

# Stadtklimatisches Flächenmanagement in der kommunalen Umweltplanung

## Urban Climatic Area Management in Local Environmental Planning

Dirk Düttemeyer,  
Andreas-Bent  
Barlag,  
Wilhelm Kuttler &  
Ulrich Axt-Kittner

Aufgrund des dynamischen Flächennutzungswandels urbaner Räume unterliegt das Stadtklima einem steten Wandel. Als besondere Ursachen sind die Ausuferung der Siedlungen in urbane Randbereiche („urban sprawl“) sowie die Wiedergewinnung ehemaliger Siedlungsflächen infolge des Phänomens der „schrumpfenden Städte“ zu nennen. Zur Verhinderung unkontrollierter Flächenumwidmungen bedarf es eines stadtklimatischen Monitoringwerkzeuges, das auf Basis objektiver, Maßzahlen basierender Indikatoren Nutzungsänderungen von Flächen klimaökologisch quantifiziert und im gesamtstädtischen Kontext bewertet. Für die Stadt Gelsenkirchen wurde ein Klimamanagementsystem entwickelt, das diesem Anspruch mit einfachen Mitteln nachkommt.

Zusammenfassung

The urban climate is subject to continuous change due to the dynamic of urban land-use change. Particularly noteworthy reasons are urban sprawl and the reclamation of former settlement areas due to the phenomenon of "shrinking cities". In order to prevent uncontrolled land-use changes, a tool for monitoring urban climate is needed which has to be based on objective indicators. It will be used to quantify and evaluate the effects of land-use changes on the urban climate. For the city of Gelsenkirchen, a climate management system has been developed which meets these requirements with very simple means.

Abstract

Gelsenkirchen; Stadtklima; Flächenverbrauch; Flächenrecycling; Bauleitplanung; Geo-Informationssysteme; Bewertungsmethoden

Schlagworte

Gelsenkirchen; Urban climate; Urban sprawl; Brownfield redevelopment; Land-use planning; Geographic information systems; Evaluation methods

Keywords

### **E** inleitung

In der kommunalen Umweltplanung sind seit vielen Jahren die Schutzgüter Klima und Luft besonders zu berücksichtigen (u. a. § 1 Abs. 6 Nr. 7 BauGB und § 2 Abs. 1 Nr. 2 UVPG). Da sich Städte gegenüber der freien Landschaft im Allgemeinen durch ein höheres thermisches Niveau („Städtische Wärmeinsel“) sowie erhöhte atmosphärische Spurenstoffbelastungen bei gleichzeitig reduzierten Durchlüftungsverhältnissen auszeichnen (Kuttler 2010a, b), ist es Aufgabe der Stadtplanung, derartige Mängel soweit wie möglich auszugleichen. Dieses bedingt nicht nur, Bauvorhaben klimagerecht zu gestalten, sondern im Gegenzug rurale und innerstädtische Frei- und Grünflächen mit ihren positiven Klimafunktionen zu erhalten bzw. zu fördern. Bei dieser Aufgabe sind zwei gegensätzliche Trends in der Flächenbeanspruchung erkennbar:

1. In den Kommunen ist ein kontinuierlicher Verbrauch unversiegelter, klimaökologisch wertvoller Flächen zu beobachten (BBSR 2011, UBA 2004). Dieses betrifft nicht nur die Umwandlung von Freiflächen in der städtischen Peripherie, die zur Ausuferung des Siedlungsbereiches („urban sprawl“ – Bruegmann

2005) führen, sondern auch Einzelfreiflächen innerhalb von Städten, die für sich nur geringe Auswirkungen auf das Stadtklima haben, in der Flächensumme jedoch wirksam sein können.

2. In „schrumpfenden Städten“ der Altindustrieregionen sowie in Städten mit Bevölkerungsrückgang (Oswald & Rieniets 2006) bestehen zahlreiche Brachflächen aufgegebener Industrie- und Wohngebiete, die bei entsprechender Gestaltung ein hohes Potenzial zur Stadtklimaverbesserung aufweisen (Kuttler 2010b, Düttemeyer et al. 2004).

Vor dem Hintergrund des vom IPCC (2007) projizierten thermischen Klimawandels gewinnt die dargestellte Problematik an Bedeutung, da über die bisherigen wetterlagenabhängig auftretenden stadtklimatischen Auswirkungen auf die Bevölkerung hinaus weitere human-biometeorologische Belastungen absehbar sind (Kuttler 2012). Dem Umgang mit klimaökologisch relevanten Flächen kommt somit eine immer größere Bedeutung zu.

### Hintergrund

Im Planungsprozess vollzieht sich der Flächenwandel in Form einzelner städtebaulicher Entscheidungen (z. B. Bebauungsplan), in denen die diversen Umwelt-

belange (u. a. das Schutzgut Klima) zwar jeweils im Rahmen der gesetzlichen Regelungen des BauGB oder des UVPG Berücksichtigung finden, die entsprechenden Verluste (z. B. an stadtklimatischen Ausgleichsflächen) oder Gewinne (z. B. Siedlungsrückbau oder Brachflächenrenaturierung) aber selten im gesamtstädtischen Kontext gesehen oder gar diesbezüglich quantitativ bilanziert werden („Salamitaktik“-Problem). Ferner ist die Kontrolle des Flächenverbrauchs über etablierte Werkzeuge wie z. B. die synthetischen Klimafunktionskarten (VDI RL 3787, Blatt 9, 2004) nicht immer möglich, da letztere statisch sind, auf relativ kleinen Maßstäben basieren und nicht immer zeitnah aktualisiert werden können. Wünschenswert ist daher ein Kontroll- und Bewertungswerkzeug, das für jede geplante Flächennutzungsänderung die aktuelle und objektive, Maßzahlenbasierte Beurteilung ihrer Relevanz für das Klima der jeweiligen Gesamtstadt erlaubt. Somit wäre es möglich, die weitere bebauungsbedingte Inanspruchnahme der verbleibenden urbanen Freiräume unter kontrollierten Bedingungen zu steuern und gegebenenfalls zu begrenzen.

Für die Stadt Gelsenkirchen wurde exemplarisch ein Klimamanagementsys-

Fachbeitrag

**Tabelle 1:** Klimatopklassifizierung nach VDI 3787 Blatt 1 (VDI 1997/2003) und erweiterte Klassifizierung

Klimatope nach VDI	Erweiterte Klimatopklassifizierung
Freiland	Acker
	Brache
	Wiese
Gartenstadt/Dorf	Gartenstadt/Dorf
Gewässer	Gewässer
Gewerbe	Gewerbe
Industrie	Industrie
Innerstädtische Grünfläche	Park
Stadtkern	Innenstadt
Stadttrand	Stadttrand
Verdichtete Bebauung	Verdichtete Bebauung
Wald	Laubwald
	Mischwald
	Nadelwald
Nicht dargestellt	Verkehrsfläche (normal)
Nicht dargestellt	Verkehrsfläche (übergeordneter Verkehr)
Nicht dargestellt	Versiegelte Fläche (ungenutzt)
Nicht dargestellt	Baumwiese

tem entwickelt, bei dem es sich um ein Geo-Informationssystem (GIS) basiertes Kataster zur Abfrage quantitativer Klimainformationen von Einzelflächen oder beliebigen Flächenkontingenten handelt. Die Klimainformationen werden aus der jeweiligen Flächennutzungsbeschreibung der Realnutzungskartierung (RNK) abgeleitet. Es handelt sich somit um ein Screeningmodell, um Flächen im Status quo oder bezüglich einer geplanten Nutzungsänderung klimaökologisch quantifizieren und bewerten zu können sowie klimawandelanpassungsbedürftige Flächen zu identifizieren und ggf. auf weitere notwendige Untersuchungsschritte (z. B. Erstellung von klimatischen Gutachten) oder Anpassungsmaßnahmen hinzuweisen.

Als besonderes Merkmal des Klimamanagementsystems ist hervorzuheben, dass es in jeder Kommune angewendet werden kann, die über eine großmaßstäbige Realnutzungskartierung und ein GIS verfügt. Somit ist das System auch für Kommunen geeignet, in denen klimatische Informationen zu einzelnen Flächen nicht vollständig vorliegen (Barlag & Kuttler 2009).

### Eigenschaften des Stadtklimamanagementsystems

Ziel des Stadtklimamanagementsystems ist die Charakterisierung und Bewertung von Klimaeigenschaften städtischer Flächen. Die klimatische Qualifizierung und Quantifizierung erfolgt über eine Maßzahl, die sowohl die thermischen und austauschrelevanten als auch die lufthygienischen Merkmale der jeweiligen Flächennutzungen objektiv berücksichtigt. Dieser als „Klimaqualität“ be-

zeichnete Indikator kann auf sämtliche Flächen angewendet werden. Darüber hinaus ist das Klimamanagementsystem in der Lage, Klimaqualitätsaussagen zu mehreren Flächen entweder zusammenfassend (Bilanzierung) oder in Relation zu anderen frei wählbaren Flächenkontingenten differenzierend zu treffen. Schließlich ist das Klimamanagementsystem in die Arbeitsumgebung des Anwenders durch Auswahl standardisierter Software (GIS) integrierbar.

Die Aufgaben und Inhalte des Klimamanagementsystems lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- ▶ Abfrage der Klimaqualität von Einzelflächen auf großer Maßstabsebene (Bebauungsplan-Ebene bzw. RNK) für sämtliche städtische Flächen,
- ▶ Quantitative Darstellung der Klimaqualität der einzelnen Flächen auf Grundlage objektiver Indikatoren,
- ▶ Möglichkeit der quantitativen, vergleichenden Analyse und Bewertung der Klimaqualität von frei definierbaren Flächenkontingenten,
- ▶ Möglichkeit von hypothetischen quantitativen, vergleichenden Ist-/Plan-Zustands-Bilanzierungen und Ermittlung der Größe von Ausgleichsflächen,
- ▶ Bereitstellung des Klimainformationssystems in der kommunalen Arbeitsumgebung (GIS).

### Methodik

#### Lokalisierung von Klimatopen

Das Klimamanagementsystem beruht auf der Abfrage von Klimainformationen von Flächen. Da sämtliche Flächen der Kommune einzubeziehen sind, bietet sich als Arbeitsgrundlage GIS an. Zwar kann das GIS konzeptbedingt keine atmosphäri-

schen Prozesse und dadurch bedingte Wechselwirkungen zwischen Flächen darstellen, wie beispielsweise Beziehungen zwischen Quell- und Wirkgebieten, Gunst- und Lasträumen und daran geknüpfte Ventilationsschneisen, Grünzüge, etc.. Auch reliefbedingte Klimamodifikationen, wie z. B. unterschiedliche Sonnenexpositionen an Hängen oder flächenübergreifende Kaltluftabflüsse, sind nicht darstellbar. Allerdings hat das GIS den Vorteil, dass die Klimaqualität sämtlicher kommunalen Flächen auf Basis amtlicher Kartengrundlagen flächenscharf dargestellt werden kann. Dieses gilt insbesondere auch für Flächen, über die bisher keine lokalklimatischen Informationen vorliegen.

Um das Klimamanagementsystem im Planungsalltag einsetzen zu können, müssen Aussagen zur Klimaqualität flächenscharf mindestens auf Bebauungsplan-Ebene bereitgestellt werden, da städtebauliche Anpassungsmaßnahmen auf dieser Maßstabsebene realisiert werden (MUNLV 2010). Der Bearbeitungsmaßstab beträgt 1:5.000 oder größer. Somit unterscheidet sich das Klimamanagementsystem grundlegend von synthetischen Klimafunktionskarten (VDI RL 3787, Blatt 1, 2003), die zum Zweck der gesamtstädtischen Übersicht auf dem Maßstab 1:10.000 bis 1:20.000 basieren und damit eine Generalisierung bezüglich der Klimatopabgrenzung aufweisen. Als geeignete Grundlage zur Flächendifferenzierung wird vielmehr die RNK herangezogen, die in den meisten Kommunen vorhanden ist.

Im nächsten Schritt sind die einzelnen Flächen der RNK mit Klimainformationen zu versehen. Nicht selten handelt es sich dabei um mehrere tausend Einzelflächen innerhalb der Gemeindegrenzen. So werden in Gelsenkirchen beispielsweise ca. 14.000 Einzelflächen ausgewiesen. Da nicht jede Einzelfläche klimatisch untersucht werden kann und soll, werden Flächenindikatoren benötigt, die sowohl flächendeckend vorliegen als auch die eindeutige Ableitung von flächenspezifischen Klimaeigenschaften erlauben. Als geeigneter Indikator gilt die Nutzungsklassifizierung der RNK, da aus der Flächennutzung auf das Mikroklima betreffender Areale geschlossen werden kann. Hierbei wird auf das Verfahren der „Klimatop“-Klassifizierung (VDI 3787, Blatt 1, 1997/2003) zurückgegriffen, das bereits zehn flächennutzungsbasierte Klimatoptypen mit jeweils typischen mikroklimatischen und lufthygienischen Merkmalen aufweist (s. Tab. 1).

Als Problem bei der Transformation der Klimatope auf die RNK ist zu nennen, dass diese 128 oder mehr Flächennutzungsarten unterscheidet. Der Lösungs-

ansatz liegt darin, dass die Flächennutzungsarten der RNK in 18 Klassen zusammengefasst werden und gleichzeitig die bisherige Klimatopklassifizierung nach VDI erweitert wird (Tab. 1). Bei den zusätzlichen Klimatotypen handelt es sich um Verkehrsflächen, die zumindest aus lufthygienischer Sicht genauso relevant sind wie Industriegebiete. Ferner werden „ungenutzte versiegelte Flächen“ als eigenes Klimatop definiert, da sie bis auf die thermische Komponente keine weiteren negativen Eigenschaften aufweisen. Die in der VDI-Richtlinie bereits definierten Klimatope „Freiland“ und „Wald“ sind die Klimatope mit dem höchsten, strahlungsächtlichen Kaltluftbildungspotenzial, bei dem die Kombination aus Bodenverhältnissen und Pflanzenbewuchs von großer Bedeutung ist. Daher werden diese beiden Klimatope weiter differenziert in Acker, Brache und Wiese bzw. in Laub-, Misch- und Nadelwald. Schließlich wird in Hinblick auf einen optimalen thermischen Komfort das Klimatop der Baumwiese definiert, das die positiven Eigenschaften von hoher Kaltluftproduktion, guten Austauschbedingungen und wärmebelastungsreduzierender Beschattung kombiniert.

Damit stehen zur klimatischen Flächenklassifizierung 18 Klimatope zur Verfügung, so dass die RNK-Nutzungsarten anhand ihrer Bezeichnung per Analogieschluss entsprechend gekennzeichnet werden können.

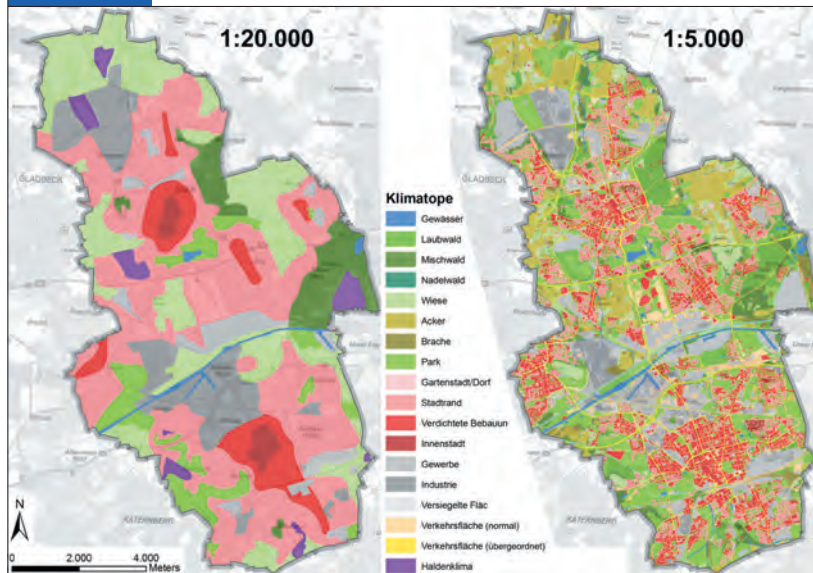
Als Ergebnis entsteht eine Karte (Abb. 1 rechts), welche die Strukturen einer typischen Klimafunktionskarte (Abb. 1 links) in einer wesentlich höheren Differenzierung wiedergibt.

**Quantifizierung der Klimaqualität**

Die Klimatopklassifizierung erlaubt eine qualitative klimatisch-lufthygienische Beurteilung einer Fläche, jedoch sind quantifizierende Aussagen damit noch nicht möglich, da entsprechende Maßzahlen fehlen. Aus Gründen der praktischen Anwendbarkeit im Planungsvollzug ist es sinnvoll, für jeden Klimatotyp zunächst nur eine Maßzahl zu benutzen, die den human-biometeorologischen Zustand eindeutig beschreibt. Dabei sollten die Wirkungskomplexe „Wärmebelastung“ und „Lufthygiene“ berücksichtigt werden.

In der Vergangenheit gab es vielversprechende Ansätze, den Wert der „Klimaqualität“ von Flächen zu bestimmen. Dabei wurden häufig objektive Erhebungsdaten aus der Klimatologie, Hydrologie, aber auch Klimafaktoren wie Bodeneigenschaften, Versiegelung und Bebauung, Grün- und Vegetationsmerkmale etc. berücksichtigt (z. B. Schulz 1983, Marks et. al. 1989). Dabei mündete die Flächenbewertung oftmals in Rangzah-

Abbildung 1: Vergleich zwischen typischer, FNP-basierter (links) und neuer, RNK-basierter (rechts) Klimafunktionskarte am Beispiel der Stadt Gelsenkirchen



len, deren Rangfolge nicht immer objektiv nachzuvollziehen ist. Ein anderes Problem ist der immense Umfang an Grundlagendaten (z. B. Pauleit & Duhme 1999), die oftmals nicht flächendeckend für eine Stadt vorliegen. Bei lückenhaften Flächendaten sowie bei Linien- und Punktdaten müssten dann die Informationen für nicht erfasste Flächen mittels statistischer Regression oder Analogieschlussbetrachtung übertragen werden. Gleiches gilt für hoch spezialisierte geometrische Gebäude- und Quartiersvermessungsverfahren (z. B. Stewart 2011), die zudem keine lufthygienischen Aspekte berücksichtigen.

Da auch für die Stadt Gelsenkirchen die in den zuvor genannten Studien benutzten Indikatoren zur Zeit der Bearbeitung nicht flächenhaft vorlagen, wer-

den hier aussagekräftige Kriterien herangezogen, welche in der Literatur bereits ausführlich für die einzelnen Klimatop- bzw. Landnutzungsklassen beschrieben wurden, so dass die Angaben als gesichert gelten können und gleichzeitig eine hinreichend notwendige Genauigkeit zur Klimatopdifferenzierung aufweisen. Dabei handelt es sich entweder um Klimaelemente oder standortspezifische Klimafaktoren, die die lokal wirksamen Klimaelemente prägen. Folgende fünf Schlüsselmerkmale werden zur objektiven Beschreibung der klimatisch-lufthygienischen Eigenschaften der Klimatope benutzt:

- Physiologische Äquivalenttemperatur (PET),
- Nächtliche städtische Wärmeanomalie (UHI),

Abbildung 2: Klimaqualität der Klimatotypen (sortiert nach normierter Klimaqualität)

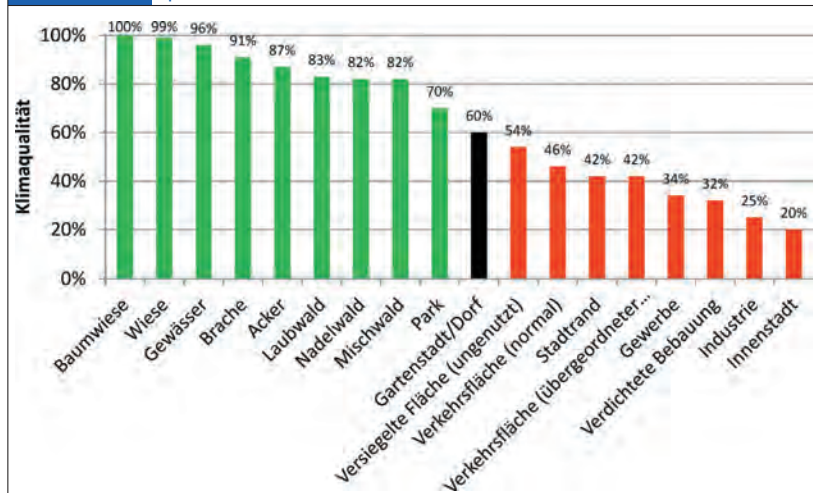


Tabelle 2: Klimatisch-lufthygienische Indikatoren und Klimaqualität (KQ) der Klimatoptypen (sortiert nach normierter Klimaqualität)

Klimatop	PET			UHI			VENT			KLP			LQ		Klimaqualität KQ		Maßnahmen*
	PET 15:00	Diff. zu 18*PET (behaglich)		UHI	Abkühlung		z <sub>0</sub>	log(z <sub>0</sub> )		KLP		LB- (Jahresmittel)	neg. LB (Luftgüte)				
	°C	K	%	K	K	%	m	m	%	m <sup>3</sup> m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup>	%	1	1	%	Summe	normiert	
Baumwiese	42,5	24,5	95,5	-3,4	6,4	97,7	0,03	1,50	80,1	14,7	100,0	0,2	0,7	100,0	473	100,0	4, 5, 6, 7, 13, 16, 19, 20, 21, 26, 28
Wiese	45,3	27,3	85,7	-3,5	6,5	100,0	0,02	1,70	84,9	14,7	100,0	0,2	0,7	100,0	471	99,0	4, 5, 11, 16, 17
Gewässer	41,4	23,4	100,0	-1,0	4,0	61,5	0,01	2,00	100,0	13,5	91,8	0,2	0,7	100,0	453	96,0	4, 5, 12, 16
Brache	46,7	28,7	81,5	-2,5	5,5	84,6	0,05	1,30	65,1	14,4	98,0	0,2	0,7	100,0	429	91,0	5, 7, 16, 20, 21, 28
Acker	46,0	28,0	83,6	-1,5	4,5	69,2	0,03	1,52	76,1	14,6	99,3	0,3	0,6	85,7	414	87,0	4, 5, 11, 16, 17
Laubwald	41,9	23,9	97,9	-2,0	5,0	76,9	0,30	0,52	26,1	13,5	91,8	0,2	0,7	100,0	393	83,0	4, 5, 11, 16, 17
Nadelwald	41,9	23,9	97,9	-2,0	5,0	76,9	0,40	0,40	19,9	13,5	91,8	0,2	0,7	100,0	387	82,0	4, 5, 11, 16, 17
Mischwald	41,9	23,9	97,9	-2,0	5,0	76,9	0,35	0,46	22,8	13,5	91,8	0,2	0,7	100,0	389	82,0	4, 5, 11, 16, 17
Park	47,2	29,2	80,1	0,0	3,0	46,2	0,20	0,70	34,9	14,5	98,4	0,4	0,5	71,4	331	70,0	4, 5, 6, 7, 13, 16, 19, 20, 21, 26, 28
Gartenstadt/ Dorf	47,4	29,4	79,6	0,0	3,0	46,2	0,20	0,70	34,9	7,4	50,0	0,4	0,5	71,4	282	60,0	4, 5, 6, 8, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 26, 28
Versiegelte Fläche (lungenutzt)	46,3	28,3	82,7	2,0	1,0	15,4	0,02	1,70	84,9	0,0	0,0	0,4	0,5	71,4	254	54,0	5, 7, 16, 20, 21, 28
Verkehrsfläche (normal)	46,3	28,3	82,7	2,0	1,0	15,4	0,03	1,52	76,1	0,0	0,0	0,6	0,3	42,9	217	46,0	4, 5, 13, 20, 23
Stadttrand	47,4	29,4	79,6	1,5	1,5	23,1	0,30	0,52	26,1	0,0	0,0	0,4	0,5	71,4	200	42,0	4, 5, 6, 8, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 26, 28
Verkehrsfläche (übergeordneter Verkehr)	46,3	28,3	82,7	2,0	1,0	15,4	0,02	1,70	84,9	0,0	0,0	0,8	0,1	14,3	197	42,0	4, 5, 13, 20, 2
Gewerbe	45,3	27,3	85,7	2,0	1,0	15,4	0,50	0,30	15,1	0,0	0,0	0,6	0,3	42,9	159	34,0	8, 10, 5, 7, 13, 15, 16, 20, 21, 23, 24, 26, 28
Verdichtete Bebauung	45,3	27,3	85,7	2,5	0,5	7,7	0,50	0,30	15,1	0,0	0,0	0,6	0,3	42,9	151	32,0	4, 5, 10, 19, 12, 8, 28, 21, 22, 15, 14, 16, 23, 6, 7, 11, 13, 18, 20, 24, 26
Industrie	45,3	27,3	85,7	2,0	1,0	15,4	0,50	0,30	15,1	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0	116	25,0	5, 7, 15, 20, 13, 24, 23, 26, 8, 10, 16, 21, 28
Innenstadt	48,0	30,0	78,0	3,0	0,0	0,0	0,90	0,05	2,3	0,0	0,0	0,8	0,1	14,3	95	20,0	4, 5, 10, 19, 12, 8, 28, 21, 22, 15, 14, 16, 23, 6, 7, 11, 13, 18, 20, 24, 26

PET = Physiologische Äquivalenttemperatur (PET) für heiße Tage (tmax = 30 °C), UHI = nächtliche städtische Wärmeanomalie (hier dargestellt als Differenzbetrag zum Innenstadtklimatop mit der höchsten UHI = Kühleffekt), VENT = aerodynamische Oberflächenrauigkeit, z<sub>0</sub> = aerodynamische Oberflächenrauigkeit, KLP = Kaltluftproduktivität, LQ = Luftqualität, LB = Luftbelastung, KQ = Klimaqualität

\* Die einzelnen Klimatoptypen weisen unterschiedliche Schutz- oder Anpassungsbedürfnisse zur Optimierung des lokalen Klimas auf. Die Ziffern verweisen auf mögliche Handlungsoptionen (Anpassungsmaßnahmen) im „Handbuch Stadtklima“ (MUNLV 2010), in dem die einzelnen Maßnahmen ausführlich erläutert werden. Eine Kurzdarstellung der Maßnahmen enthält Tab. 3.

Erläuterung: Jeder Indikator kann in seinem Wertebereich ein Optimum (100 %) zum Beitrag eines optimalen human-biometeorologischen Klimas leisten. Jedoch werden in den einzelnen Klimatoptypen diese Zielmarken nur in unterschiedlichem Maße erreicht, woraus sich die Differenzen in der Klimaqualität (KQ) der Klimatope ergeben.

Lesebeispiel: Das Klimatop der Baumwiese weist bei allen Indikatoren sehr hohe Qualitätsmerkmale (> 80 %) auf, die sich auf zusammen 473 % summieren und damit das beste Klimatop darstellen. Dieses dient somit als Referenz und erhält eine normierte Klimaqualität KQ von 100 % („sehr gut“). Alle anderen Klimatope erreichen in der Summe der Indikatorqualitäten niedrigere Werte und sind deshalb als klimatisch ungünstiger einzustufen. Die schlechteste Klimaqualität weist das Innenstadtklimatop auf, da hier weder eine nennenswerte Abkühlung (UHI 0 %) oder Kaltluftproduktion (KLP 0 %) bei nur schlechter Durchlüftung (VENT 2,3 %) und Luftqualität (LQ 14,3 %) vorherrschen. Die Indikatorensumme von 95 % relativiert sich im Vergleich zur Baumwiese auf lediglich 20 % KQ („extrem schlecht“).

- Aerodynamische Oberflächenrauigkeit (VENT),
- Kaltluftproduktivität (KLP),
- Luftqualität (LQ).

Die Physiologische Äquivalenttemperatur (PET) eignet sich sehr gut zur Beschreibung thermischer Belastungen während der Tagsituation sommerlicher Tage (Heißer Tag = tmax = 30 °C), da sie die Sonnenexposition in besonderer Weise berücksichtigt (Höppe 1984; VDI 3787, Blatt 2, 2008). Als Indikator für die Wärmebelastung während der Nachtstunden wird die städtische Wärmeanomalie („Wärmeinsel“, UHI = Urban Heat Island) herangezogen. Die Quantifizie-

rung erfolgt anhand der Temperaturdifferenz zwischen Stadt und Umland (Dütemeyer 2000). Bei den bodennahen Durchlüftungsverhältnissen (VENT), die für den Abtransport von Wärme und Spurenstoffen aus dem bebauten Bereich heraus von Bedeutung sind, spielen Strömungshindernisse eine bedeutende Rolle, deren Wind bremsender Einfluss über die aerodynamische Oberflächenrauigkeit z<sub>0</sub> beschrieben wird (Lettau 1969, Stull 1988). Die Kaltluftproduktivität (KLP) ist für Freiflächen, insbesondere in der urbanen Peripherie, von Bedeutung, da die darauf produzierte Kaltluft über Ventilationsbahnen in die

Stadt eindringen kann und der dortigen potenziellen Wärme- und Spurenstoffbelastung entgegenzuwirken vermag. Die Quantifizierung erfolgt anhand der flächennutzungsabhängigen Kaltluftproduktionsraten (Wiesner 1986). Die Erfassung der lufthygienischen Qualität (LQ) anhand der Einzelkonzentrationen der vielfältigen rechtsrelevanten Spurenstoffe (39. BImSchV bzw. RL 2008/50/EG) ist für ein Gesamtstadtgebiet praktisch unmöglich, weshalb hier auf verschiedene, summative Luftbelastungsindices „LB“ (u. a. LB11 und LAQx; siehe LUBW 2004, Rost & Mayer 2004, Baumüller & Reuter 1995 oder Stadt Aalen 2000)



zurückgegriffen wird. Da bei den verschiedenen Luftbelastungsindices jeweils nur ein Teil der benötigten Flächennutzungstypen untersucht wurde, war eine Zusammenlegung mit Quervergleichen und abschließender Zusammenfassung sowie Vereinheitlichung der Werteskalen erforderlich.

Die für die jeweiligen Klimatope ermittelten Werte der fünf Indikatoren sind in Tab. 2 dargestellt. In Hinblick auf die Formulierung einer Klimaqualitätszahl wurden einige Indikatoren neu referenziert. So wurde die PET auf die Untergrenze der neutralen Belastung (18 °C PET „behaglich“) bezogen, die Wärmeinselintensität (UHI) in einen Abkühleffekt transformiert, die Rauigkeit in Hinblick auf das Windprofil logarithmisch entzerrt, sowie der Luftbelastungsindex in einen Luftgüteindex transformiert. Im nächsten Schritt wurden die einzelnen Indikatoren anhand der zwischen den Klimatopen feststellbaren Maxima und Minima relativ normiert. Die abschließende Berechnung der Klimaqualität „KQ“ erfolgt durch einfache Addition der fünf relativen Indikatorwerte mit anschließender Normierung (Tab. 2 und Abb. 2).

Um die Klimaqualität (KQ) für den quantitativen Vergleich von Flächen unterschiedlicher Größe benutzen zu können, muss eine räumliche Gewichtung entsprechend der Flächengröße vorgenommen werden. In den Grenzen eines Bezugsgebiets wie des Gesamtgebiets der Stadt Gelsenkirchen gewinnt eine Fläche an klimatischer Bedeutung („Relevanz“) über die Flächengröße und die Klimaqualität, d. h. große oder klimatisch hochwertige Flächen haben einen stärkeren Einfluss auf das Stadtklima als kleine oder klimatisch geringwertige Flächen. Die Gewichtung der Klimaqualität anhand der Flächengröße erfolgt durch Multiplikation beider Komponenten. Als Ergebnis erhält man einen „Klimaqualitätsflächenwert“ (KQFW), der geeignet ist, die Klimaqualität von mehreren Flächen unterschiedlicher Größe gegeneinander abzuwägen oder zu bilanzieren.

**Bereitstellung flächenspezifischer Handlungsempfehlungen**

Entsprechend ihrer Eigenschaften weisen die einzelnen Klimatoptypen unterschiedliche Schutz- oder Anpassungsbedürfnisse zur Optimierung des lokalen Klimas auf. Die hierzu geeigneten städtebaulichen Maßnahmen sind in der Stadtklimatologie seit Langem bekannt (Kuttler 2011), müssen jedoch klimatopspezifisch gebündelt und konsequent angewendet werden. Es bietet sich daher an, im GIS zu den einzelnen Klimatoptypen Hinweise auf geeignete Hand-

**Tabelle 3: Übersicht über städtebauliche Handlungsmaßnahmen zur Anpassung an Hitzestress im Klimawandel (aus MUNLV 2010)**

Gebäudeoptimierung	
H8	Dachbegrünung
H10	Fassadenbegrünung
H14	Hauswandverschattung, Wärmedämmung
H18	Verschattungselemente an Gebäuden
H15	Geeignete Baumaterialien verwenden
Quartiergestaltung	
städtebauliche Infrastruktur	
H5	Freiflächen erhalten, schaffen, Flächen entsiegeln
H12	Offene Wasserflächen schaffen
H13	Gebäudeausrichtung optimieren
H22	Beschattung relevanter Flächen
H24	Neubau/Sanierungen: Verfüllen der Leitungsgräben mit geeigneten Materialien mit reduzierter Wärmespeicherfähigkeit
H23	Verkehrsflächen mit geringerer Wärmespeicherfähigkeit
H26	Nutzung von Überschussmengen aus der örtlichen Grundwasserbewirtschaftung
Grünflächen und Vegetation	
H6	Parkanlagen schaffen, erhalten, umgestalten
H7	Begrünung von Straßenzügen
H19	Vermehrte Bewässerung urbaner Vegetation
H20	Bepflanzung urbaner Räume mit geeigneten Pflanzenarten
H21	Vermehrter Einsatz von bodenbedeckender Vegetation; Vermeidung oder künstliche Abdeckung unbewachsener Bodenflächen
H28	Geeignete Bepflanzung urbaner Flächen zur Verbesserung der Durchlässigkeit der oberen Bodenschicht (Durchwurzelung)
Quartier übergreifende Hinweise	
H4	Festlegen von Bebauungsgrenzen
H11	Erhalt, Schaffung von Frischluftflächen
H16	Erhalt, Schaffung von Luftleitbahnen
H17	Hänge von hangparalleler Riegelbebauung freihalten

Die H-Kennziffern (H = Hitze) verweisen auf die detaillierten Maßnahmenereitelungen im „Handbuch Stadtklima“ (MUNLV 2010).

lungsmaßnahmen zu hinterlegen. Eine aktuelle Übersicht der Maßnahmen einschließlich ausführlicher Beschreibungen bietet das „Handbuch Stadtklima“ (MUNLV 2010) (Tab. 3).

Die Lösungsvorschläge umfassen flächenbezogene Maßnahmen auf verschiedenen Maßstabsebenen und reichen von Gebäudeoptimierungen über die bauliche und pflanzliche Quartiergestaltung bis zu Quartier übergreifenden Maßnahmen der funktionalen Flächenvernetzung. Für die einzelnen Klimatoptypen wurden die geeigneten Maßnahmen referenziert (s. Tab. 2, Spalte „Maßnahmen“).

Mit diesem Schritt ist die Erstellung des Klimamanagementsystems abgeschlossen. Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die RNK um flächenspezifische Informationen zum Klimatoptyp, zur quantitativen Klimaqualität sowie zu geeigneten Handlungshinweisen ergänzt wurde. Im folgenden Kapitel wird die Anwendung des Klimamanagementsystems anhand von zwei Beispielen aus der Stadt Gelsenkirchen demonstriert.

**Anwendung**

Da die meisten GIS in der Lage sind, Flächenmerkmale selektiv zu untersuchen und statistisch auszuwerten, kann das Klimamanagement dazu benutzt werden, die Klimaeigenschaften unterschiedlicher Flächenkontingente zu berechnen und anschließend zu bilanzieren oder zu vergleichen.

**Beispiel: Gesamtstädtische Bilanzierung**

Vor dem Hintergrund, dass die Stadt Gelsenkirchen aufgrund unmittelbar angrenzender Nachbarstädte auf stadteigene klimaökologische Ausgleichsflächen angewiesen ist, ist der aktuelle klimatische Status der Stadt zu ermitteln, um daraus eine kommunale Strategie zur Verbesserung des Stadtklimas und zur Anpassung an den Klimawandel abzuleiten. Es sind daher sämtliche Flächen des Stadtgebietes klimatisch zu bilanzieren. Der erste Untersuchungsschritt umfasst die klimatisch bilanzierende Gegenüberstellung aller klimatischen Gunst- und Lasträume, d. h. aller versiegelten und unversiegelten Flächen. Dazu werden die

**Tabelle 4:** Klimaqualität und Klimaqualitätsflächenwert der versiegelten und unversiegelten Flächen in Gelsenkirchen

Gebiet	Fläche A (in ha)	Fläche A (in %)	Mittlere Klimaqualität KQ (in %)	Klimaqualitätsflächenwert KQFW (in Punkten)	Beitrag zum Stadtklima (in %)
Gesamtstadt	10.843,1	100,0	58,9	639.613,2	100,0
versiegelt	5.469,9	50,4	37,4	204.582,2	32,0
unversiegelt	5.373,2	49,6	80,9	435.031,1	68,0

**Tabelle 5:** Auswirkung der fiktiven Umwidmung von Freiflächen zu versiegelten Flächen in Gelsenkirchen

Klimatop	Fläche A (in ha)	Klimaqualität KQ (in %)	Klimaqualitätsflächenwert KQFW (in Punkten)
<b>Ist-Zustand</b>			
Acker	18,8	87	1.636
Wiese	0,5	99	50
Brache	1,9	91	173
Gartenstadt/Dorf	0,3	60	19
Park	0,4	70	31
Mischwald	3,6	82	295
Gesamtgebiet	25,5	86	2.204
<b>Plan-Zustand</b>			
Stadtrand	25,5	42	1071
<b>Differenz (Plan-Ist-Zustand)</b>			
Absolute Differenz	0,0		-1.133
(Relative Differenz)	(0 %)		(-51 %)

ca. 81 % („gut“) mit ca. 435.000 Punkten mehr als doppelt so groß als derjenige der versiegelten Flächen (ca. 204.000 Punkte), deren Klimaqualität als „schlecht“ (37,4 %) einzustufen ist. Am Klimazustand der Gesamtstadt mit seiner neutralen Klimaqualität (59 %) entsprechend einem Klimaqualitätsflächenwert von 639.000 Punkten (= 100 %) haben die unversiegelten Flächen einen Anteil von 68 %.

**Beispiel: Selektive Bilanzierung**

Bei der selektiven Bilanzierung werden sowohl die zu untersuchenden Flächen als auch der Bezugsraum frei definiert. Diese Methode kann benutzt werden, um die lokalen Auswirkungen von Flächenumwidmungen zu untersuchen. Als Beispiel dient die fiktive Umwidmung von Freiflächen (Abb. 3) in ein Wohngebiet. Die Ergebnisse sind in Tab. 5 zusammengestellt.

Die 25,5 ha große Fläche ist im Ist-Zustand überwiegend land- und forstwirtschaftlich geprägt. Abgesehen vom Gehöft (im östlichen Bereich der Planfläche, rosa) ist daher die Klimaqualität KQ der Areale mit Werten zwischen 70 und 99 Punkten gemäß Tab. 1 als „positiv“ bis „sehr gut“ einzustufen. Die Verrechnung der Klimaqualität der Flächen mit den jeweiligen Flächengrößen ergibt einen Klimaqualitätsflächenwert (KQFW) von 2.204 Punkten.

Nach Umwandlung des Plangebiets in ein aufgelockertes Wohngebiet vom Typ „Stadtrandklimatop“ ändert sich die Klimaqualität auf 42 % („schlecht“). Der entsprechende Klimaqualitätsflächenwert beträgt nur noch 1.071 Punkte. Damit verschlechtert sich der Klimaqualitätsflächenwert des Plangebiets um 1.133 Punkte bzw. um 51 %.

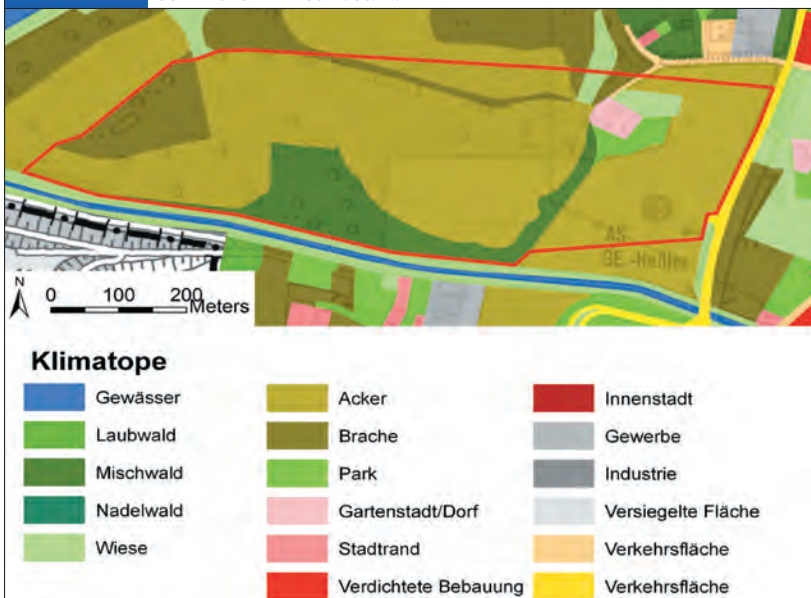
Für dieses fiktive Beispiel lässt sich das Flächenmanagementwerkzeug theoretisch auch für die weiterführende Untersuchung möglicher Ausgleichsmaßnahmen nutzen. Beispielweise könnte der Klimaqualitätsverlust der fiktiven Flächenumwidmung dadurch kompensiert werden, dass an anderer Stelle der Stadt bestehende Freiflächen von nur „leicht positiver“ Klimaqualität soweit aufgewertet werden können, dass der Anstieg des Klimaqualitätsflächenwerts genau dem Klimaqualitätsflächenwert-

Klimatope in die beiden Gruppen „Versiegelte Flächen“ (Industrie, Gewerbe, Innenstadt, verdichtete Bebauung, Stadtrand, Gartenstadt/Dorf, Verkehrsflächen und ungenutzte versiegelte Fläche) und „Unversiegelte Flächen“ (Baumwiese, Wiese, Brache, Acker, Wälder, Park und Gewässer) unterteilt. Für beide Flächenkontingente wurden die tatsächlichen Gesamtflächengrößen und Gesamtklima-

qualitätsflächenwerte (KQFW) berechnet und verglichen (Tab. 4).

Tabelle 4 veranschaulicht deutlich die unterschiedlichen Wertigkeiten der versiegelten und unversiegelten Flächen. Obwohl der Flächenanteil für beide Flächenkontingente mit ca. 50 % etwa gleich groß ist, ist der Klimaqualitätsflächenwert der unversiegelten Flächen aufgrund der hohen Klimaqualität von

**Abbildung 3:** Karte der Klimatope zum fiktiven Plangebiet (rote Grenze) in Gelsenkirchen im Ist-Zustand



verlust der Planfläche entspricht (klimaökologischer Ausgleich).

**Ausblick**

Das vorgestellte Stadtklimamanagementsystem stellt ein Monitoringinstrument dar, das dazu genutzt werden kann, gesamtstädtisch die städtebauliche Entwicklung in Hinsicht auf die Zu- oder Abnahme stadtklimatischer Last- und Ausgleichsflächen beurteilen zu können. Damit wird den kommunalen Entscheidungsträgern eine maximale Transparenz in Bezug auf die stadtklimatischen Folgen städtebaulicher Entscheidungen gegeben.

Das Werkzeug ermöglicht die objektive klimatisch-lufthygienische Quantifizierung und Bilanzierung von unterschiedlich genutzten Flächen auf großmaßstäbiger Ebene der RNK. Der Großteil der bei vergleichenden Flächenbeurteilungen auftretenden klimatisch-lufthygienischen Fragestellungen kann somit in der Umwelt- und Stadtplanung mit dem vorgestellten Werkzeug praxisgerecht kosten- und zeitneutral abgedeckt werden.

Aufgrund der flächentypisierten Quantifizierung handelt es sich um eine Erstabschätzung, die fallweise in der Einzelanwendung zusätzlich einer detaillierteren Expertise bedarf. Auch für die Darstellung von Flächen übergreifenden Klimafunktionen wie Ventilationsbahnen, Grünzügen oder Kaltluftproduktionsgebieten, die das Klimamanagementsystem nicht herleiten kann, sind separate Untersuchungen vor Ort notwendig, deren Ergebnisse jedoch anschließend von den Anwendern in das Managementsystem eingepflegt werden können. Da die Umsetzung im GIS auch die spätere Anpassung der Bewertungsmaßstäbe erlaubt (beispielsweise in Hinblick auf sich ändernde Wertmaßstäbe im Zuge der Klimawandelfolgenanpassung), ist das Klimamanagementsystem auch in Zukunft praxisgerecht einsetzbar.

Das Werkzeug liegt als GIS-Anwendung vor. Somit kann es im Planungsalltag von den unterschiedlichen Sachgebietsebenen der öffentlichen Verwaltung sowie ihren externen Dienstleistern gleichermaßen benutzt werden. Dieses hat den Vorteil, dass bei Vorlage weiterer GIS-Themenkarten das Klimamanagementsystem zur Generierung neuer oder kombinierter Themenkarten herangezogen werden kann. Hier ist vor allem auf die Möglichkeit der weiteren Präzisierung der Betroffenheit von Wohnquartieren unter Berücksichtigung demografischer Trends (Einwohnerdichte, Seniorenanteil etc.) hinzuweisen. Weitere sinnvolle Themenquerschnitte könnten im Zusammenhang mit GIS-Daten aus

den Bereichen Planung, Boden, Grün/Vegetation, Gesundheit, Wasserwirtschaft, Verkehr etc. erschlossen werden.

**Literatur**

39. BImSchV – Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionschutzgesetzes – Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen vom 02. August 2010, BGBl. I: 1065.  
 BauGB – Baugesetzbuch vom 23. September 2004, BGBl. I: 2414, zuletzt geändert am 11. Juni 2013, BGBl. I: 1548.  
 LQ-RL – Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates über Luftqualität und saubere Luft für Europa vom 21. Mai 2008, ABL EG L 152: 1.  
 UVPG – Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung vom 24. Februar 2010, BGBl. I: 94, zuletzt geändert am 25. Juli 2013, BGBl. I: 2749.  
 Barlag, A.-B. & Kuttler, W. (2009): Prima Klima? Stadtklimatologie im Ruhrgebiet. In: Proseck, A.; Schneider, H.; Wessel, H.A.; Wetterau, B. & Wiktorin, D. (Hrsg.): Atlas der Metropole Ruhr, 194-195, Köln.  
 Baumüller J. & Reuter, U. (1995): Die summarische Bewertung von Luftschadstoffen durch einen Luftbelastungsindex. Staub – Reinhaltung der Luft 55: 137-141.  
 BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (Hrsg.) (2011): Auf dem Weg, aber noch nicht am Ziel – Trends der Siedlungsflächenentwicklung, Bonn (BBSR-Berichte KOMPAKT, 10/2011).  
 Bruegmann, R. (2005): *Sprawl – a compact history*, Chicago.  
 Düttemeyer, D. (2000): Urban-oro-graphische Bodenwindssysteme in der städtischen Peripherie Kölns, Hohenwarsleben (Essener Ökologische Schriften, 12).  
 Düttemeyer, D.; Barlag, A.-B. & Kuttler, W. (2004): Planungsrelevante Stadtklimatologie am Beispiel der beabsichtigten Flächenumwidmung einer Industriebrache. UVP-report 18 (1): 21-26.  
 Höpfe, P. (1984): Die Energiebilanz des Menschen, München (Wissenschaftliche Mitteilungen des Meteorologischen Instituts der Universität München, 49).  
 IPCC – Intergovernmental Panel On Climate Change (Hrsg.) (2007): Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. In: Solomon, S.; Qin, D.; Manning, M.; Chen, Z.; Marquis, M.; Averyt, K. B.; Tignor, M. & Miller, H.L. (Hrsg.): *Klimaänderung 2007: Wissenschaftliche Grundlagen. Beitrag der Arbeitsgruppe I zum Vierten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderung (IPCC)*, Cambridge.  
 Kuttler, W. (2010a): Urbanes Klima, Teil 1. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft, Umweltmeteorologie 70 (7/8): 329-340.  
 Kuttler, W. (2010b): Urbanes Klima, Teil 2. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft, Umweltmeteorologie 70 (9): 378-382.  
 Kuttler, W. (2011): Klimawandel im urbanen Bereich, Teil 1, Wirkungen; Climate change in urban areas, Part 1, Effects. In: *Environmental Sciences Europe (ESEU)*, Springer open, 1-12, DOI: 10.1186/2190-4715-23-11.  
 Kuttler, W. (2012): Climate Change on the Urban Scale – Effects and Counter-Measures in Central Europe. In: Chhetri, N. (2012): *Human and*

*social dimensions Change*, 105-142, <http://www.intechopen.com/books/human-abd-social-dimensions-of-climate-change/climate-change-on-the-urban-scale-effects-and-counter-measures-in-central-europe>, DOI: [dx.doi.org/10.5772/50867](https://doi.org/10.5772/50867).  
 Lettau, H. (1969): Note on an aerodynamic roughness parameter estimation on the basis of roughness-element distribution. *Journal of Applied Meteorology* 8: 828-832.  
 LUBW – Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (2004): Entwicklung eines Luftqualitätsindex (langfristige Wirkung) für Baden-Württemberg und seine Integration mit anderen Luftqualitätsindices. Endbericht, Karlsruhe.  
 Marks, R.; Müller, M.J.; Leser, H. & Klink, H.-J. (Hrsg.) (1989). Anleitung zur Bewertung des Leistungsvermögens des Landschaftshaushaltes (BA LVL), Trier (Forschungen zur deutschen Landeskunde, 229).  
 MUNLV – Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW (Hrsg.) (2010): *Handbuch Stadtklima – Maßnahmen und Handlungskonzepte für Städte und Ballungsräume zur Anpassung an den Klimawandel (Langfassung)*, Düsseldorf.  
 Oswalt, P. & Rieniets, T. (2006): *Atlas of Shrinking Cities*, Ostfildern.  
 Pauleit, P. & Duhme, F. (1999): Stadtstrukturtypen – Bestimmung der Umweltleistungen von Stadtstrukturtypen für die Stadtplanung. *Raum-Planung* 84: 33-44.  
 Rost, J. & Mayer, H. (2004): Berechnungen zur räumlichen und zeitlichen Variabilität des planungsrelevanten FoBiG Luftqualitätsindex an ausgewählten Luftmessstationen in Baden-Württemberg – Teil III: Langzeitindex. Untersuchung im Auftrag der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Freiburg.  
 Schulz, A. (1983): Ein Verfahren zur ökologischen Analyse und Bewertung städtischer Oberflächenstrukturen. *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie X*: 175-181.  
 Stadt Aalen, Grünflächen- und Umweltamt (Hrsg.) (2000): *Landschaftsplan – Erläuterungsbericht vom 02.05.2000*, Aalen.  
 Stewart, I.D. (2011): *Redefining the urban heat island*. PhD Thesis, University of British Columbia, Vancouver.  
 Stull, R.B. (1988): *An introduction to boundary layer meteorology*, Dordrecht.  
 UBA – Umweltbundesamt (Hrsg.) (2004): *Hintergrundpapier: Flächenverbrauch, ein Umweltproblem mit wirtschaftlichen Folgen*, Berlin.  
 VDI – Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.) (2003): *VDI-Richtlinie 3787, Blatt 1 – Umweltmeteorologie – Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen*. 1997, überprüft 2003, Düsseldorf.  
 VDI – Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.) (2004): *VDI-Richtlinie 3787, Blatt 9 – Umweltmeteorologie – Berücksichtigung von Klima und Lufthygiene in räumlichen Planungen*, Düsseldorf.  
 VDI – Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.) (2008): *VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 – Umweltmeteorologie – Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung – Teil I: Klima*, Düsseldorf.  
 Wiesner, K.P. (1986): *Programme zur Erfassung von Landschaftsdaten, eine Bodenerosionsgleichung und ein Modell der Kaltluftentstehung*, Heidelberg (Heidelberger Geographische Arbeiten, 79).

**Dr. Dirk Düttemeyer**  
 (korrespondierender Autor)  
**Dr. Andreas-Bent Barlag**  
**Prof. Dr. Wilhelm Kuttler**  
 Universität Duisburg-Essen  
 Angewandte Klimatologie und Landschaftsökologie  
 Schützenbahn 70  
 45127 Essen  
 E-Mail: [dirk.duettemeyer@uni-due.de](mailto:dirk.duettemeyer@uni-due.de)  
[andreas.barlag@uni-due.de](mailto:andreas.barlag@uni-due.de)  
[wilhelm.kuttler@uni-due.de](mailto:wilhelm.kuttler@uni-due.de)  
  
**Ulrich Axt-Kittner**  
 Stadt Gelsenkirchen  
 Referat 60/2 – Umwelt  
 Goldbergstraße 84  
 45875 Gelsenkirchen  
 E-Mail: [umweltplanung@gelsenkirchen.de](mailto:umweltplanung@gelsenkirchen.de)

Fachbeitrag