und dargestellt werden kann.³¹

Dem interdisziplinären Informationsbedarf der Stadtplanung gerecht werdend, können durch GIS-implementierte Eingangsdaten die Untersuchungsergebnisse, Bewertungen und Planungshinweise von Stadtklimaanalysen weiteren Fachebenen zugeführt werden und gegebenenfalls in kommunale Umweltinformationssysteme einfließen. Im Sinne einer integrierend ausgerichteten Stadtökologie, deren Ziel es ist, die Lebensqualität in Städten zu verbessern³², kommt dem Trend der interdisziplinären Betrachtungsweise kommunaler Planungsstrategien und deren Unterstützung durch die beteiligten Fachdisziplinen große Bedeutung zu.

Summary

Using the Ruhr valley as an example, this paper deals with the basic principles of urban climatology and demonstrates the differences between conurbations and other areas in terms of various physical and chemical parameters.

The most common measuring methods used for urban climate studies are also presented. There are a number of stages in the process of obtaining climatic and air hygiene data for specific areas. Examples of this procedure are described.

In a further part of the paper, an overall climatic analysis is put forward. The Department of Applied Climatology, University of Essen, recently completed this survey for the city of Gelsenkirchen.

Literatur

- 1) A. Kratzer: Das Stadtklima. Vieweg, Braunschweig 1937.
- 2) Baugesetzbuch (BauGB), Bundesgesetzblatt 8/97, Bonn 1997.
- 3) Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG), Bundesgesetzblatt 5/90, Bonn 1990.
- 4) Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz (UVPG), Bundesgesetzblatt 9/01, Bonn 2001.
- 5) Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG), Bundesgesetzblatt 9/98, Bonn 1998.
- 6) 23. Bundesimmissionsschutzverordnung (23. BImSchV), Bundesgesetzblatt 12/96, Bonn 1996.
- 7) Wärmeschutzverordnung (WSchV), Bundesgesetzblatt 8/94, Bonn 1994.
- 8) W. Kuttler, S. Schaefer: On the Detection of Intra-Urban Global Radiation Differences by Mobile Measurements. In: Proc. of 3rd Symp. on the Urban Environment, 14. - 18. Aug. 2000, AMS, Davis, California 2001 p. 147-148.
- 9) W. Kuttler: Stadtklima. In: Guderian, R. (Hrsg.): Handbuch der Umweltveränderungen und Ökotoxikologie, Band 1B, Atmosphäre. Springer, Heidelberg 2000, S. 420-470.
- 10) W. Kuttler, T. D. Wacker: Analyse der urbanen Luftqualität mittels mobiler Messungen. In: Österreichische Beiträge zur Meteorologie und Geophysik, H. 27 / Publ.-Nr. 399, Wien 2001.
- 11) A.-B. Barlag, W. Kuttler: The Significance of Country Breezes for Urban Planning. In: Energy and Buildings 15-16, Vol. 2, Lausanne 1991, p. 291-297.
- 12) A. Matzarakis, H. Mayer: Mapping of Urban Air Paths for Planning in Munich. = Wissenschaftliche Berichte des Instituts für Meteorologische Klimaforschung, 16, Universität Karlsruhe 1992, S. 13-22.
- 13) H. Mayer, W. Beckröge, A. Matzarakis: Bestimmung von stadtklimarelevanten Luftleitbahnen. In: UVP-Report, 5, Hamm 1994, S. 265-268.
- 14) M. Schütz: Anthropogene Niederschlagsmodifikationen im komplex-urbanen Raum - Ergebnisse einer Untersuchung im Ruhrgebiet. In: Geowissenschaften, 6, 1996, S. 249-252.
- 15) N. J. Tapper: Urban influences on boundary layer temperature and humidity: Results from Christchurch, New Zealand. In: Atmospheric Environment, Vol. 24 B, 1/1990, p. 19-27.
- 16) M. Sachweh: Klimatologie winterlicher autochthoner Witterung im nördlichen Alpenvorland. = Münchener Geographische Abhandlungen, Reihe A, Bd. A 45, München 1992.
- 17) A. Rühling, A. Lohmeyer: Multitracer-Technik zur Untersuchung überlagerter Kaltluftsysteme. = Wiss. Mitteilungen des Instituts für Meteorologie der Univ. Leipzig und Institut für Troposphärenforschung, Bd. 13, Leipzig 1999, S. 93-97.
- 18) W. Kuttler: Aspekte der angewandten Stadtklimatologie. In: Geowissenschaften, 6, Westermann 1996, S. 221-228.
- 19) A. Grätz, G. Jendritzky: Bewertung des Klimas in städtischen Gebieten mit Hilfe von UBIKLIM. In: UVP-Report 1, Hamm 1998, S. 17-19.
- 20) VDI-Richtlinie 3787, Bl. 2: Umweltmeteorologie - Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lüfthygiene für die Stadt- und Regionalplanung. VDI-Verlag, Düsseldorf 1998.
- 21) W. Kuttler: Human-biometeorologische Bewertung stadtklimatologischer Erkenntnisse für die Planungspraxis. = Wiss. Mitteilungen des Instituts für Meteorologie der Univ. Leipzig und dem Institut für Troposphärenforschung, Bd. 13, Leipzig 1999, S. 100-115.
- 22) VDI-Richtlinie 3787, Bl. 1: Umweltmeteorologie - Klima- und Lüfthygienekarten für Städte und Regionen, VDI-Verlag, Düsseldorf 1997.
- 23) P. Stock, W. Beckröge, A.-B. Barlag: Klimaanalyse Stadt Bochum. Stadt Bochum (Hrsg.), Bochum 1991.
- 24) W. Kuttler, A. Kreft, S. Schaefer, A.-B. Barlag: Gesamtstädtische Klimaanalyse Gelsenkirchen, Endbericht, durchgeführt im Auftrag der Stadt Gelsenkirchen, Umweltamt (unveröffentlicht), Essen 2000.
- 25) P. Hupfer, W. Kuttler (Hrsg.): Witterung und Klima, 10. Auflage, Teubner, Leipzig 1998.
- 26) A.-B. Barlag: Stadtklima - Beispiel einer planungsorientierten Klimaanalyse. In: Geographie und Schule, 21. Jg., H. 118, Aulis 1999, S. 10-17/Karte im Anhang.
- 27) W. Kuttler, A. Straßburger: Analyse kfz-relevanter Immissionen in innerstädtischen Verkehrs- und Grünflächen. = FAT-Schriftenreihe Nr. 131, Frankfurt/Main 1997.
- 28) W. Kuttler, E. Zmarsly: Bodennahes Ozon - Entstehung, standortabhängige Tagesgänge und Minderungsmaßnahmen. In: Entsorgungspraxis 14 (5) 1996, S. 84-93.
- 29) A.-B. Barlag: Planungsrelevante Klimaanalyse einer Industriestadt in Tallage - dargestellt am Beispiel der Stadt Stolberg (Rhld.). = Essener Ökologische Schriften, Bd. 1, Westarp Wissenschaften, Magdeburg 1993.
- 30) H. Schirmer, W. Kuttler, J. Löbel, K. Weber (Hrsg.): Lüfthygiene und Klima - Ein Handbuch zur Stadt- und Regionalplanung. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN. VDI-Verlag, Düsseldorf 1993.
- 31) A. Helbig, J. Baumüller, M. J. Kerschgens (Hrsg.): Stadtklima und Luftreinhaltung, 2. vollständig überarbeitete und ergänzte Auflage, Springer, Berlin, Heidelberg, New York 1999.
- 32) R. Wittig, H. Sukopp: Was ist Stadtköologie? In: H. Sukopp, R. Wittig, (Hrsg.): Stadtköologie, 2. Aufl., Fischer, Stuttgart, Jena, New York 1998, S. 1-12.

Die Autoren

Wilhelm Kuttler studierte Physische Geographie mit dem Schwerpunkt Meteorologie und Klimatologie sowie Biologie an der Ruhr-Universität Bochum. Von 1976 bis 1985 war er am dortigen Geographischen Institut als wissenschaftlicher Assistent und Privatdozent tätig. 1978 erfolgte die Promotion über ein human-biometeorologisches Thema, 1984 die Habilitation zum Thema „Raum-zeitliche Analyse atmosphärischer Spurenstoffeinträge in Mitteleuropa“. Nach dem Ruf an die Universität Essen im Jahre 1986 richtete er den Lehrstuhl für Angewandte Klimatologie und Landschaftsökologie im Institut für Ökologie ein. Der Ruf auf den Lehrstuhl für Klimatologie an die Universität Trier im Jahre 1990 wurde abgewendet. In den Jahren 1993 bis 1996 bekleidete Kuttler das Ehrenamt des Präsidenten der Gesellschaft für Ökologie. Er ist langjähriger Mitarbeiter im VDI und im Rahmen dieser Tätigkeit Vorsitzender der Fachausschüsse zur Erstellung der Richtlinien „Lokale Kaltluft“ und „Berücksichtigung von Klima und Lüfthygiene in der Stadt- und Regionalplanung“ sowie Mitglied des Vorstandes des Fachbereiches II „Umweltmeteorologie“ in der Kommission „Reinhaltung der Luft“. Er ist darüber hinaus Vorsitzender des Fachausschusses „Umweltmeteorologie“ der „Deutschen Meteorologischen Gesellschaft“ (DMG).
Forschungsgebiete: Mikro- und Mesoklimatologie unter besonderer Berücksichtigung der angewandten Stadtklimatologie. Es liegen zahlreiche Veröffentlichungen zum genannten Forschungsbereich vor.

Andreas-Bent Barlag studierte Physische Geographie an der Ruhr-Universität Bochum mit dem Schwerpunkt allgemeine Klimatologie. Seit 1987 ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Angewandte Klimatologie und Landschaftsökologie des Institutes für Ökologie der Universität Essen. Dort wurde er 1992 zum Dr. rer. nat. promoviert. Im selben Jahr erhielt er die Stellung eines akademischen Rates und 1997 eines akademischen Oberrates in der genannten Abteilung. Seit 1993 ist er Schriftleiter der Essener Ökologischen Schriften und arbeitet vertiefend in der angewandten Stadtklimatologie.