

*dynaklim*-Publikation



Gefördert durch:





## HANDLUNGSLEITFADEN –

# STEUERUNGSWERKZEUG ZUR STÄDTEBAULICHEN ANPASSUNG AN THERMISCHE BELASTUNGEN IM KLIMAWANDEL

Wilhelm Kuttler, Dirk Düttemeyer, Andreas-Bent Barlag

**Universität Duisburg-Essen**

**Angewandte Klimatologie und Landschaftsökologie**

<http://www.uni-due.de/klimatologie/>

---

*dynaklim*-Publikation Nr. 34 / Februar 2013



---

### Zusammenfassung

In Hinblick auf die durch den Klimawandel zu erwartende Zunahme künftiger Hitzeereignisse werden die i. d. R. jetzt schon überwärmten Städte aufgrund der hohen Bevölkerungsdichte besonders betroffen sein. Städtebauliche Adaptations- und Mitigationsmaßnahmen sollen der Wärmebelastung während sommerlicher Hitzeereignisse entgegenwirken.

Auch in der hoch urbanisierten *dynaklim*-Region mit ihren 5,5 Mio. Einwohnern sind Anpassungsmaßnahmen erforderlich. Ein entsprechender Handlungskatalog wurde bereits im „Handbuch Stadtklima“ des MUNLV NRW (2010) aufgezeigt. Hierauf aufbauend werden mit dieser *dynaklim*-Aktivität Informationen zum Umfang der zu erwartenden regionalen klimatischen Änderungen sowie ein Werkzeug zur Lokalisation und Bewertung von Anpassungs- und Schutzgebieten bereitgestellt.

Bis Ende des Jahrhunderts werden sich die Hitzeereignisse mehr als verdoppeln. Innerhalb der *dynaklim*-Region werden Städte und Kommunen mit mehr als 25.000 Einwohnern von den Hitzeereignissen besonders betroffen sein, da sich die Flächengröße der betroffenen Quartiere durch die projizierte Temperaturerhöhung zum Ende des Jahrhunderts mehr als verdoppeln könnte.

Um in allen Städten und Kommunen der *dynaklim*-Region entsprechende Quartiere mit Anpassungs- oder Schutzbedarf lokalisieren zu können, wurde ein GIS-basiertes Klimamanagementsystem verwendet, das bei den Akteuren universell einsetzbar ist und auch die quantitative Analyse der klimatischen Situation von Flächen sowie die Abfrage geeigneter Handlungsoptionen erlaubt.

Die hier angewandte Methode wurde zusammen mit dem *dynaklim*-Netzwerkpartner Stadt Gelsenkirchen, Referat Umwelt, entwickelt (DÜTEMEYER et al. 2013). Die für die Anwendung in der *dynaklim*-Region erforderliche Übertragbarkeit des Klimamanagementsystems erfolgte exemplarisch am Beispiel der *dynaklim*-Modellstadt Oberhausen mittels erweiterter Messverfahren und wurde unter Verwendung zusätzlicher Arbeitsschritte zu dem vorliegenden „Handlungsleitfaden zur Verbesserung des Stadtklimas“ ausgebaut.

Schlagworte (im *dynaklim*-Wiki<sup>1</sup>)

Stadt, Stadtklima, Hitzestress, Hitzewelle, Klimawandel, Adaptation, Mitigation, Anpassung, Handlungsmaßnahmen, Human-Biometeorologie, Bioklima, Oberhausen, Ruhrgebiet

---

<sup>1</sup> <http://www.dynaklim.de/dynaklim/index/wissensmanagement/wiki.html>.



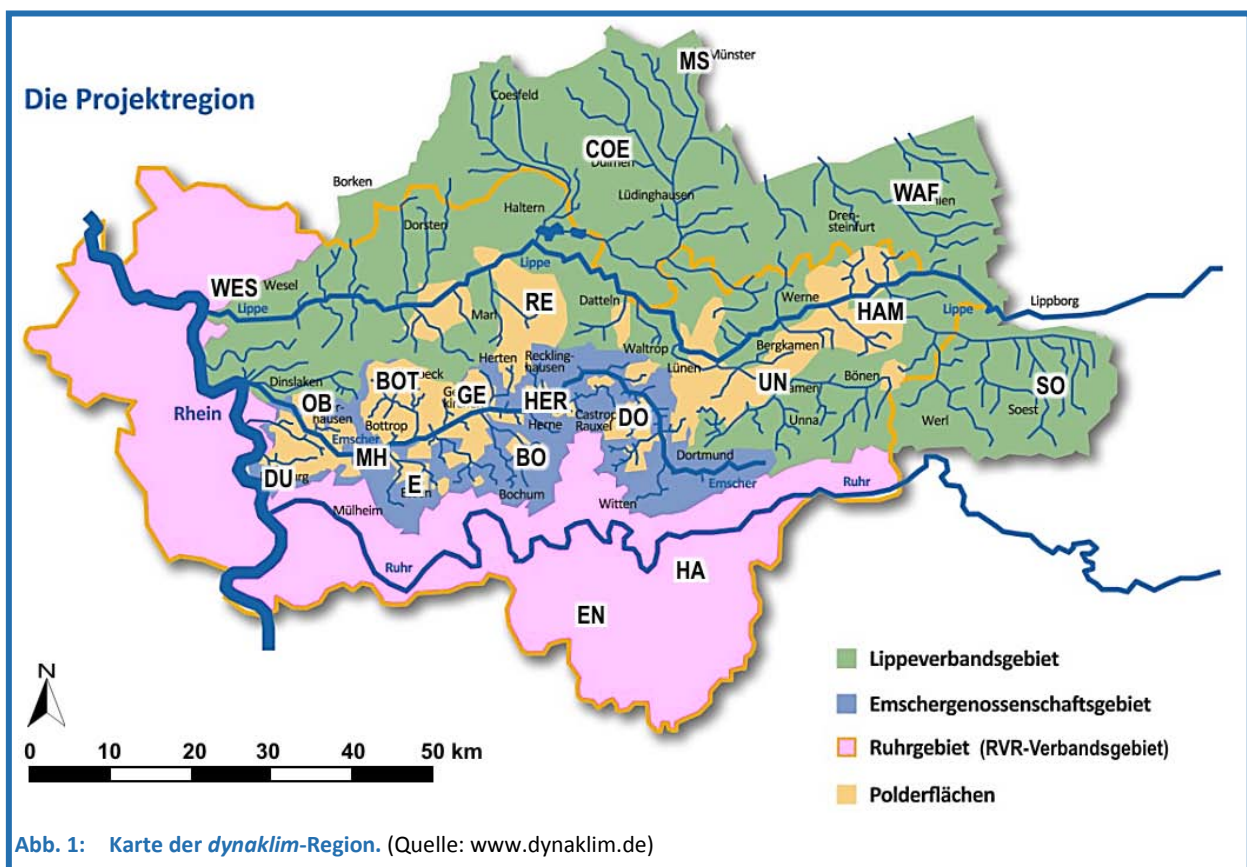
## Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	
1 Einleitung .....	1
2 Projektionen der klimawandelbedingten thermischen Veränderungen im urbanen Raum der <i>dynaklim</i> -Region .....	2
3 Probleme und Handlungsoptionen zur Wärmebelastung in Städten während Hitzewellen unter dem Einfluss des Klimawandels .....	6
4 Identifikation von Anpassungsgebieten in der <i>dynaklim</i> -Region.....	10
5 Klimamanagementsystem .....	13
5.1 Anforderungen an ein Stadtklimamanagementsystem .....	14
5.2 Methodik .....	15
5.2.1 Technische Voraussetzungen .....	15
5.2.1.1 Vorteile der GIS-Anwendung.....	15
5.2.1.2 Funktionale Spezifika.....	15
5.2.2 Maßstabebene und Flächentypisierungen .....	16
5.2.2.1 Maßstabebene und Abgrenzung zur synthetischen Klimafunktionskarte.....	16
5.2.2.2 Flächentypisierungen .....	16
5.2.3 Klimainformation und Klimaqualität .....	18
5.2.3.1 Berechnung der Klimaqualität.....	20
5.2.3.2 Umgang mit der Interpretation von gewichteten Indikatoren .....	23
5.3 Anwendung .....	24
5.3.1 Import der Klimainformation in das GIS-System.....	24
5.3.2 Abfrage von Klimainformationen für Einzelflächen .....	26
5.3.3 Berechnung des Klimaqualitätsflächenwertes.....	26
5.3.4 Bilanzierungen der Klimaqualität und Ausgleichspotenziale .....	27
5.3.4.1 Vergleich zweier Einzelflächen .....	27
5.3.4.2 Berechnung der mittleren Klimaqualität verschiedener Flächen .....	28
5.3.4.3 Gesamtstädtische Bilanzierungen .....	29
5.3.4.4 Selektive Bilanzierungen .....	31
6 Ausblick.....	33
7 Literaturverzeichnis .....	33
Anhang .....	37
Anhang 1: Quantitative Bestimmung der Indikatoren zur Berechnung der Klimaqualität (KQ) .....	37
Anhang 2: Klimatopklassifizierung der Flächennutzungen .....	45

## 1 Einleitung

Hochverdichtete städtische Gebiete stellen gegenüber der offenen Landschaft Wärmeinseln mit zum Teil hoher Wärmebelastung für die Bevölkerung insbesondere während sommerlicher austauscharmer Wetterlagen dar. Da zukünftig von einer Zunahme von Hitzewellen hinsichtlich Häufigkeit, Andauer und Intensität auszugehen ist (IPCC 2007), wird sich das Problem der Hitzebelastung für die städtische Bevölkerung verschärfen. Betroffene Stadtquartiere sind an derartige Belastungen aufgrund der historisch bedingten, auf die mittleren Breiten ausgerichteten Bauweisen klimatisch bisher nur unzureichend angepasst.

Die *dynaklim*-Region (Abb. 1), bestehend aus den Gebieten der Emschergenossenschaft, des Lippeverbandes sowie des Ruhrgebietes, ist von dieser Problematik aufgrund des hohen Verstädterungsgrades (52 Städte und Gemeinden) und der hohen Einwohnerzahl von ca. 5,5 Mio. Menschen (2012) in besonderem Maße betroffen.



Eine Möglichkeit, die Hitzebelastung in urbanen Quartieren zukünftig einzudämmen, stellt eine optimierte Bauweise und Flächennutzungsstruktur mittels geeigneter städtebaulicher Anpassungsmaßnahmen dar. Allgemeine städtebauliche Lösungsansätze zur Klimawandelanpassung (Handlungsleitfäden) wurden in den letzten beiden Jahren für NRW (MBV 2009) und im speziellen für das Ruhrgebiet (MUNLV 2010) erarbeitet.

Die Anwendung dieser Erkenntnisse wird für die Städte und Kommunen der *dynaklim*-Region angestrebt. Um die städtebauliche Anpassung an die Hitzebelastung konkret umsetzen zu können, ist die Ermittlung folgender Fakten erforderlich, die Gegenstand dieser Aktivität sind und am Beispiel der Stadt Oberhausen demonstriert werden:

- Quantitative Darstellung der durch den Klimawandel bedingten Auswirkungen auf die thermischen Verhältnisse in den Städten der *dynaklim*-Region (Kap. 2),

- Darlegung der problem- oder flächenspezifischen städtebaulichen Anpassungsmaßnahmen (Kap. 3),
- Identifikation von anpassungs- und schutzbedürftigen Gebieten in der *dynaklim*-Region (Kap. 4),
- Flächenscharfe Verortung der heutigen und zukünftigen Quartiere mit dem höchsten Anpassungs- oder Schutzbedarf (Kap. 5),
- Quantitative Bewertung des klimatischen Anpassungs- oder Schutzbedarfs von Flächen, um den Einsatz von Anpassungsmaßnahmen effizient steuern zu können (Kap. 5.2.3).

## 2 Projektionen der klimawandelbedingten thermischen Veränderungen im urbanen Raum der *dynaklim*-Region

Um für die Städte der *dynaklim*-Region die aus dem Klimawandel resultierenden stadtklimatischen Probleme abschätzen und diesbezügliche notwendige Handlungsmaßnahmen ableiten zu können, werden Angaben zur potenziellen regionalen Ausprägung des Klimawandels benötigt.

Im Rahmen des KLIMZUG-Programms, zu dem auch *dynaklim* gehört, werden die regionalen Klimaprojektionen des Modells CLM („Climate Local Model“) des DWD (LAUTENSCHLAGER et al. 2009) herangezogen, die für die nächsten Dekaden auf fließenden Dekadenmittelwerten basierende, synthetische Zeitreihen des Jahresganges der Lufttemperatur liefern. Die Berechnung der Projektionen erfolgt auf Basis des Treibhausgasemissionsszenarios A1B (IPCC 2007). Dieses „moderate“ Szenario geht davon aus, dass auf globaler Ebene die fossilen Energieträger sukzessiv durch regenerative Energieerzeugung ersetzt werden und das Wachstum der Weltbevölkerung ab Mitte des Jahrhunderts zurückgeht. Entsprechend werden auch die Treibhausgasemissionen abnehmen. Die hierdurch bedingte globale Erwärmung wird zum Ende des Jahrhunderts auf ca. 2,8 K geschätzt.

Die Ableitung von Aussagen zum zukünftigen Stadtklima der *dynaklim*-Städte aus CLM-Daten ist nur eingeschränkt möglich, da im CLM-Modell die räumliche Auflösung der Gitterzellen höchstens 10 km x 18 km beträgt. Einzelne Städte, deren räumliche Ausdehnung i. d. R. unterhalb dieser Gitterzellengröße liegt, sind somit nicht separat bzw. nur unter Einbeziehung des Umlandbereiches erfassbar. Daher werden hier diejenigen CLM-Gitterzellen berücksichtigt, die die höchste urbane Prägung aufweisen. Dabei handelt es sich um 10 Gitterzellen, die den Großteil der zur *dynaklim*-Region gehörenden Ruhrgebietsstädte abdecken (Abb. 2).

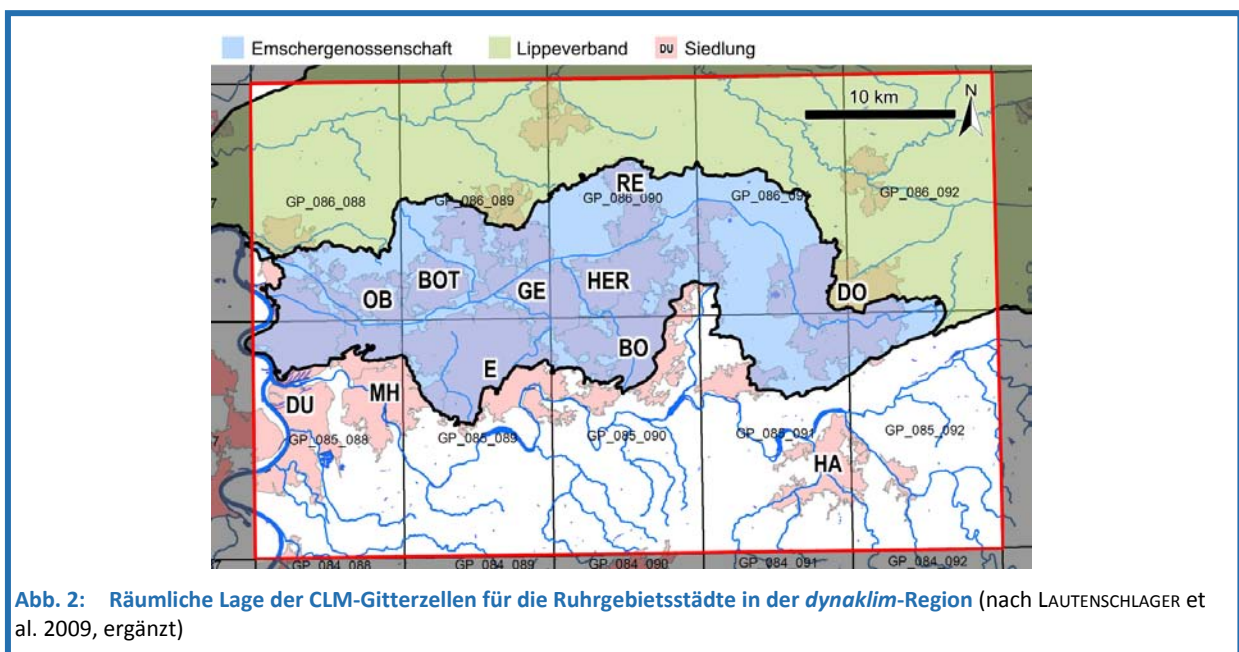


Abb. 2: Räumliche Lage der CLM-Gitterzellen für die Ruhrgebietsstädte in der *dynaklim*-Region (nach LAUTENSCHLAGER et al. 2009, ergänzt)

Mit der Gitterzellenauswahl werden zwar alle Ruhrgebietsstädte zwischen Duisburg und Dortmund erfasst, allerdings beinhalten die Zellen zu > 60 % auch Teile der angrenzenden ländlichen Räume des Südmünsterlandes im Norden sowie des Bergischen Landes bzw. des Sauerlandes im Süden. Daher wird nachfolgend nicht von Veränderungen des Stadtklimas i. e. S. gesprochen, sondern vom Klima des „urban geprägten Raumes“ in der *dynaklim*-Region.

Die Untersuchung der zeitlichen Veränderungen und Projektionen des Klimas erfolgt innerhalb des KLIMZUG-Programms anhand von drei Bezugszeiträumen. Für die Gegenwart wird die Referenzperiode 1961 bis 1990 verwendet. Die nahe Zukunft umfasst den Zeitraum von 2021 bis 2050. Die ferne Zukunft am Ende des Jahrhunderts liegt zwischen 2071 bis 2100.

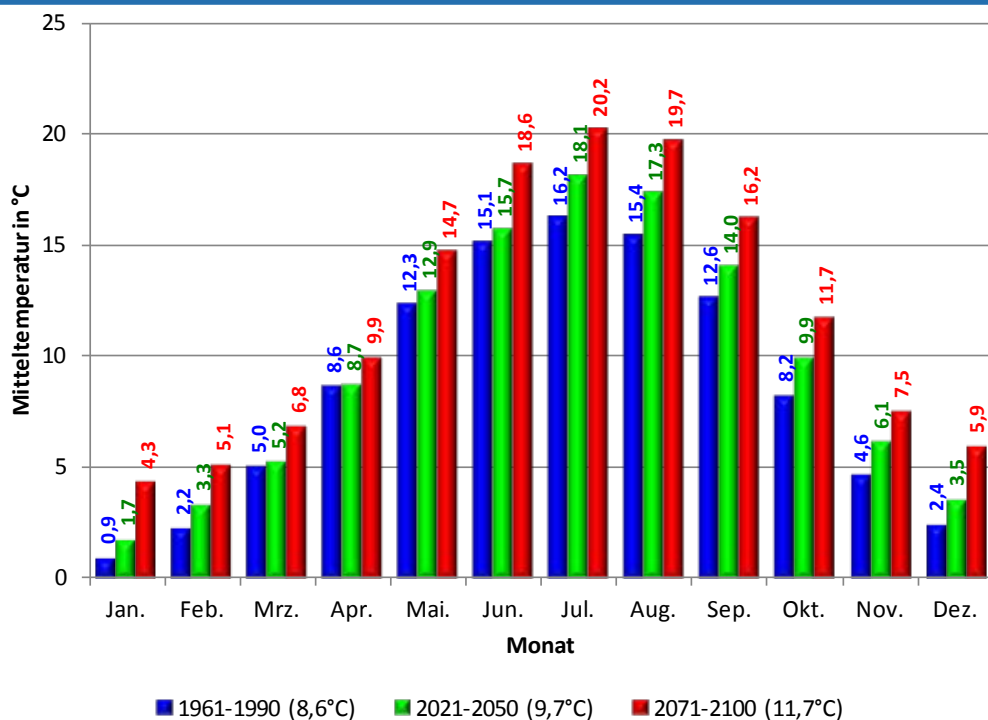
Als Indikatoren der klimatischen Veränderungen eignen sich Monatsmitteltemperaturen, die Auftrittshäufigkeit klimatischer Ereignistage sowie die Häufigkeit und Andauer von Hitzewellen.

Die Ergebnisse für die Jahrgänge der Lufttemperatur sind in Tab. 1 und Abb. 3 dargestellt. In der nahen Zukunft (2021 – 2050) ist gegenüber der Referenzperiode (1961 - 1990) im urbanen Raum der *dynaklim*-Region ein Anstieg der Jahresmitteltemperatur um 1,1 K von 8,6 °C auf 9,7 °C zu erwarten. Für das Ende des Jahrhunderts beträgt die Temperaturzunahme 3,1 K, und zwar von 8,6 °C auf 11,7 °C.

**Tab. 1: Mittlere monatliche Lufttemperaturen in °C in 2 m ü. Gr. für den urban geprägten Raum der *dynaklim*-Region für die Referenzperiode 1961 – 1990 sowie Projektionen für die nahe (2021 – 2050) und ferne (2071 – 2100) Zukunft**

	Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mai.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
1961-1990	0,9	2,2	5	8,6	12,3	15,1	16,2	15,4	12,6	8,2	4,6	2,4	8,6
2021-2050	1,7	3,3	5,2	8,7	12,9	15,7	18,1	17,3	14	9,9	6,1	3,5	9,7
2071-2100	4,3	5,1	6,8	9,9	14,7	18,6	20,2	19,7	16,2	11,7	7,5	5,9	11,7

IPCC-Treibhausgasemissionsszenario A1B, Modell CLM / ECHAM5. Datenquelle: PIK/CEC (LAUTENSCHLAGER et al. 2009).



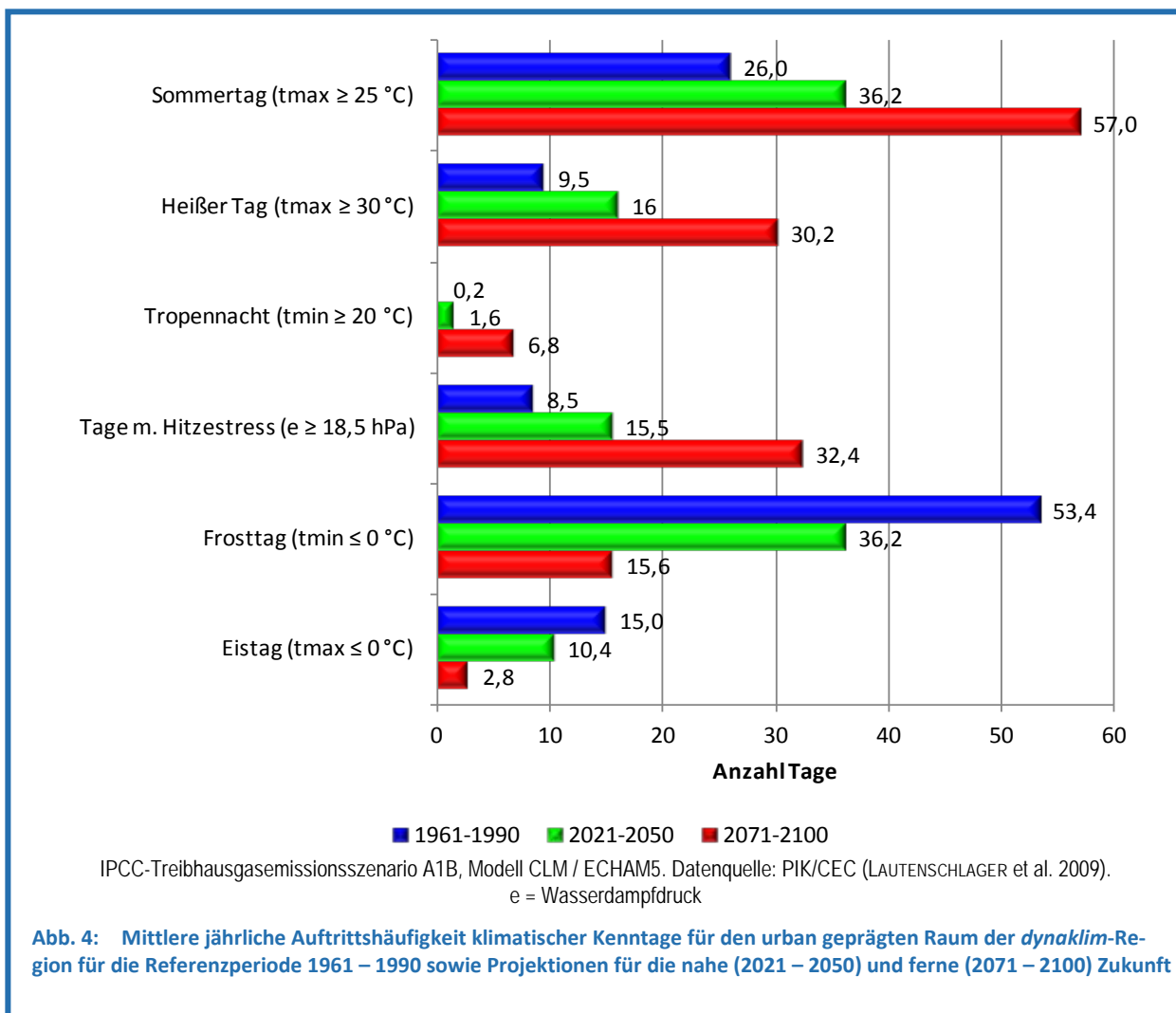
IPCC-Treibhausgasemissionsszenario A1B, Modell CLM / ECHAM5. Datenquelle: PIK/CEC (LAUTENSCHLAGER et al. 2009)

**Abb. 3: Mittlere monatliche Lufttemperaturen in °C in 2 m ü. Gr. für den urban geprägten Raum der *dynaklim*-Region für die Referenzperiode 1961 – 1990 sowie Projektionen für die nahe (2021 – 2050) und ferne (2071 – 2100) Zukunft**



Auffällig an der jährlichen Temperaturverteilung ist die deutliche Zunahme der Monatsmitteltemperaturen in der zweiten Jahreshälfte, insbesondere im Juli und August (1,9 K in der nahen Zukunft sowie bis zu 4,3 K in der fernen Zukunft). Bereits aus diesen Daten lässt sich ableiten, dass die sommerliche Hitzebelastung deutlich zunimmt, wie weiter unten gezeigt wird. Aber auch im Herbst (September bis November) wird ein erheblicher Anstieg der Monatsmitteltemperaturen erwartet (bis zu 1,7 K in der nahen Zukunft sowie bis zu 3,6 K in der fernen Zukunft), während in den Frühlingmonaten März und April die Temperaturzunahme am geringsten ausfällt (bis zu 0,2 K in der nahen Zukunft sowie bis zu 1,8 K in der fernen Zukunft).

Obwohl der Anstieg der Jahresmitteltemperatur von 1,1 K für die nahe Zukunft bzw. 3,1 K für das Jahrhundertende (2100) moderat erscheint, werden markante oder extreme Ereignisse gegenüber heute deutlich zunehmen. Hieraus resultiert auch der Handlungsbedarf für Anpassungsmaßnahmen. Um diesen Sachverhalt zu verdeutlichen, zeigt Abb. 4 exemplarisch für die Ruhrregion die zu erwartende mittlere jährliche Veränderung ausgewählter klimatischer Kenntage.

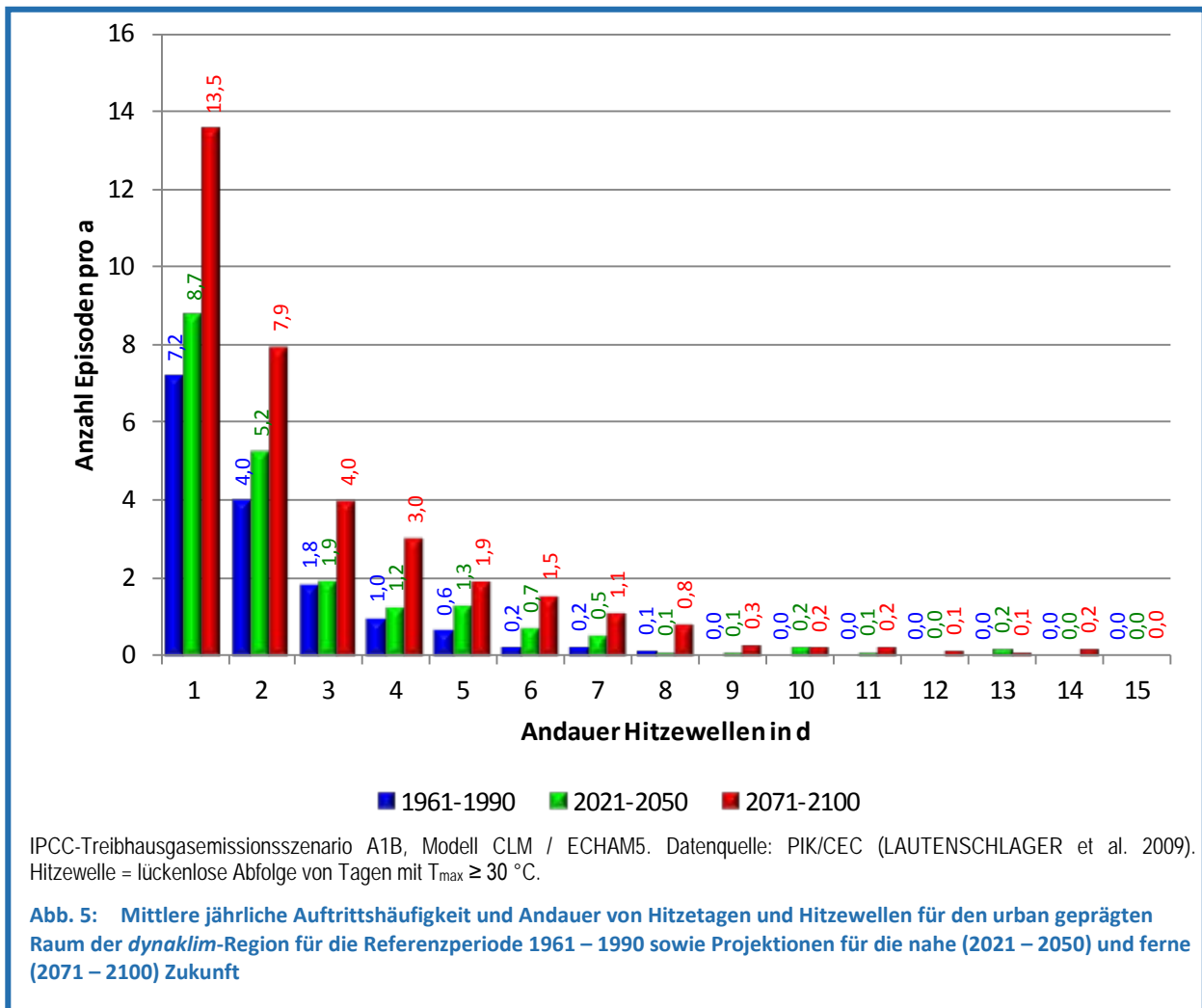


Als Indikator der Wärmebelastung können die klimatischen Schwellenwerte Sommertag, heißer Tag, Tropennacht sowie die Tage mit Hitzestress zu einer ersten Abschätzung herangezogen werden.

Die Sommertage ( $t_{max} \geq 25 \text{ °C}$ ) werden bis zur Jahrhundertmitte um 40 % von ca. 26 Tagen auf 36 Tage sowie zum Jahrhundertende um mehr als das Doppelte, nämlich auf 57 Tage, zunehmen. Letzteres entspricht in der Summe der Tage einer Episode immerhin von mehr als 8 Wochen. Bei den

seltener auftretenden heißen Tagen ( $t_{\max} \geq 30 \text{ °C}$ ) ist der Zuwachs noch deutlicher ausgeprägt: Der Zuwachs beträgt bis zur Jahrhundertmitte 70 % und bis zum Jahrhundertende das Dreifache (30 Tage). Mit der gleichen Proportionalität steigen auch die Anzahl der Tropennächte ( $t_{\min} \geq 20 \text{ °C}$ ) sowie der Tage mit Hitzestress (Dampfdruck  $e \geq 18,5 \text{ hPa}$ ) an. Unter Berücksichtigung der Betrachtung der Jahresmittelwerte auf Basis von Dekadenmitteln ist davon auszugehen, dass einzelne, extreme Jahre zu noch höheren Auftretshäufigkeiten von Tagen mit Wärmebelastung führen könnten (vergleichbar mit dem „Jahrhundertssommer“ 2003).

Bezüglich der Wärmebelastung ist neben der Anzahl der heißen Tage auch ihr Vorkommen in Form von Hitzetagen und Hitzewellen (BECKER 2011) von Interesse. Abbildung 5 zeigt die Änderungen der Häufigkeiten von Hitzetagen bzw. Hitzewellen unterschiedlicher Andauer. Gegenüber der Referenzperiode werden bis Mitte des Jahrhunderts (2021 bis 2050) die eintägigen Hitzeereignisse mit einem Anstieg von jährlich durchschnittlich 7 Fällen auf ca. 9 Fälle ansteigen. Zum Jahrhundertende ist eine annähernde Verdoppelung auf ca. 14 Tage zu erwarten. Die Auftretshäufigkeit von Hitzewellen mit einer Andauer von zwei Tagen wird zur Jahrhundertmitte nur leicht von 4 auf 5 Ereignisse pro Jahr ansteigen, aber zum Ende des Jahrhunderts ebenfalls eine Verdoppelung auf 5 Ereignisse erfahren. Bei den drei- und viertägigen Hitzewellen ist bis 2050 zunächst kein markanter Anstieg zu beobachten. Erst zum Jahrhundertende werden sich die Ereignisse verdoppeln bzw. verdreifachen.



Von Bedeutung sind die Hitzeereignisse mit einer Andauer von fünf oder mehr Tagen: In der Gegenwart liegt nämlich die jährliche Auftrittshäufigkeit bei  $< 1$  pro Jahr, so dass bisher die fünftägigen Hitzewellen (0,6 Ereignisse/Jahr) mindestens alle zwei Jahre sowie die sechs- und siebentägigen Hitzewellen (0,2 Ereignisse/Jahr) nur alle fünf Jahre aufgetreten sind. Zum Ende des Jahrhunderts werden diese Ereignisse jedoch ein- bis zweimal jährlich vorkommen. Auch die achttägige Hitzewelle, die bisher als Dekadenereignis (0,1 Ereignisse/Jahr) einzustufen war, wird zum Jahrhundertende fast jedes Jahr (0,8 Ereignisse/Jahr) auftreten. Hitzewellen von neun und mehr Tagen Andauer, die bisher in der dreißigjährigen Statistik nicht vorkamen (0,0 Ereignisse/Jahr), werden ein bis dreimal pro Dekade stattfinden (0,1 bis 0,3 Ereignisse/Jahr) (vgl. SCHÖNWIESE et al. 2004).

Die Klimaänderung wird sich auch auf das thermische Niveau im Winter auswirken, was durchaus positive Aspekte beinhaltet, beispielsweise hinsichtlich der Verringerung des Heizbedarfs oder der Reduzierung des Schneeräumens (BRANDT 2007). Nach Abb. 4 (s. o.) werden sich die Frosttage von 53 auf 16 Tage um 70 % verringern. Die Eistage reduzieren sich auf 20 % (3 statt 15 Tage). Es wird somit deutlich, dass der thermische Aspekt des Klimawandels ambivalent zu beurteilen ist, was bei Planungsstrategien berücksichtigt werden sollte.

### 3 Probleme und Handlungsoptionen zur Wärmebelastung in Städten während Hitzewellen unter dem Einfluss des Klimawandels

Städte weisen gegenüber dem offenen Umland ein höheres thermisches Niveau auf. Die Überwärmung beträgt in mitteleuropäischen Großstädten im Jahresdurchschnitt ca. 1 K bis 3 K, kann aber an heißen, austauscharmen Tagen auf Maximalwerte von 8 K oder höher ansteigen (KUTTLER 2011a).

Primäre Ursachen dieser „städtischen Wärmeinseln“ sind:

- Künstliche, Wärme speichernde Materialien der Oberflächen, Gebäude und Bauwerke
- Hoher Versiegelungsgrad
- Dichte Bebauung
- Geringer Vegetationsanteil
- Geringe Verdunstung
- Mangelnde Durchlüftung (Wind)
- Abgabe von Prozesswärme (Energiegewinnung, Industrie und Gewerbe, Hausbrand, Kfz-Verkehr)

Die Oberflächenmaterialien sowie die Bausubstanz absorbieren die kurzweilige Einstrahlung und speichern diese bei hohen Wärmekapazitätswerten als Wärme, die verzögert sowohl an die Atmosphäre abgegeben wird als auch in die Baukörper eindringt. Der Grad der Überwärmung nimmt mit ansteigender Versiegelungsrate und Flächenausdehnung bzw. Einwohnerzahl der Stadt zu (Abb. 6).

Die Überwärmung kann an heißen Tagen zu erhöhten thermischen Belastungen unter der Bevölkerung führen (MAYER et al. 2008). Diese Belastung beschränkt sich nicht nur auf den Aufenthalt im Freien während der Tagstunden, sondern setzt sich nachts in den Häusern fort (KUTTLER 2011). Die Relevanz der medizinisch unerwünschten Wärmebelastung resultiert auch aus der hohen Einwohnerdichte in den wärmebelasteten Quartieren.

Die Städte der *dynaklim*-Region sind von der sommerlichen Hitzebelastung ebenfalls betroffen. Die Problematik konnte am Beispiel der *dynaklim*-Modellstadt Oberhausen mit den umfassenden stadtklimatischen Grundlagenuntersuchungen in den *dynaklim*-Aktivitäten A4.3.1 „Messung der urbanen Evapotranspiration“ (KUTTLER et al. 2012a, GOLDBACH 2012, GOLDBACH & KUTTLER 2012) und A4.3.2 „Prognose- und Diagnoseanalysen zur Verbesserung des Stadtklimas“ (MÜLLER et al. 2013, KUTTLER et al. 2012b) dargelegt werden.

Die Auftrittshäufigkeit verschiedener thermischer Ereignistage in unterschiedlichen Oberhausener Flächennutzungsstrukturen (Tab. 2) bestätigt, dass die Innenstadtbereiche in hohem Maße von der Wärmebelastung betroffen sind. Die Anzahl der Sommertage liegt mit 35 Tagen deutlich höher als am Stadtrand (29 Tage). Im Umland, insbesondere in Wäldern und an Gewässern, werden bis 50 % (Wald) weniger Sommertage als in der Innenstadt beobachtet. Gleiches lässt sich für die Abendstunden (Grillpartytage) und Nachtstunden (tropische Nächte) feststellen. Hier ist insbesondere der Kontrast zwischen Innenstadt und Freiland mit 40 : 17 Grillpartytagen und 12 : 5 tropischen Nächten auffällig.

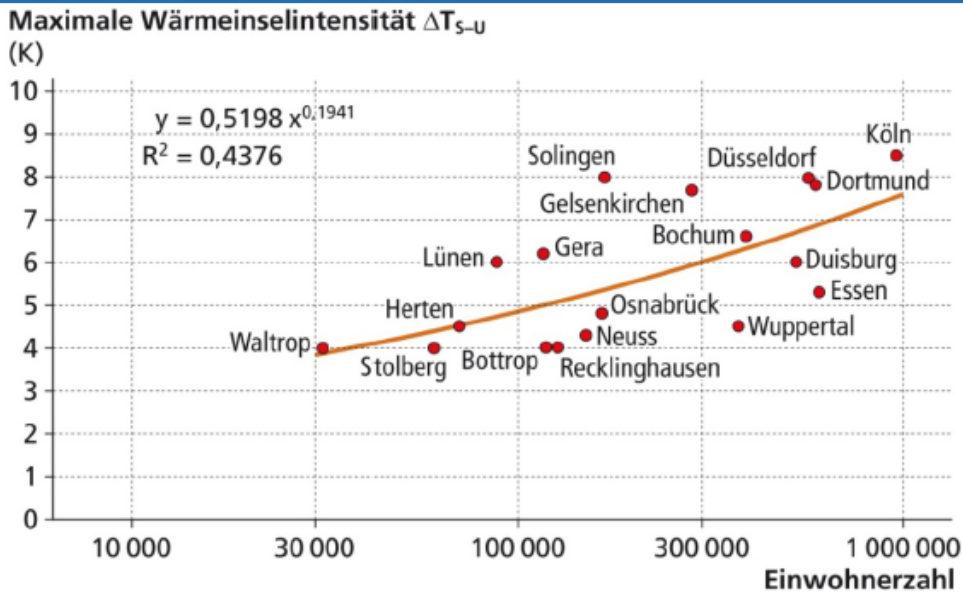


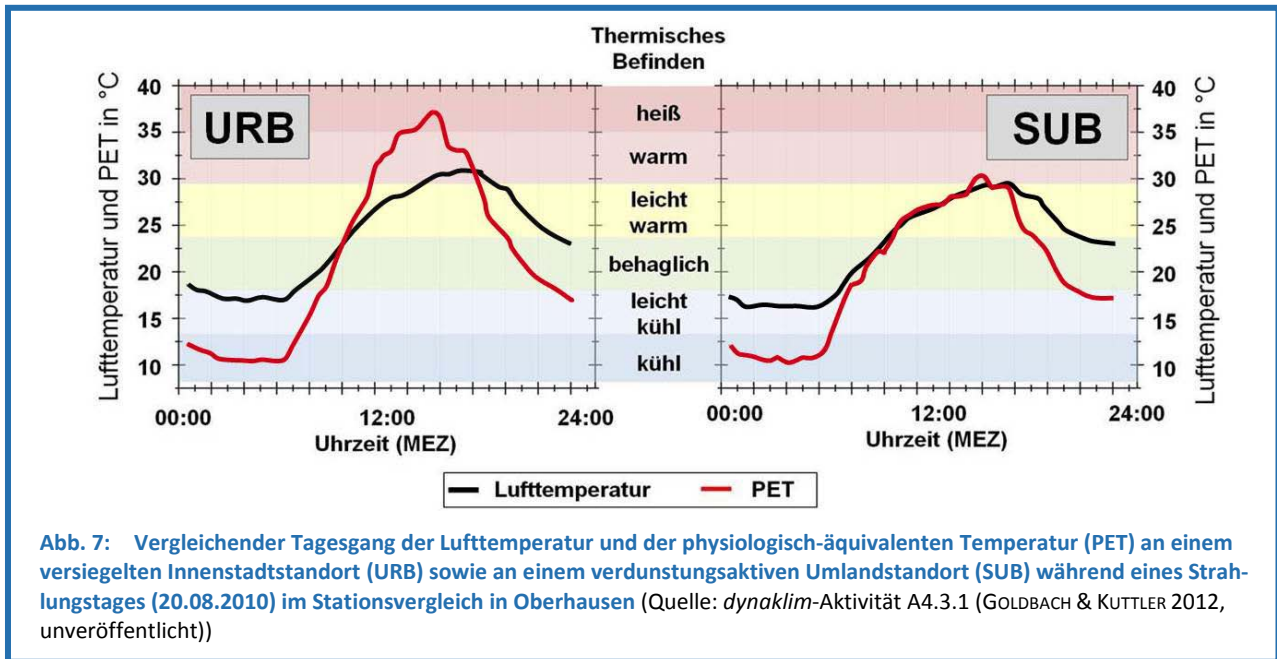
Abb. 6: Maximale Wärmeinselintensitäten in Abhängigkeit von der Einwohnerzahl für ausgewählte Städte einschließlich des Ruhrgebietes (KUTTLER 2011a)

Tab. 2: Auftrittshäufigkeit klimatischer Ereignistage in ausgewählten Flächennutzungen der *dynaklim*-Modellstadt Oberhausen (Quelle: *dynaklim*-Aktivität A4.3.2 (KUTTLER et al. 2011b))

Standort		Stadt			Umland		
		Innenstadt	Stadt-rand	Park	Freiland	Wald	Gewässer
Sommertage	$t_{\max} \geq 25 \text{ °C}$	35	29	26	23	16	19
Grillpartytage	$t_{21\text{Uhr}} \geq 20 \text{ °C}$	40	26	25	17	16	25
tropische Nächte	$t_{\min} \geq 20 \text{ °C}$	12	8	9	5	5	6

Basis: Stundenmittelwerte des Messzeitraums 01.08.2010-31.07.2011

Tabelle 2 zeigt ferner, dass die Wärmebelastung umso geringer ist, je weniger die Flächen versiegelt sind. So kann ein innerstädtischer Park bereits zur Reduktion der Überwärmung beitragen. Ursache der geringeren Wärmebelastung der unversiegelten Flächen ist – bei Verfügbarkeit von Wasser - ihre Möglichkeit zur Verdunstung, bei der die Verdunstungsenergie nicht mehr zur Lufterwärmung beitragen kann. Hierzu durchgeführte vergleichende Messungen der Lufttemperatur und der thermischen Behaglichkeit an einem versiegelten Innenstadstandort und an einem verdunstungsaktiven Umlandstandort während eines heißen Tages in Oberhausen haben ergeben, dass trotz der an beiden Standorten identischen Tageshöchsttemperatur von 30 °C die physiologische Äquivalenttemperatur PET am Umlandstandort aufgrund aktiver Verdunstung um 7 K niedriger ist und damit die thermische Behaglichkeit um zwei Stufen von „heiß“ auf „leicht warm“ reduziert wird (Abb. 7).



Neben der Verdunstung trägt auch die Verschattung zur Wärmereduktion bei, wie die Auftrittshäufigkeiten der Kenntage in o. g. Tab. 2 zeigen. In allen Fällen werden nämlich im flächig beschatteten Wald im Gegensatz zur Innenstadt mit ihren vielen besonnten Flächen und Fassaden weniger als die Hälfte dieser Tage registriert.

Bezüglich möglicher Handlungsempfehlungen zur Hitzereduktion in Stadtquartieren sollte als Fazit der Aktivitäten 4.3.1 sowie 4.3.2 der Fokus auf die Schaffung von verdunstungsaktiven Flächen, Verschattungszonen sowie Gebäudeverschattungen gelegt werden. Auch die Verbesserung der Durchlüftung sowie Fassaden- und Dachbegrünungen und die Aufhellung von Fassaden können zur Hitzeminderung beitragen.

Da die Wärmebelastung in Gebäuden neben der Tagsituation auch nachts aufgrund der am Tage in der Bausubstanz gespeicherten und auch nachts abgegebenen Wärme hoch sein kann, gilt es, die Gebäude vor sonnenbedingter Aufheizung zu schützen. Zur Verschattung südexponierter Gebäudewände sollten primär Fassadenbegrünungen favorisiert werden, um auf den engen Freiflächen des Quartiers die Anzahl der Bäume zur besseren Durchlüftung zu begrenzen. Auch die Fassadenaufhellung sowie die im Rahmen der EnEV geforderte Gebäudewärmedämmung können zur Reduktion der Gebäudeaufheizung beitragen. Bei nur gering geneigten oder flachen Dächern kann Dachbegrünung eine Überwärmung von Dachgeschosswohnungen reduzieren (KUTTLER 2011b).

Gegen Hitzestau im Außenbereich (Straßenschluchten, Hinterhöfe und Gebäudezwischenräume) ist im Bestand die Schaffung beschatteter Flächen, beispielsweise durch Begrünung von Straßenzügen und Innenhöfen mit Bäumen geeignet. Dabei können einzelne Bäume zur Vermeidung des gegenseitigen Kronenschlusses derart positioniert werden, dass sie zwar Schattenzonen schaffen, aber gleichzeitig die Durchlüftung nicht wesentlich behindern. Hierbei wird die Pflanzung im Sinne einer Baumwiese (Savannentyp) empfohlen, bei der vereinzelte großkronige Bäume mit weitläufigem Abstand zueinander und in Längsrichtung der primären Anströmrichtung während Strahlungstagen gepflanzt werden. Bei der Auswahl der Bäume sollte darauf geachtet werden, dass die Pflanzenarten sowohl ein geringes Ozonbildungspotential als auch optimale Toleranzen gegenüber Trockenheit bei eingeschränkter Wasserversorgung aufweisen (Tab. 3).

Die Effizienz verschiedener Maßnahmen wurde in Oberhausen in A4.3.2 mittels numerischer Simulation (ENVI-met) untersucht, indem ein Innenstadtquartier hypothetisch durch andere, unversiegelte Flächennutzungen ersetzt wurde (Abb. 8). Die Analyse der thermischen und räumlichen Wirkung

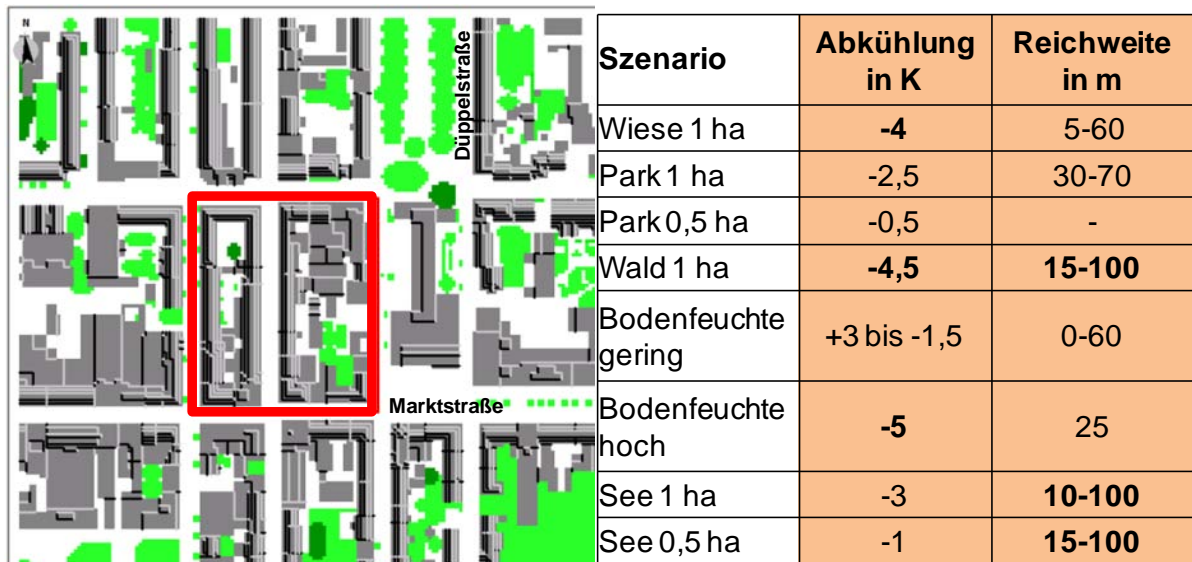
zeigt, dass die größte Hitzereduktion durch gut wasserversorgte, verdunstungsaktive sowie beschattete Flächen erreicht wurde. Die Fernwirkung in die bebauten Umgebung hinein konnte je nach Windrichtung anhand der Eindringtiefe von bis zu 100 m nachgewiesen werden.

Insgesamt steht ein umfangreiches Kontingent an klimatischen städtebaulichen Handlungsmaßnahmen zur Verfügung (Tab. 4), die ihre größte Wirkung dann entfalten, wenn sie optimal kombiniert und in den betroffenen Quartieren flächendeckend angewendet werden.

**Tab. 3: Ozonbildungspotential (OBP) und Trockentoleranz ausgewählter Baumarten sowie ihre Verwendungsempfehlung bei höheren Temperaturen** (nach versch. Verf., hier nach KUTTLER 2011b)

Lateinischer Name	Trivialname	geringes Ozonbildungspotenzial (OBP)*	hohe Trockentoleranz
<b>Acer campestre</b>	<b>Feldahorn</b>	++	++
Acer rubrum	Rotahorn	++	++
Carya ovata	Schuppenrindenhickory	++	+
Carya tomentosa	Spottnuss	++	++
Fraxinus pennsylvanica	Grunesche, Rotesche	++	+
Ginkgo biloba	Ginkgo, Fächerbaum	++	++
Malus tschonoskii	Wollapfel	++	+
Pinus ponderosa	Gelbkiefer	+	++
<b>Pinus sylvestris</b>	<b>Waldkiefer</b>	+	++
<b>Prunus avium</b>	<b>Vogelkirsche</b>	++	++
<b>Pyrus communis</b>	<b>Kulturbirne</b>	++	+
<b>Pyrus pyraeaster</b>	<b>Wildbirne</b>	++	+
Quercus rubra	Roteiche	+	+
Sophora japonica	Japanischer Schnurbaum	+	++
Ulmus parvifolia	Japanische Ulme	++	+
x Cupressocyparis leylandii	Leylandzypresse	++	+
Zelkova serrata	Japanische Zelkove	++	+

\* Geringes OBP: Isoprenemission < 2 µg/(g•h) Trockensubstanz; ++ = sehr gut, + = gut, fett: einheimische Arten



Simulationsszenario, bei dem die rot umfasste Bebauung durch die rechts aufgelisteten Flächennutzungen ersetzt wird. Angabe der Abkühlung als physiologische Äquivalenttemperatur (PET) in K. Bodenfeuchte bezieht sich auf Szenario „Park 1ha“.

**Abb. 8: Thermische und räumliche Wirkung ausgewählter Hitzeminderungsmaßnahmen um 16 Uhr eines heißen Tages in der Innenstadt von Oberhausen, dargestellt anhand der PET (Quelle: dynaklim-Aktivität A4.3.2 (KUTTLER et al. 2011b))**

**Tab. 4: Übersicht über städtebauliche Handlungsmaßnahmen zur Anpassung an Hitzestress im Klimawandel (aus MUNLV 2010, verändert)**

Hinweis: Die H-Kennziffern verweisen auf die detaillierten Maßnahmenerläuterungen im „Handbuch Stadtklima“ (MUNLV 2010).

<b>Gebäudeoptimierung</b>	
H8	Dachbegrünung
H10	Fassadenbegrünung
H14	Hauswandverschattung, Wärmedämmung
H18	Verschattungselemente an Gebäuden
H15	Geeignete Baumaterialien verwenden
<b>Quartiergestaltung</b>	
<i>städtebauliche Infrastruktur</i>	
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 reduzierten Wärmeleit- und –speicherfähigkeiten
H23	Verkehrsflächen mit geringerer Wärmeleit- und –speicherfähigkeit
H26	Nutzung von Überschussmengen aus der örtlichen Grundwasserbewirtschaftung
<i>Grünflächen und Vegetation</i>	
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)
<b>Quartierübergreifende Hinweise</b>	
H4	Festlegen von Bebauungsgrenzen
H11	Erhalt, Schaffung von Frischluftflächen
H16	Erhalt, Schaffung von Luftleitbahnen
H17	Hänge von hangparalleler Riegelbebauung freihalten

#### 4 Identifikation von Anpassungsgebieten in der *dynaklim*-Region

Zur räumlichen Identifikation von wärmebelasteten Anpassungsgebieten müssen diese zunächst definiert werden.

Die in den *dynaklim*-Aktivitäten A4.3.1 (KUTTLER et al. 2012a, , GOLDBACH 2012, GOLDBACH & KUTTLER 2012) und A4.3.2 (KUTTLER et al. 2012b) durchgeführten stadtklimatischen Grundlagenuntersuchungen in der *dynaklim*-Modellstadt Oberhausen haben gezeigt, dass die städtische Überwärmung und damit die potenzielle Hitzebelastung in den dicht bebauten inneren Stadtquartieren am größten ist. Die betroffenen Areale sind räumlich identisch mit den Innenstadt- und Stadtklimatopen (Abb. 9). Diese Klimatope weisen somit den höchsten Anpassungsbedarf auf.

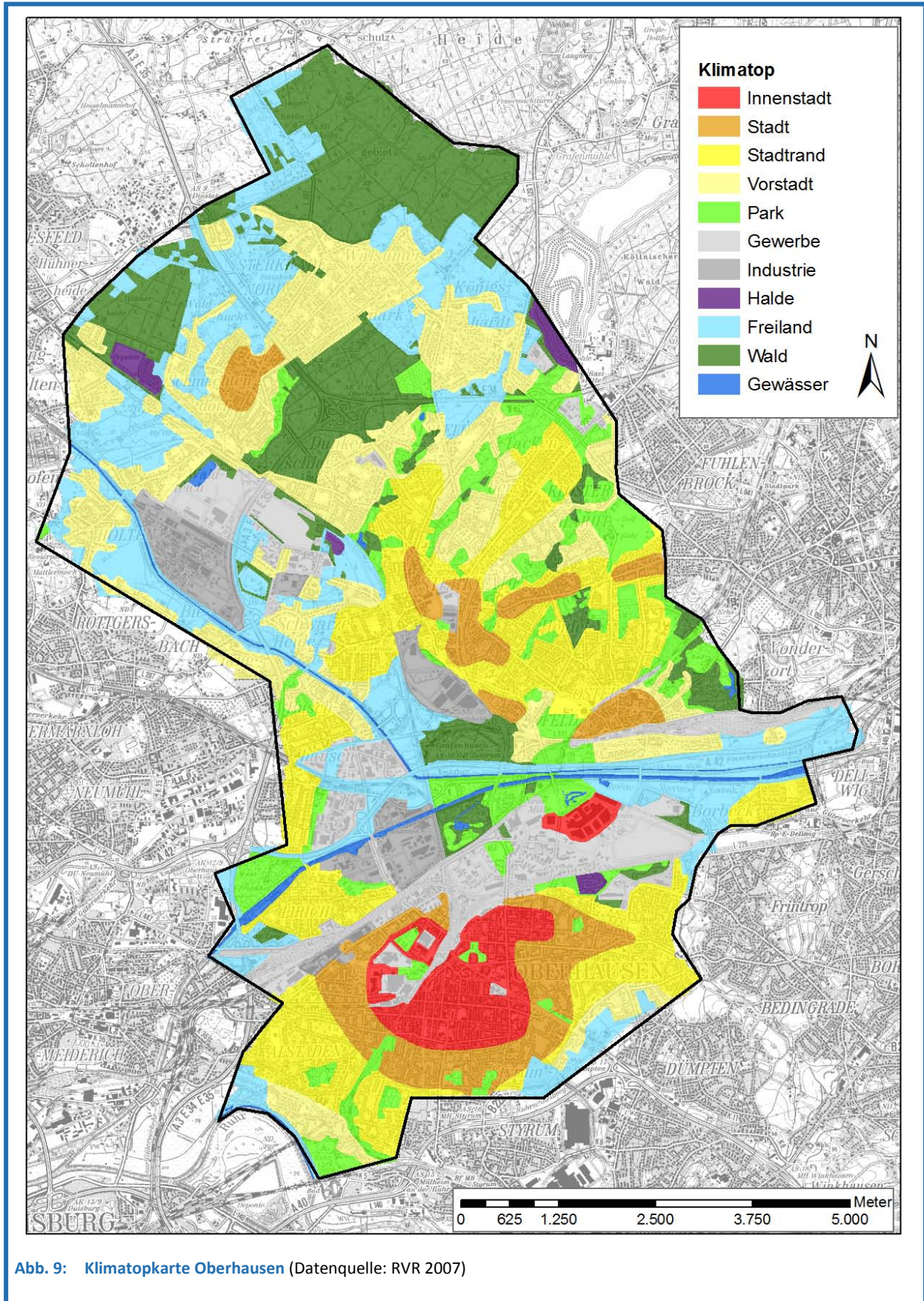


Abb. 9: Klimatopkarte Oberhausen (Datenquelle: RVR 2007)



Durch den Klimawandel werden weitere Klimatotypen verstärkt von Hitzestress betroffen sein. Da die heutigen *mittleren* Temperaturunterschiede *zwischen* benachbarten Klimatopen mit  $< 2$  K geringer sind, als der für die Zukunft zu erwartende mittlere Temperaturanstieg ( $\geq 2$  K), ist davon auszugehen, dass Stadtgebiete, die heute als noch moderat wärmebelastet gelten, in Zukunft als hoch bis stark wärmebelastet einzustufen sind. Daher ist davon auszugehen, dass auch die an die Innenstadt- und Stadtklimatope angrenzenden Stadtrandklimatope von der Hitzebelastung betroffen sein werden, unter der Voraussetzung, dass die Flächennutzung nicht verändert wird.

Damit vergrößert sich beispielsweise in der Modellstadt Oberhausen die Fläche der von Hitzestress betroffenen Quartiere von heute  $8,5 \text{ km}^2$  (11 % der Stadtfläche) um mehr als das Doppelte auf zukünftig  $20,3 \text{ km}^2$  (26 %) zum Ende des Jahrhunderts (Abb. 10). Andere Städte der Region werden im vergleichbaren relativen Flächenumfang von sommerlicher Hitzebelastung betroffen sein.

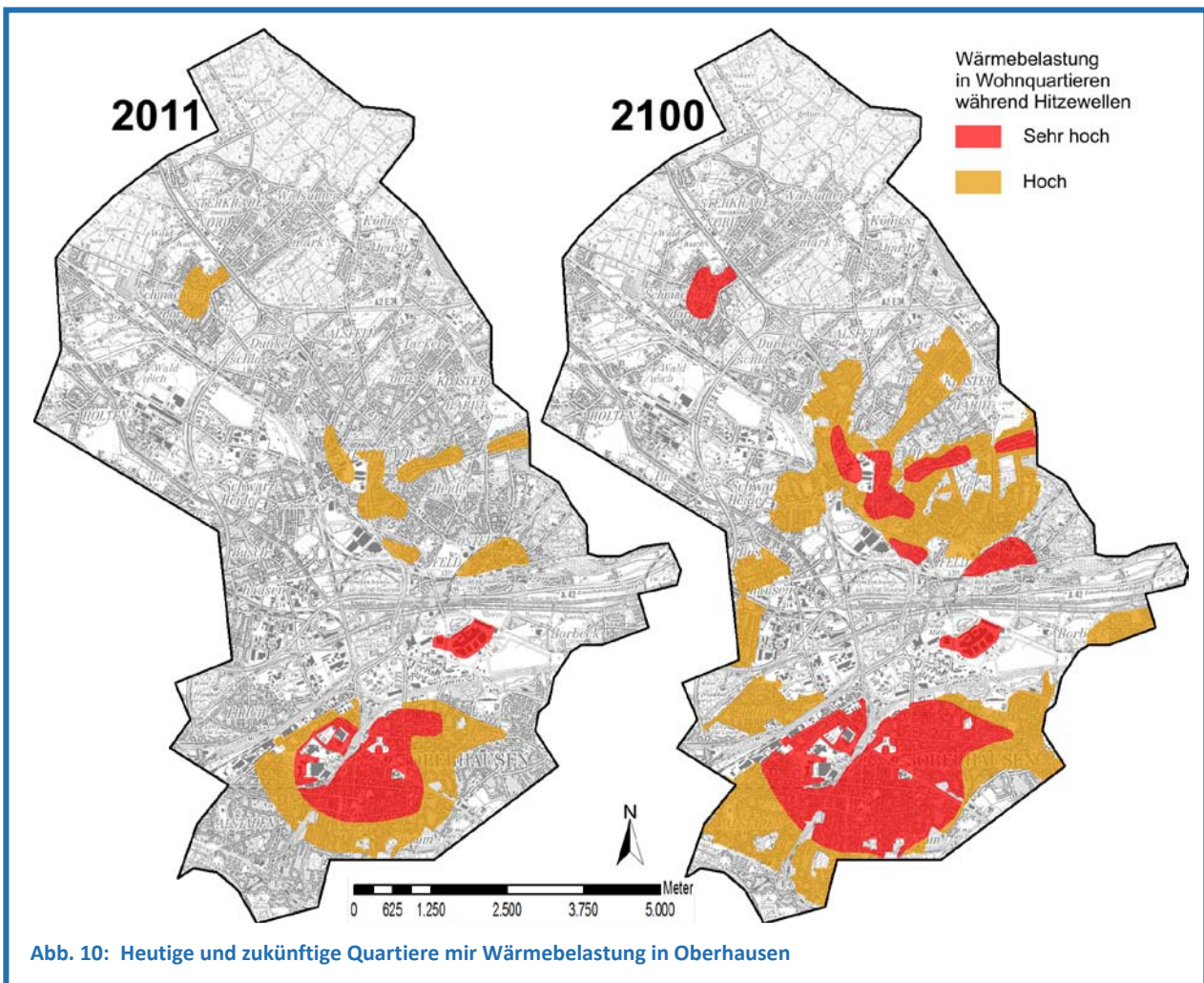


Abb. 10: Heutige und zukünftige Quartiere mit Wärmebelastung in Oberhausen

Ein Hauptziel dieser Aktivität ist es daher, die in der Modellstadt Oberhausen gewonnenen Erkenntnisse zur stadtklimatischen Situation und zur Anwendung von Anpassungsmaßnahmen auf die Städte der *dynaklim*-Region zu übertragen.

Zur Identifikation von Gebieten mit Anpassungsbedarf an Wärmebelastung in der *dynaklim*-Region sind zunächst die Innenstadt-, Stadt- sowie Stadtrandklimatope zu verorten. Einen ersten Anhaltspunkt für die Lage der betroffenen Klimatope gibt die generalisierte Klimatopkarte des Ruhrgebietes des RVR (2012) (Abb. 11). Danach weisen neben den großen Städten ( $> 100.000$  Einwohner) auch mittelgroße und kleinere Städte entsprechende Klimatope auf. In Übereinstimmung mit KÜTTLER

(2011a) liegen die von Hitzestress am stärksten betroffenen Innenstadtklimatope allgemein nur in Städten mit > 70.000 Einwohnern (z. B. Dorsten oder Lünen). Die ebenfalls hitzeanfälligen Stadtklimatope finden sich neben den großen Städten auch in kleineren Städten > 30.000 Einwohner (z. B. Haltern oder Datteln). In den kleineren Kommunen mit mindestens 25.000 Einwohnern sind lediglich die locker bebauten Stadtrandklimatope anzutreffen, die heute nur moderat, in Zukunft jedoch verstärkt thermisch belastet sein könnten, wie z. B. in Selm oder Schermbeck.

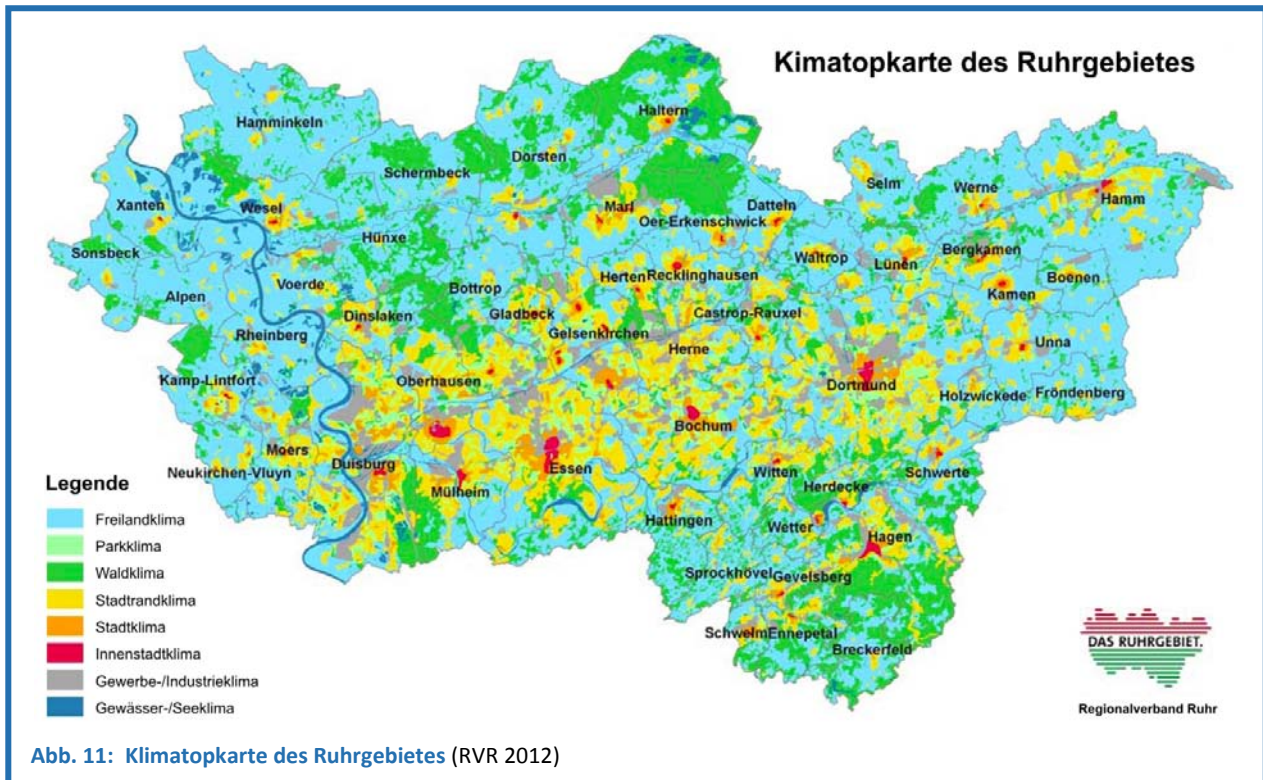


Abb. 11: Klimatopkarte des Ruhrgebietes (RVR 2012)

Die *dynaklim*-Region schließt neben dem RVR-Gebiet auch das Gebiet des Lippeverbandes ein, das jenseits des RVR-Gebietes auch Teile des nördlichen und östlichen Münsterlandes umfasst (vgl. Abb. 1, S. 1). Auch in diesen Gebietsausschnitten liegen Orte mit > 25.000 Einwohnern, die zumindest Stadtrandklimatope aufweisen könnten und damit ebenfalls potenziell anpassungsbedürftig sind. Hierzu zählen neben der Großstadt Münster auch die kleineren Städte Ahlen, Beckum, Coesfeld, Dülmen, Lüdinghausen, Nottuln, Senden, Soest und Werl.

Da nicht davon auszugehen ist, dass für alle potenziell von Hitzestress betroffenen Orte Klimatopkarten (Synthetische Klimafunktionskarten, VDI 3787, Bl. 1) vorliegen, wird zur Lokalisation der Anpassungs- und Schutzgebiete ein Verfahren eingesetzt, das auf der in allen Kommunen vorhandenen, GIS-gestützten Flächennutzungskartierung basiert. Dieses als Klimamanagementsystem bezeichnete Verfahren (DÜTEMEYER et al. 2013) wird nachfolgend beschrieben und auf die Modellstadt Oberhausen beispielhaft angewendet.

## 5 Klimamanagementsystem

In den Städten der *dynaklim*-Region sind die versiegelten urbanen Gebiete als Problemgebiete mit Anpassungsbedarf gegen Wärmebelastung auszuweisen. Gleichzeitig sind diejenigen Flächen zu identifizieren, die aufgrund ihrer positiven klimatisch-lufthygienischen Eigenschaften einen Gunst- oder Ausgleichsraum darstellen und eine klimatisch ausgleichende Funktion für die belasteten Quartiere übernehmen können. Diese Flächen weisen einen hohen Schutzbedarf auf. Wie in den vorhergehenden

den Kapiteln gezeigt wurde, lassen sich derartige Flächen methodisch eindeutig ausweisen. Auch sind bereits speziell für das Ruhrgebiet Flächenbehandlungsoptionen in Abhängigkeit von der Klimawandel- und Hitzebetroffenheit auch bezüglich der Bevölkerungsdichte und -struktur erarbeitet worden (MUNLV 2010) (s. Kap. 3).

Ausgehend von diesen Erkenntnissen soll von den Akteuren der *dynaklim*-Region mit raum- und umweltbezogenen Aufgabenbereichen der Schritt in die praktische Umsetzung der städtebaulichen Anpassungsmaßnahmen vollzogen werden. Dieses setzt bei den Akteuren neben Erkennung der Handlungsnotwendigkeit voraus, dass im räumlichen Verantwortungsbereich der Akteure die Problemflächen bzw. -quartiere konkret lokalisiert und bezüglich des Umfangs des stadtklimatischen Handlungsbedarfs beurteilt werden können. Erst mit dieser „Flächeninventarisierung“ lässt sich vor Ort der Umfang der Betroffenheit und der daraus ableitbaren Handlungsmaßnahmen quantifizieren.

Für diese Aufgabe wird in der vorliegenden *dynaklim*-Aktivität 4.3.3 „Handlungsleitfaden - Steuerungswerkzeug zur städtebaulichen Anpassung an thermische Belastungen im Klimawandel“ das Werkzeug des „Stadtklimamanagementsystems“ angewandt (DÜTEMEYER et al. 2013).

Als besondere Eigenschaft bzw. Vorteil dieses Werkzeuges ist zu nennen, dass es auf alle Flächen der *dynaklim*-Region universell anwendbar ist, da für jedwede Flächen Klimainformationen abrufbar sind, ohne zuvor fallweise klimatische Erhebungen vor Ort durchführen zu müssen.

Der Haupteinsatzzweck des Stadtklimamanagementsystems wird in der Lokalisierung und humanbiometeorologischen Bewertung von Problemgebieten, insbesondere von urbanen, hitzebelasteten Quartieren, liegen. Da Klimainformationen jedoch auch für Flächen mit positiven Klimaeigenschaften hinterlegt sind, kann das Stadtklimamanagementsystem zudem zur Untersuchung und Bewertung innerstädtischer sowie ruraler klimatischer Gunst- und Ausgleichsräume eingesetzt werden.

Die Erprobung der für die Anwendung in der *dynaklim*-Region notwendigen Übertragbarkeit des Werkzeuges (DÜTEMEYER et al. 2013) erfolgt anhand der *dynaklim*-Modellstadt Oberhausen.

## 5.1 Anforderungen an ein Stadtklimamanagementsystem

In Hinblick auf die Klimawandelfolgen bezüglich sommerlicher Hitzebelastung in Städten müssen die Informationen Angaben zum thermischen Niveau der Fläche beinhalten. Da jedoch das Problemfeld der Wärmebelastung auch mit den Problemfeldern der Durchlüftung (Hitzestau) und der Luftqualität (zum Beispiel Bildung von Ozon und seiner Vorläufersubstanzen oder Feinstaubbelastungen) verknüpft ist, sind der Austausch (Wind) und die Spurenkonzentrationen (Lufthygiene) ebenfalls zu berücksichtigen.

Weiterhin ist es notwendig, diese drei Indikatoren zu quantifizieren, um das Ausmaß und die Relevanz der Hitzebetroffenheit objektiv beurteilen zu können. Die klimatische Qualifizierung und Quantifizierung der Klimainformation erfolgt über eine Maßzahl, die sowohl die thermischen und austauschrelevanten als auch die lufthygienischen Merkmale der jeweiligen Flächennutzungen objektiv berücksichtigt (DÜTEMEYER et al. 2013). Dieser als „Klimaqualität“ bezeichnete Indikator kann auf sämtliche urbane und rurale Flächen angewendet werden. Darüber hinaus ist das Klimamanagementsystem in der Lage, Klimaqualitätsaussagen zu mehreren Flächen entweder zusammenfassend (Bilanzierung) oder in Relation zu anderen Flächenkontingenten differenzierend zu treffen.

Das Klimamanagementsystem ist technisch so ausgelegt, dass es als Standardsoftware in die Arbeitsumgebung der Akteure integriert werden kann.

Die Aufgaben des Klimamanagementsystems lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Objektive Quantifizierung der thermischen, austauschrelevanten und lufthygienischen Klimaeigenschaften von Flächen unterschiedlicher Nutzung

- Zusammenführung der thermischen, austauschrelevanten und lufthygienischen Quantifizierung in eine Maßzahl (Klimaqualität)
- Anwendung der Klimaqualität auf sämtliche Flächen in der *dynaklim*-Region
- Abfrage der Klimaqualität von Flächen
- Bilanzierung der Klimaqualität für hitzebetroffene Areale, klimatische Gunst- und Ausgleichsräume oder andere ausgewählte, frei definierbare Flächenkontingente
- Bilanzierung der Klimaqualität in Relation zum Gesamtklimazustand von Bezugsräumen (z. B. Stadtgebiete)
- Option der Anwendung für den Planungsfall: nachträgliche Umwidmung von Flächen einschließlich der Änderung der Klimaqualität mit anschließender Möglichkeit der Neubilanzierung der Klimaqualität von Flächenkontingenten.

## 5.2 Methodik

### 5.2.1 Technische Voraussetzungen

Das Klimamanagementsystem beruht auf der Abfrage von Klimainformationen von Flächen. Wie später noch dargelegt wird, basiert die Zuordnung von Klimamerkmale für eine beliebige Fläche auf amtlichen, in der gesamten *dynaklim*-Region verfügbaren Flächennutzungskarten. Als technisches Werkzeug wird daher das Geoinformationssystem (GIS) ESRI ArcMAP 9.x ArcEDITOR (Stand 2008) benutzt, das bei den Akteuren mit raumbasierten Arbeitsfeldern weit verbreitet ist.

#### 5.2.1.1 Vorteile der GIS-Anwendung

Die Anwendung des Klimamanagementsystems im GIS hat den Vorteil, dass Klimainformationen aller urbanen und ruralen Flächen auf Basis amtlicher Kartengrundlagen flächenscharf dargestellt werden können. Ferner lassen sich über die Selektions- und Statistikwerkzeuge von ArcMAP relativ schnell Bilanzierungen der Klimaqualität verschiedener Flächen erstellen. Schließlich ist es möglich, die Klimainformationen gegebenenfalls mit anderen, im GIS vorgehaltenen, Themenkarten (z. B. Flächennutzungs-, Relief-, Boden-, Biotop-, Pflanzungskarten, etc.) zu verschneiden, um im Rahmen des Planungsprozesses weiterführende Indikatoren zum Naturhaushalt zu generieren.

#### 5.2.1.2 Funktionale Spezifika

Durch die technische Umsetzung im GIS unterliegt das Managementsystem folgender funktionaler Einschränkung:

Das GIS-basierte Klimamanagementsystem ist keine Klimasimulationssoftware, sondern ein datenbankbasiertes Abfragesystem von Flächenattributen im Sinne einer „Digitalen Flächenkartei“. Die für das Klimamanagementsystem für jede Fläche anzugebende Klimainformation hat dezidiert die Funktion eines „Zahlenstempels“ und daher die gleiche Funktion wie jedes andere Flächenattribut (z. B. Flächengröße, Postleitzahl oder Flächennutzungstyp). Ferner arbeitet das System flächenscharf, d. h. beiderseits einer Flächengrenze existiert jeweils nur genau ein einziger Klimaqualitätswert (Klimaqualität). Fließende Übergänge von Eigenschaften zwischen benachbarten Flächen sind daher systembedingt nicht darstellbar.

Somit kann das Klimamanagementsystem keine atmosphärischen Prozesse berechnen oder abbilden und daher auch keine funktionalen klimatischen oder lufthygienischen Beziehungen zwischen verschiedenen zusammen- oder getrenntliegenden Flächen herstellen. Dieses betrifft insbesondere Aussagen zur Nah- oder Fernwirkung auf andere Areale (z. B. Beziehungen zwischen Quell- und Wirkgebieten, Gunst- und Lasträumen und daran geknüpfte Ventilationsschneisen, Grünzüge, etc.).

## 5.2.2 Maßstabebene und Flächentypisierungen

### 5.2.2.1 Maßstabebene und Abgrenzung zur synthetischen Klimafunktionskarte

Um das Klimamanagementsystem in der Praxis einsetzen zu können, müssen Aussagen zur Klimaqualität mindestens auf Quartiers- oder B-Plan-Ebene flächenscharf bereitgestellt werden, da die städtebaulichen Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel nur auf dieser Ebene konkret anwendbar sind (siehe Kap. 3). Damit beträgt der Bearbeitungsmaßstab 1 : 5.000 oder größer. So unterscheidet sich das Klimamanagementsystem grundlegend von den bereits in vielen Städten der *dynaklim*-Region vorhandenen synthetischen Klimafunktionskarten, die zum Zweck der gesamtstädtischen Übersicht i. d. R. auf dem Maßstab 1 : 10.000 oder kleiner basieren und damit eine Generalisierung bezüglich der Klimatopabgrenzung aufweisen.

### 5.2.2.2 Flächentypisierungen

Die Klimainformationen müssen für sämtliche Flächen der Städte und ihrer ruralen Gebiete angegeben werden. Als Grundlage im Anwendungsmaßstab dienen die in den meisten Kommunen vorhandenen Realnutzungskartierungen (RNK), die in einer hohen Flächennutzungsdifferenzierung vorliegen. Beispielsweise werden für das Stadtgebiet der *dynaklim*-Modellstadt Oberhausen ca. 15.000 Einzelflächen in der RNK ausgewiesen, die in 115 Flächennutzungsarten klassifiziert sind (STADT OBERHAUSEN 2008).

Für jede Flächennutzungsart muss die Klimaqualität quantifiziert werden. Dabei treten folgende Anforderungen auf:

- Zur eindeutigen Quantifizierung jeder Flächennutzungsart müssen jeweils die entsprechenden Klimaindikatoren, aus denen die Klimaqualität errechnet wird (siehe Kap. 5.2.3), bekannt sein. Dieses würde voraussetzen, dass in jeder Flächennutzungsart repräsentative Klimainformationen erhoben werden. Das ist jedoch mit vertretbarem Aufwand für den Anwender nicht möglich bzw. soll durch dieses System auf besondere Einzelfälle reduziert werden.
- Da aus praktischen Gründen nicht jede Einzelfläche per Ortsbegehung in Augenschein genommen werden kann, ist eine Zuordnung von Klimainformationen per Analogieschluss über die vorgegebene Bezeichnung der Flächennutzungsarten erforderlich.

Ein entsprechender Lösungsansatz sieht vor, dass den verschiedenen Flächennutzungsarten Klimatope zugordnet werden. Bei den Klimatopen handelt es sich um Flächen mit vergleichbaren mikroklimatischen und lufthygienischen Eigenschaften, die primär durch die Flächenbeschaffenheit (Nutzung) geprägt werden und somit zur Bestimmung der flächentypischen Klimaeigenschaften herangezogen werden können. Die Definition der Klimatope kann nach VDI-Richtlinie 3787, Blatt 1, (1997, 2003) oder STEWART (2011) erfolgen. Da das neuere Verfahren nach Stewart zwar eine detailliertere Differenzierung urbaner Flächen erlaubt, aber hinsichtlich der benötigten anspruchsvollen Eingangsdaten hier nicht praktikabel ist, wird auf die in Deutschland etablierte Klimatopklassifikation des VDI zurückgegriffen. Die VDI-Klimatopklassifizierung sieht bereits 10 Klimatope vor (Tab. 5) die in engem Zusammenhang mit der Flächennutzung stehen. Die Anwendung der Klimatopklassifizierung erfolgt normalerweise für die Erstellung von synthetischen Klimafunktionskarten im mittleren Maßstab der FNP-Ebene.

Diese Klassifikation bedarf hier jedoch einer Erweiterung, da es in der großmaßstäbigen RNK Flächennutzungen gibt, für die in der Richtlinie VDI 3787, Blatt 1 aufgrund des kleineren Maßstabsbezuges bisher keine Klimatopklassifizierung vorgesehen ist. Hierbei handelt es sich um Verkehrsflächen, die zumindest aus lufthygienischer Sicht genauso relevant sind wie Industriegebiete. Es erfolgt hierbei eine Einteilung in Verkehrsflächen mit übergeordnetem Verkehr (d. h. hohem Verkehrsaufkommen) und „normalem“ Verkehr. 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 (s. o.) 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.

Tab. 5: Klimatopklassifizierung nach VDI 3787 Blatt 1 und erweiterte Klassifizierung

Klimatope nach VDI	Erweiterte Klimatopklassifizierung
Freiland	<ul style="list-style-type: none"> <li>┌ Acker</li> <li>├ Brache</li> <li>└ Wiese</li> </ul>
Gartenstadt/Dorf	Gartenstadt/Dorf
Gewässer	Gewässer
Gewerbe	Gewerbe
Industrie	Industrie
Innerstädtische Grünfläche	Park
Stadtkern	Innenstadt
Stadtrand	Stadtrand
Verdichtete Bebauung	Verdichtete Bebauung
Wald	<ul style="list-style-type: none"> <li>┌ Laubwald</li> <li>├ Mischwald</li> <li>└ Nadelwald</li> </ul>
<i>Nicht dargestellt</i>	Verkehrsfläche (normal)
<i>Nicht dargestellt</i>	Verkehrsfläche (übergeordneter Verkehr)
<i>Nicht dargestellt</i>	Versiegelte Fläche (ungenutzt)
<i>Nicht dargestellt</i>	Baumwiese

Damit stehen zur klimatischen Flächenklassifizierung 18 Klimatope zur Verfügung, für die die Klimaqualität objektiv definiert wird (s. u.). Um die Maße zur Klimaqualität später den Flächennutzungsarten zuordnen zu können, erfolgt zuvor die Attributierung der in der RNK hinterlegten Flächennutzungsarten zu Klimatopen per Analogieschluss (siehe Tab. A8 im Anhang). Auf zwei Besonderheiten ist hierbei explizit hinzuweisen, die ggf. einer nachträglichen manuellen Klimatopänderung bedürfen:

- Es gibt zahlreiche Flächennutzungen, deren vorgegebene Bezeichnungen in klimatischer Hinsicht derart unspezifisch sind (z. B. „Brachflächen – 463 <sup>Fußnote 2</sup> - Sonstige Flächen“, die z. B. im FNP für andere Nutzungen vorgesehen sind oder „Gemischte Bauflächen - 40 - Mischbauflächen“), dass eine klimatische Klassifizierung ohne prüfende Ortsbegehung nicht möglich

<sup>2</sup> Landesweiter amtlicher Flächentypisierungscode.

ist. In diesen Fällen wurde die Klimatopzuordnung aus der jeweils übergeordneten Flächennutzungs-kategorie provisorisch abgeleitet.

- Ferner gibt es Flächennutzungsarten, die unabhängig von den Grundstückseigenschaften ausschließlich als Gebäude klassifiziert sind und die Außenbereiche nicht berücksichtigen (z. B. Sportstadien als „*Spiel- und Sportanlagen - 74 – Stadion*“ oder Hallenbadgebäude als „*Spiel- und Sportanlagen - 71 - Hallenbäder*“). Für derartig isolierte Gebäude kann ein Klimatop nicht definiert werden. Diesen Flächennutzungsarten wird hier zunächst das bestehende Klimatop der „verdichteten Bebauung“ zugeordnet.

Abbildung 12 zeigt anhand der *dynaklim*-Modellstadt Oberhausen exemplarisch den Vergleich zwischen Klimatopen auf der FNP-Ebene (links) und der RNK-Ebene (rechts). Die Klimatopkartierung auf der RNK-Ebene spiegelt das grobe Verteilungsmuster der FNP-basierten Klimatope sehr gut wider, ist jedoch kleinräumig wesentlich differenzierter und flächenscharf, so dass Anpassungsmaßnahmen flächenscharf geplant und bewertet werden können.

Mit diesem „Downskaling“ der VDI-Klimatope auf RNK-Ebene ist die Flächeninventarisierung abgeschlossen. Im nächsten Schritt sind den 18 Klimatopklassen Klimainformationen zuzuweisen, welche als Attribut im GIS-Kataster hinterlegt werden können.

### 5.2.3 Klimainformation und Klimaqualität

Neben der Deklaration der Klimatope sollen im GIS auch quantitative Angaben zu den klimatisch-lufthygienischen Verhältnissen der Klimatope hinterlegt werden, um eine Abschätzung der Relevanz der Hitzebetroffenheit sowie eine Priorisierung von Handlungsoptionen vornehmen zu können. Um die quantitativen Angaben übersichtlich zu halten, soll der human-biometeorologische Zustand einer Fläche mit einer einzigen, als „Klimaqualität“ zu bezeichnenden, Zahl beschrieben werden, welche die human-biometeorologischen Wirkungskomplexe „Wärmebelastung“ und „Lufthygiene“ berücksichtigt. Zur Bestimmung der Klimaqualität werden zunächst geeignete quantitative Indikatoren benötigt, mit denen die klimatisch-lufthygienischen Eigenschaften der Flächen beschrieben werden können. Hierbei handelt es sich entweder um Klimaelemente oder standortspezifische Klimafaktoren, die die lokalen Klimaelemente prägen.

Um für alle Flächen der *dynaklim*-Region die Klimaqualität berechnen zu können, werden diejenigen Indikatoren herangezogen, die flächendeckend vorliegen. Bei lückenhaften Flächendaten sowie bei Linien- und Punktdaten müssten die Informationen für die fehlenden Flächen mittels statistischer Regression oder Analogieschlussbetrachtung übertragen werden.

Da nicht davon auszugehen ist, dass für sämtliche Flächen der *dynaklim*-Region aussagekräftige Klimainformationen vorliegen, bietet sich für das Ziel der einheitlichen Anwendung der Klimaqualität auf alle Flächen der *dynaklim*-Region die Realnutzungskartierung (RNK) als Grundlage für die Bewertung an, da gemäß Kap. 5.2.2.2 die Flächennutzungen in Klimatope klassifiziert werden können, deren Typen sich klimatisch-lufthygienisch deutlich voneinander unterscheiden. Die Flächennutzungsart wird somit als Proxyvariable für das Mikroklima benutzt.

Im nächsten Schritt wird für die einzelnen Klimatoptypen die Klimaqualität quantifiziert. Da der Klimaqualitätswert sowohl klimatische als auch lufthygienische Eigenschaften berücksichtigen soll, werden entsprechende Schlüsselmerkmale generiert und zur Klimaqualität verrechnet.

Die nachfolgend benutzten fünf Schlüsselindikatoren haben den Vorteil, dass ihre Eigenschaften in den jeweiligen Klimatoptypen hinlänglich bekannt sind, so dass eine objektive Zuordnung per Analogieschluss auf Grundlage der einschlägigen Literatur möglich ist.

Folgende fünf Schlüsselmerkmale werden zur objektiven Beschreibung der klimatisch-lufthygienischen Eigenschaften benutzt:

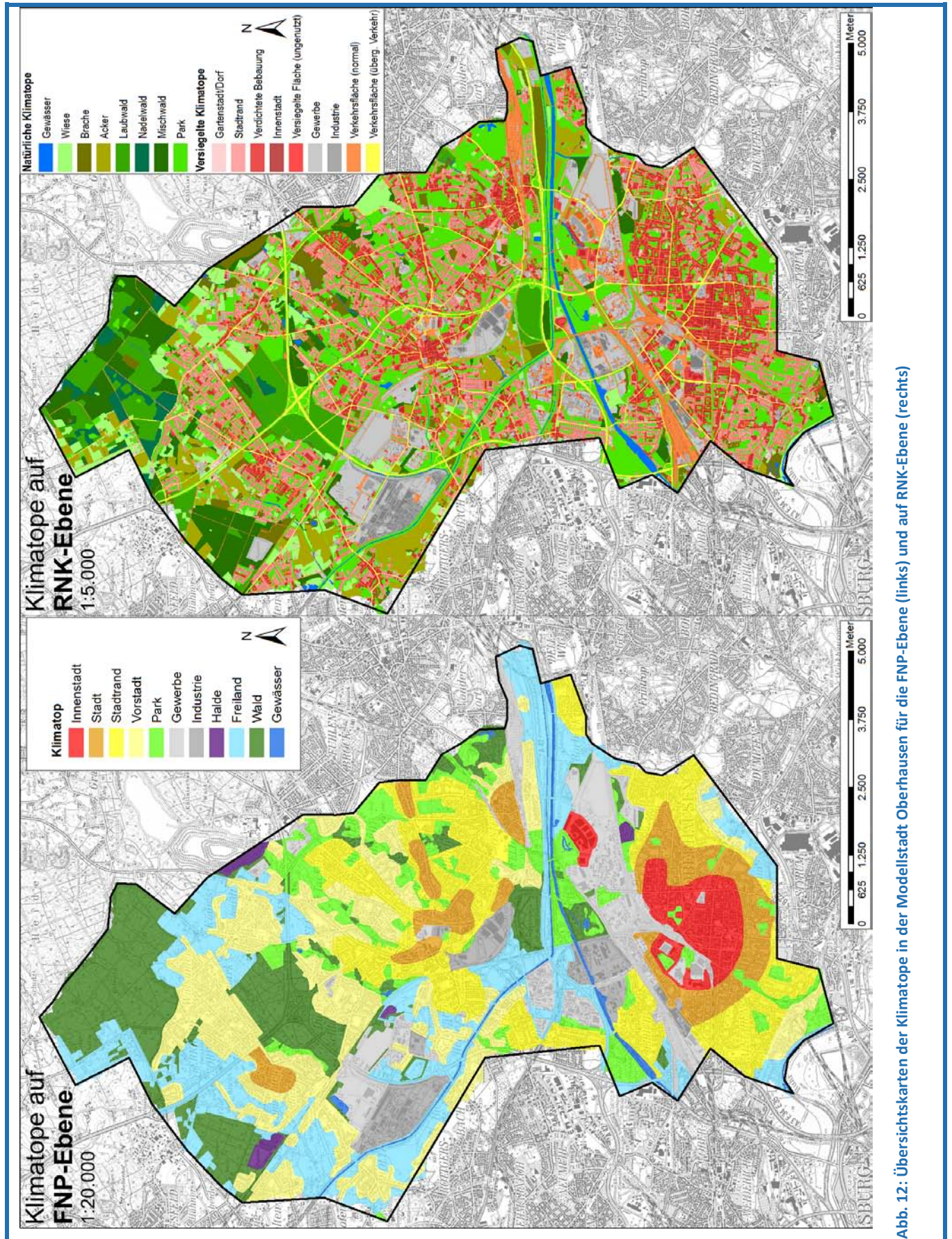


Abb. 12: Übersichtskarten der Klimatopie in der Modellstadt Oberhausen für die FNP-Ebene (links) und auf RNK-Ebene (rechts)



- **Physiologische Äquivalenttemperatur (PET)**  
Die Physiologische Äquivalenttemperatur PET eignet sich besonders zur Bewertung der Wärmebelastung im Freien am Tage, da sie unter anderem die Wirkung der Sonnenstrahlung im Strahlungshaushalt berücksichtigt (MAYER 2006, VDI Richtlinie 3787, Blatt 2)
- **Nächtliche städtische Wärmeanomalie (UHI)**  
Die nächtliche Überwärmung beeinträchtigt die Erholungsfunktion des Schlafes (HÖPPE 1984, KUTTLER 2011a)
- **Aerodynamische Oberflächenrauigkeit (VENT)**  
Die Rauigkeit der Erdoberfläche beeinflusst unmittelbar die bodennahe Windgeschwindigkeit, die für den Abtransport von Wärme, Feuchtigkeit und Spurenstoffen aus dem bebauten Bereich heraus von Bedeutung ist (LETTAU 1969, STULL 1988)
- **Kaltluftproduktivität (KLP)**  
Die nächtliche Kaltluftproduktivität ist für Freiflächen, insbesondere in der urbanen Peripherie, von Bedeutung, da die darauf produzierte Kaltluft über Ventilationsbahnen in die Stadt eindringen (Fernwirkung) kann und der dortigen potenziellen Wärme- und Spurenstoffbelastung entgegenzuwirken vermag (KUTTLER 2011a, WIESNER 1986)
- **Luftqualitätsindex (LQ)**  
Der Luftqualitätsindex fasst die Immissionskonzentrationen für verschiedene Spurenstoffe als Summe zusammen und ist damit ein geeigneter Indikator für die Luftqualität (LUBW 2004, ROST & MAYER 2004).

Die quantitative Bestimmung der einzelnen Indikatoren wird in Anhang 1 eingehend beschrieben. Dabei konnten die Angaben zur physiologischen Äquivalenttemperatur (PET) und zur nächtlichen städtischen Wärmeanomalie (UHI) aus den Untersuchungsergebnissen der *dynaklim*-Aktivität A4.3.2 (KUTTLER et al. 2012b) präzisiert werden. Die für die jeweiligen Klimatope ermittelten Indikatorwerte wurden normiert (Tab. 6), um die Klimaqualität berechnen zu können.

### 5.2.3.1 Berechnung der Klimaqualität

Da die Indikatormaße als normierte Werte vorliegen, erfolgt die Berechnung der Klimaqualität durch einfache Addition der Indikatorwerte mit anschließender Normierung anhand des Klimatops mit der optimalen Qualität (Maximalwert) gemäß Gl. 1:

$$KQ = \frac{PET \cdot G_{PET} + UHI \cdot G_{UHI} + VENT \cdot G_{VENT} + KLP \cdot G_{KLP} + LQ \cdot G_{LQ}}{G_{PET} + G_{UHI} + G_{VENT} + G_{KLP} + G_{LQ}} * 100 \quad (\text{Gl. 1})$$

mit	<i>KQ</i>	:	Klimaqualität in %
	<i>PET</i>	:	Physiologische Äquivalenttemperatur (PET) in %
	<i>UHI</i>	:	Urban Heat Island = nächtliche städtische Wärmeanomalie in % (berechnet als Differenzbetrag zum Klimatop mit der höchsten Temperatur-anomalie (UHI / Innenstadt))
	<i>VENT</i>	:	Ventilation, repräsentiert durch die aerodynamische Oberflächenrauigkeit $z_0$ in %
	<i>KLP</i>	:	Kaltluftproduktivität in %
	<i>LQ</i>	:	Luftqualität, repräsentiert durch den Luftbelastungsindex in %
	$G_i$	:	Gewichtungsfaktor der Indikatoren in %

Der Gewichtungsfaktor G erlaubt die selektive Hervorhebung oder Herabsetzung einzelner Indikatoren. Die Anwendung der Gewichtung ist jedoch aus interpretatorischer Sicht anspruchsvoll, s. u. Im

vorliegenden Fall werden alle fünf Indikatoren gleich gewichtet, so dass die Gleichung zur Berechnung der Klimaqualität KQ vereinfacht wird zu (Gl. 2):

$$KQ = \frac{PET + UHI + VENT + KLP + LQ}{5} * 100 \text{ in \%} \quad (\text{Gl. 2})$$

**Tab. 6: Qualität der Klimaindikatoren und der Klimaqualität KQ der Klimatoptypen (sortiert nach normierter Klimaqualität)**

Spalte	1	2	3	4	5	6	7	8
Indikator*	PET	UHI	VENT	KLP	LQ	Klimaqualität KQ		
Indikatorgewichtung	1	1	1	1	1	Summe Indikatoren (Spalten 1 bis 5)	normiert	Bewertung
Klimatop								
Baumwiese	95,5 %	97,7 %	80,1 %	100,0 %	100,0 %	473 %	100 %	sehr gut
Wiese	85,7 %	100,0 %	84,9 %	100,0 %	100,0 %	471 %	99 %	sehr gut
Gewässer	100,0 %	61,5 %	100,0 %	91,8 %	100,0 %	453 %	96 %	sehr gut
Brache	81,5 %	84,6 %	65,1 %	98,0 %	100,0 %	429 %	91 %	Gut
Acker	83,6 %	69,2 %	76,1 %	99,3 %	85,7 %	414 %	87 %	Gut
Laubwald	97,9 %	76,9 %	26,1 %	91,8 %	100,0 %	393 %	83 %	Gut
Nadelwald	97,9 %	76,9 %	19,9 %	91,8 %	100,0 %	387 %	82 %	Gut
Mischwald	97,9 %	76,9 %	22,8 %	91,8 %	100,0 %	389 %	82 %	Gut
Park	80,1 %	46,2 %	34,9 %	98,4 %	71,4 %	331 %	70 %	leicht positiv
Gartenstadt/Dorf	79,6 %	46,2 %	34,9 %	50,0 %	71,4 %	282 %	60 %	Neutral
Versiegelte Fläche (ungenutzt)	82,7 %	15,4 %	84,9 %	0,0 %	71,4 %	254 %	54 %	leicht negativ
Verkehrsfläche (normal)	82,7 %	15,4 %	76,1 %	0,0 %	42,9 %	217 %	46 %	schlecht
Stadttrand	79,6 %	23,1 %	26,1 %	0,0 %	71,4 %	200 %	42 %	schlecht
Verkehrsfläche (übergeordneter Verkehr)	82,7 %	15,4 %	84,9 %	0,0 %	14,3 %	197 %	42 %	schlecht
Gewerbe	85,7 %	15,4 %	15,1 %	0,0 %	42,9 %	159 %	34 %	sehr schlecht
Verdichtete Bebauung	85,7 %	7,7 %	15,1 %	0,0 %	42,9 %	151 %	32 %	sehr schlecht
Industrie	85,7 %	15,4 %	15,1 %	0,0 %	0,0 %	116 %	25 %	sehr schlecht
Innenstadt	78,0 %	0,0 %	2,3 %	0,0 %	14,3 %	95 %	20 %	extrem schlecht

**Indikatoren:** PET = Physiologische Äquivalenttemperatur (PET), UHI = nächtliche städtische Wärmeinsel, berechnet als Differenzbetrag zum Klimatop mit der höchsten Temperaturanomalie (UHI / Innenstadt), VENT = Durchlüftung, KLP = Kaltluftproduktivität, LQ = Luftqualität

**Erläuterung:** Jeder Indikator kann in seinem Wertebereich ein Optimum (100 %) zum Beitrag eines optimalen human-biometeorologischen Klimas leisten (siehe Anhang 1). Jedoch werden in den einzelnen Klimatoptypen diese Zielmarken nur in unterschiedlichem Maße erreicht, woraus sich die Klimaqualitätsunterschiede (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 %) noch Kaltluftproduktion (KLP 0%) bei nur schlechter Durchlüftung (VENT 2,3 %) und Luftqualität (LQ 14,3 %) vorherrschen. Die Indikatorsumme von 95 % relativiert sich im Vergleich zur Baumwiese auf lediglich 20 % KQ („extrem schlecht“).

Auf diese Weise wurde die Klimaqualität der einzelnen Klimatoptypen berechnet (Abb. 13 und Tab. 6). Die Werteskala der Klimaqualität liegt im Wertebereich zwischen 20 % und 100 %. Anhand der Werteverteilung bei den Klimatoptypen kann nach STURGES (1926) die Skala in acht Qualitätsklassen unterschieden werden (Tab. 7). Dass die neutrale Klasse erst bei 57 beginnt, hängt damit zusammen, dass schlechte Qualitätsstufen unterhalb des Qualitätswertes von 10 in natura nicht erreicht werden und daher eine relative Anhebung des Skalenniveaus sinnvoll ist.

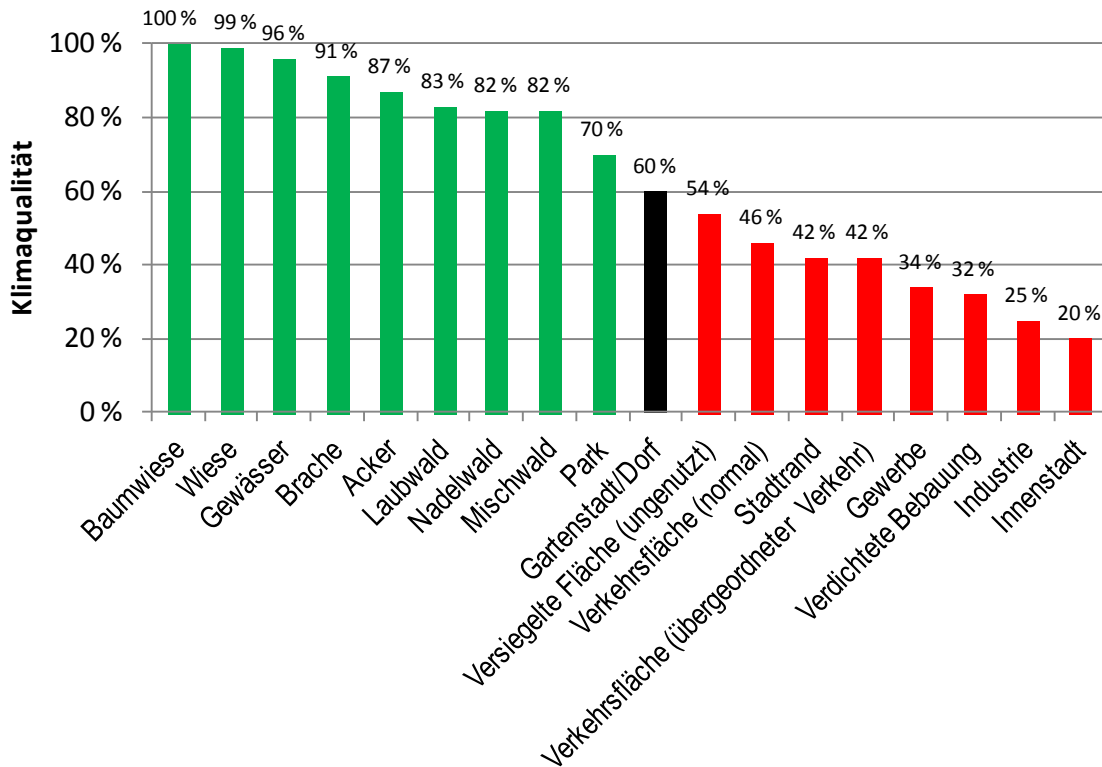


Abb. 13: Klimaqualität der Klimatoptypen (absteigend sortiert nach normierter Klimaqualität)

Tab. 7: Klassifizierungsstufen der Klimaqualität

Qualitätsstufen		
von	bis	Qualität
92,1 %	100,0 %	sehr gut
80,6 %	92,0 %	gut
69,1 %	80,5 %	leicht positiv
57,6 %	69,0 %	neutral
46,1 %	57,5 %	leicht negativ
34,6 %	46,0 %	schlecht
23,1 %	34,5 %	sehr schlecht
	≤23,0 %	extrem schlecht

### 5.2.3.2 Umgang mit der Interpretation von gewichteten Indikatoren

Bei der zuvor hergeleiteten Klimaqualität wurden die fünf Indikatoren physiologische Äquivalenttemperatur (PET), nächtliche Wärmeinsel (UHI), aerodynamische Oberflächenrauigkeit (VENT), Kaltluftproduktivität (KLP) und Luftbelastungsindex (LQ) zu gleichen Anteilen gewichtet, da jeder Indikator einen speziellen Aspekt der human-biometeorologischen Wirkungskomplexe abdeckt. Damit ist die Klimaqualität objektiv und universell auf möglichst viele Fragestellungen anwendbar.

Zwar lassen sich einzelne Indikatoren in Hinblick auf Spezialfragestellungen anders gewichten, allerdings bedarf dieses einer eingehenden Argumentation und Begründung. Das trifft insbesondere dann zu, wenn die Gewichtungsänderung nicht sachlich hergeleitet werden kann und damit dem Verdacht der Subjektivität ausgesetzt ist.

#### Beispiel: Fokussierung der PET um den Faktor 2

Ausgehend von einer linearen Gewichtung der fünf Indikatoren, wird die PET um den Faktor 2 verstärkt und im Gegenzug die Gewichtung der übrigen Indikatoren um 25 % gesenkt. In beiden Fällen beträgt die Gewichtungssumme wie üblich 1.

Linear: KLP = 0,20 UHI = 0,20 PET = 0,20 VENT = 0,20 LQ = 0,20

Gewichtet: KLP = 0,15 UHI = 0,15 PET = 0,40 VENT = 0,15 LQ = 0,15

Durch die Gewichtung der PET verzerrt sich die Differenzierung der Klimatoptypen, indem alle Typen eine quantitative Aufwertung erfahren (Abb. 14) und selbst der schlechteste Typ von 20 auf 36 Punkte angehoben wird. Ursache ist die im Vergleich zu den anderen Indikatoren relativ schwache Differenzierung (Amplitude) der PET zwischen den Klimatoptypen, sodass sich die Erhöhung des PET-Gewichtungsfaktors sofort auf alle Klimatoptypen auswirkt.

**Empfehlung:** Die Nutzung der Klimaqualität auf Basis gleichgewichteter Indikatoren ist objektiv nachvollziehbar und deckt einen Großteil möglicher Fragestellungen ab. Sollte dennoch eine spezielle Untersuchung einzelner Indikatoren erforderlich sein, wird empfohlen, unabhängig von der Klimaqualität eine direkte Analyse der betreffenden Indikatoren durchzuführen.

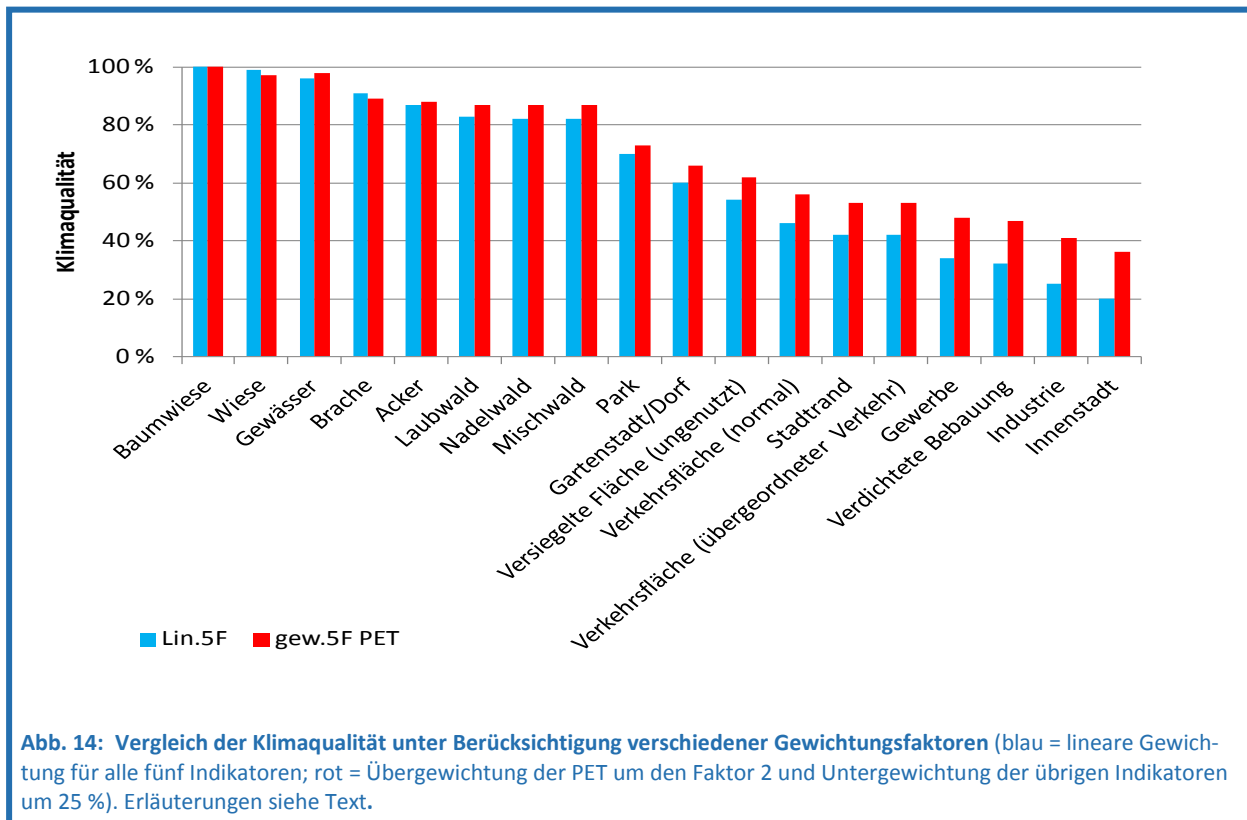


Abb. 14: Vergleich der Klimaqualität unter Berücksichtigung verschiedener Gewichtungsfaktoren (blau = lineare Gewichtung für alle fünf Indikatoren; rot = Übergewichtung der PET um den Faktor 2 und Untergewichtung der übrigen Indikatoren um 25 %). Erläuterungen siehe Text.

## 5.3 Anwendung

Ausgehend von den theoretischen Grundlagen im vorhergehenden Kapitel wird in diesem Abschnitt erläutert, wie die Klimaqualität mittels der GIS-Software ArcMAP 9.x abgefragt und verwendet werden kann.

*Hinweis: Es wird hier vorausgesetzt, dass der Anwender mit der Software ArcMAP 9.x und seinen Programmmodulen hinsichtlich Handhabung und Terminologie vertraut ist. Sollte dieses nicht der Fall sein, ist vor Nutzung dieses Klimamanagementsystems eine Softwareschulung empfehlenswert. Als Einstiegsliteratur wird auf WICHMANN (2008) verwiesen.*

### 5.3.1 Import der Klimainformation in das GIS-System

Zunächst müssen die Klimainformationen in das GIS-System des Anwenders implementiert werden. Dabei ist folgendermaßen vorzugehen.

1. **Deklaration der FN-Arten als Klimatope.** Dazu wird Tab. A1 aus Anhang 2 in die Software Microsoft Excel kopiert, dort die Spaltenüberschriften der FN-Parameter exakt an die GIS-Attributtabelle der RNK angepasst und dann die Tabelle gespeichert. Anschließend wird in ArcGIS die RNK-Karte geladen und schließlich mit dem Kontextbefehl „Verbinden“ mit der Exceltabelle verknüpft. Durch Zuordnung der Spaltenrubrik „KLIMATOP“ zur einer der FN-Spalten wird eine neue Spalte in der Attributtabelle erzeugt, in der für sämtliche Flächen ein Klimatopname entsprechend der Deklaration in der Exceltabelle zugeordnet wird.
2. **Attributierung der Klimatoparten mit Klimainformationen.** Nachfolgende Tab. 8 wird in die Software Microsoft Excel kopiert und gespeichert. Anschließend wird in ArcGIS die RNK-Karte geladen und schließlich mit dem Kontextbefehl „Verbinden“ mit der Exceltabelle verknüpft. Folgende Rubriken stehen für den Import zu Verfügung:

K_PET:	relative Bonität der physiologischen Äquivalenttemperatur (PET)
K_UHI:	relative Bonität der nächtlichen städtischen Wärmeanomalie (UHI), berechnet als Differenzbetrag zum Klimatop mit der höchsten Temperaturanomalie (UHI / Innenstadt)
K_VENT:	relative Bonität der aerodynamischen Oberflächenrauigkeit (VENT)
K_KLP:	relative Bonität der Kaltluftproduktivität (KLP)
K_LQ:	relative Bonität des Luftqualitätsindex (LQ)
K_KQ:	relative Klimaqualität (KQ)
K_KQK:	Bezeichnung der Qualitätsklasse
K_AM_MUNLV:	Verweis auf die für das jeweilige Klimatop möglichen Handlungsoptionen. Die Ziffern verweisen auf die Listennummern der Anpassungsmaßnahmen im „Handbuch Stadtklima“ (MUNLV 2010), in dem die einzelnen Maßnahmen ausführlich erläutert werden. Eine Kurzdarstellung der Maßnahmen enthält Tab. 4 im Kap. 3.

Die Bezeichnungen der Spalten sind so gewählt, dass sie den Namensspezifikationen von ArcMAP entsprechen.

Durch Zuordnung der einzelnen Spaltenrubriken der Exceltabelle zur KLIMATOP-Spalte wird eine neue Spalte in der Attributtabelle erzeugt, in der allen Flächen der Wert oder die Information entsprechend der Spaltendeklaration in der Exceltabelle zugeordnet wird.

Das GIS-System ist systembedingt so ausgelegt, dass für potenzielle (fallweise) oder reale Flächenumwidmungen die genannten Attribute manuell in der Attributtabelle geändert werden müssen.

Dabei muss mangels automatischer Berechnungsfunktionen des GIS der nachfolgend erläuterte Klimaqualitätsflächenwert (KQFW, s. u.) der Fläche manuell neu berechnet werden. Die notwendigen Arbeitsschritte werden hier ebenfalls erläutert.

**Tab. 8: Klimaeigenschaften der Klimatope** (Erläuterungen der Spaltenbezeichnungen siehe vorherige Seite)

Klimatop	K_PET	K_UHI	K_VENT	K_KLP	K_LQ	K_KQ	K_KQK	K_AM_MUNLV
Baumwiese	95,5 %	97,7 %	80,1 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %	sehr gut	4, 5, 6, 7, 13, 16, 19, 20, 21, 26, 28
Wiese	85,7 %	100,0 %	84,9 %	100,0 %	100,0 %	99,0 %	sehr gut	4, 5, 11, 16, 17
Gewässer	100,0 %	61,5 %	100,0 %	91,8 %	100,0 %	96,0 %	sehr gut	4, 5, 12, 16
Brache	81,5 %	84,6 %	65,1 %	98,0 %	100,0 %	91,0 %	gut	5, 7, 16, 20, 21, 28
Acker	83,6 %	69,2 %	76,1 %	99,3 %	85,7 %	87,0 %	gut	4, 5, 11, 16, 17
Laubwald	97,9 %	76,9 %	26,1 %	91,8 %	100,0 %	83,0 %	gut	4, 5, 11, 16, 17
Nadelwald	97,9 %	76,9 %	19,9 %	91,8 %	100,0 %	82,0 %	gut	4, 5, 11, 16, 17
Mischwald	97,9 %	76,9 %	22,8 %	91,8 %	100,0 %	82,0 %	gut	4, 5, 11, 16, 17
Park	80,1 %	46,2 %	34,9 %	98,4 %	71,4 %	70,0 %	leicht positiv	4, 5, 6, 7, 13, 16, 19, 20, 21, 26, 28
Gartenstadt/Dorf	79,6 %	46,2 %	34,9 %	50,0 %	71,4 %	60,0 %	neutral	4, 5, 6, 8, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 26, 28
Versiegelte Fläche (ungenutzt)	82,7 %	15,4 %	84,9 %	0,0 %	71,4 %	54,0 %	leicht negativ	5, 7, 16, 20, 21, 28
Verkehrsfläche (normal)	82,7 %	15,4 %	76,1 %	0,0 %	42,9 %	46,0 %	schlecht	4, 5, 13, 20, 23
Stadtrand	79,6 %	23,1 %	26,1 %	0,0 %	71,4 %	42,0 %	schlecht	4, 5, 6, 8, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 26, 28
Verkehrsfläche (übergeordneter Verkehr)	82,7 %	15,4 %	84,9 %	0,0 %	14,3 %	42,0 %	schlecht	4, 5, 13, 20, 23
Gewerbe	85,7 %	15,4 %	15,1 %	0,0 %	42,9 %	34,0 %	sehr schlecht	8, 10, 5, 7, 13, 15, 16, 20, 21, 23, 24, 26, 28
Verdichtete Bebauung	85,7 %	7,7 %	15,1 %	0,0 %	42,9 %	32,0 %	sehr schlecht	4, 5, 10, 19, 12, 8, 28, 21, 22, 15, 14, 16, 23, 6, 7, 11, 13, 18, 20, 24, 26
Industrie	85,7 %	15,4 %	15,1 %	0,0 %	0,0 %	25,0 %	sehr schlecht	5, 7, 15, 20, 13, 24, 23, 26, , 8, 10, 16, 21, 28
Innenstadt	78,0 %	0,0 %	2,3 %	0,0 %	14,3 %	20,0 %	extrem schlecht	4, 5, 10, 19, 12, 8, 28, 21, 22, 15, 14, 16, 23, 6, 7, 11, 13, 18, 20, 24, 26

### 5.3.2 Abfrage von Klimainformationen für Einzelflächen

Für eine einzelne Fläche können die hinterlegten Klimainformationen mit wenigen Mausklicks abgefragt werden.

Anwendung: Um die Klimaeigenschaften einer einzelnen Fläche abzufragen, ist in ArcMAP folgendermaßen vorzugehen:

1. Aktivierung des Flächenidentifikationswerkzeuges
2. Auswahl der Fläche
3. Selektion des mit den Klimainformationen versehenen GIS-Layers  
(in der eingeblendeten Tabelle sind die Eigenschaften der ausgewählten Fläche aufgelistet).

### 5.3.3 Berechnung des Klimaqualitätsflächenwertes

Neben der reinen Abfrage der Klimainformation ist i. d. R. auch die Beurteilung der klimatischen Bedeutung von einzelnen oder mehreren Flächen im Vergleich zur Umgebung von Interesse, um die Abschätzung des klimatischen Anpassungs- oder Schutzbedarfs sowie eine daraus resultierende Priorisierung von Handlungsoptionen vornehmen zu können. Im Rahmen der städtebaulichen Anpassung an den Klimawandel beinhaltet dieses sowohl die Bewertung wärmebelasteter Quartiere als auch der Gunst- und Ausgleichsräume. Somit ist es möglich, den stetigen Anpassungsprozess beim urbanen Flächenmanagement quantitativ zu kontrollieren, indem die Klimaqualität verschiedener Flächen gegeneinander oder mit Bezug auf ganze Stadtgebiete in Relation gesetzt werden kann.

In den Grenzen eines Bezugsgebietes wie beispielsweise des Gesamtgebietes der Stadt Oberhausen gewinnt eine Fläche an klimatischer Bedeutung („Relevanz“) über

- a) die Flächengröße und
- b) die Klimaqualität,

d. h., große oder klimatisch qualitativ hochwertige Flächen haben einen höheren Einfluss auf das Stadtklima als kleine oder klimatisch geringwertige Flächen. Höchste Bedeutung haben demnach große *und* klimatisch hochwertige Flächen.

Um die Klimaqualität von Flächen untereinander vergleichen zu können, wird daher deren Bedeutung unter Einbeziehung der Flächengröße quantifiziert, indem die Klimaqualität einer Fläche anhand der Flächengröße gewichtet wird. Die Berechnung dieses „Klimaqualitätsflächenwertes“ (KQFW) erfolgt über die einfache Beziehung (Gl. 3):

$$\text{KQFW} = \text{KQ} \times \text{A} \times 100 \quad (\text{Gl. 3})^3$$

mit KQFW: Klimaqualitätsflächenwert in ha

KQ: Klimaqualität der Fläche in %

A: Flächengröße in ha

Der Klimaqualitätsflächenwert ist geeignet, die Klimaqualität von mehreren Flächen gegeneinander abzuwägen oder zu bilanzieren, siehe nächstes Kapitel.

---

<sup>3</sup> Der Faktor 100 ist eine GIS-technische Hilfsgröße. Beispiel: Für einen 10 ha großen Park mit einer Klimaqualität KQ von 70% errechnet sich der Klimaqualitätsflächenwert KQFW wie folgt: 70 % x 10 ha x 100 = 7 ha x 100 = 700 ha.

**Anwendungsbeispiel Flächennutzungsumwidmung:** Falls eine **Einzelfläche** umgewidmet wird, ist zunächst entsprechend der neuen Nutzung das dazugehörige Klimatop gemäß Tab. A1 zu ermitteln und dann die entsprechende Klimaqualität gemäß Tab. 6 (S. 21) in die Attributtabelle einzutragen. Anschließend wird der Klimaqualitätsflächenwert gemäß voriger Gleichung (Gl. 3) manuell durch Multiplikation der Klimaqualität mit der Flächengröße (in ha) multipliziert mit hundert berechnet und ebenfalls in die Tabelle eingetragen.

Falls Umwidmungen für **mehrere Flächen** berechnet werden müssen, kann nach Zuordnung der Klimaqualität die Berechnung des Klimaqualitätsflächenwertes auch über das Werkzeug „Feldberechnung“ (Abb. 15) durchgeführt werden.

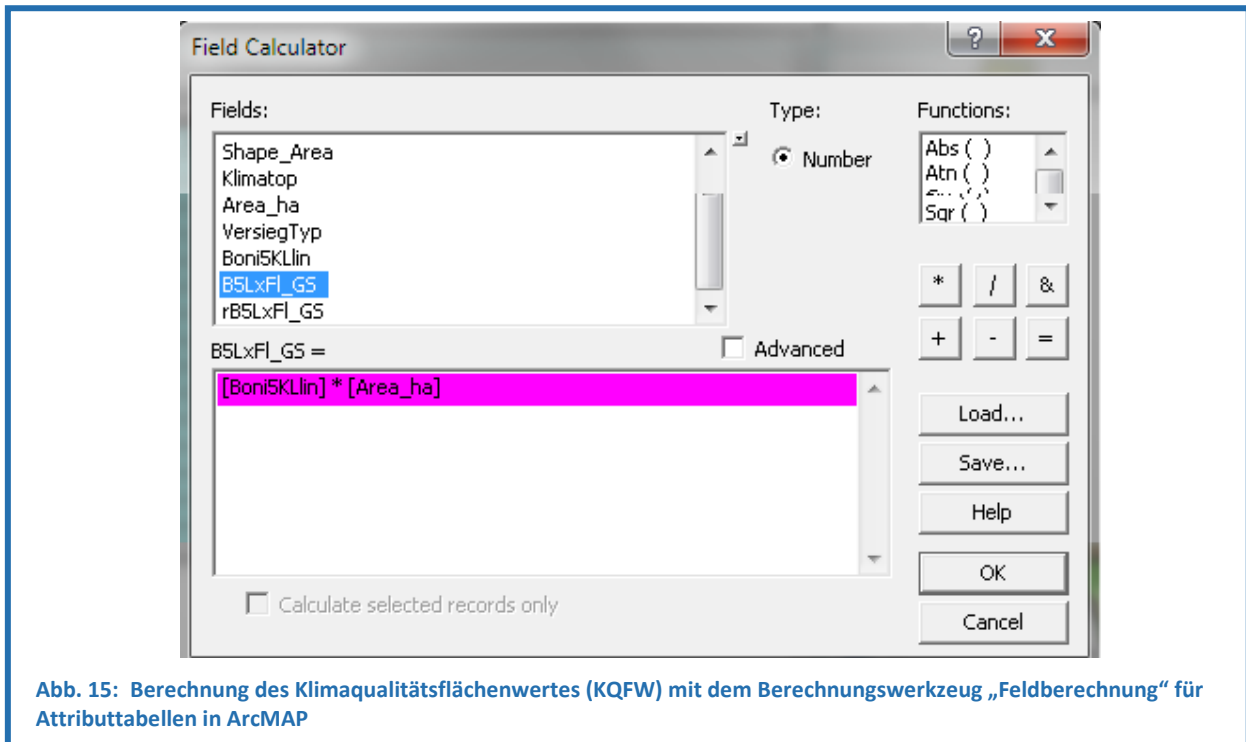


Abb. 15: Berechnung des Klimaqualitätsflächenwertes (KQFW) mit dem Berechnungswerkzeug „Feldberechnung“ für Attributtabelle in ArcMAP

### 5.3.4 Bilanzierungen der Klimaqualität und Ausgleichspotenziale

#### 5.3.4.1 Vergleich zweier Einzelflächen

Der einfachste Fall der Bilanzierung ist der Vergleich von zwei konkurrierenden Einzelflächen. Bereits anhand des Vergleiches beider Klimaqualitätsflächenwerte ist zu erkennen, welche Fläche klimatisch bedeutender ist. Derartige Abwägungen können z .B. zur Abschätzung des Nutzens von Parks innerhalb dichter Bebauung dienen.

**Beispiel:** Eine Fläche von 3 ha Größe und einer Klimaqualität von 99 % (Wiese) hat gemäß Gl. 3 einen Klimaqualitätsflächenwert von  $3 \text{ ha} \times 99 \% \times 100 = 297 \text{ ha}$  (siehe Fußnote auf vorheriger Seite). Angenommen, eine zweite Vergleichsfläche von 14,85 ha Größe hat eine Qualität von 20 % (Innenstadtklimatop), so beträgt das Ausgleichspotenzial ebenfalls 297 ha. Der Unterschied besteht darin, dass die kleinere aber klimarelevantere Fläche die knapp fünfmal so große aber weniger klimarelevante Fläche klimatisch kompensiert. Die kleine Fläche ist damit klimatisch hochwertiger („Bessere Klimaqualität auf kleinerem Raum“).



### 5.3.4.2 Berechnung der mittleren Klimaqualität verschiedener Flächen

In der Regel ist die Bestimmung der mittleren Klimaqualität von mehreren Einzelflächen oder Flächenverbänden erforderlich. Dieses ist mit dem flächengewichteten Mittelwert der Klimaqualität möglich. Hierzu wird zunächst die Klimaqualität der betreffenden Einzelflächen mit der jeweiligen Flächengröße gemäß Gl. 3 (s. o.) multipliziert (= jeweilige Klimaqualitätsflächenwerte), anschließend aufsummiert und durch die Gesamtfläche der betreffenden Flächen dividiert (Gl. 4):

$$\overline{KQFW}_{Gesamt} = \frac{\sum(KQFW_i A_i 100)}{(\sum A_{Gesamt})} \quad (\text{Gl. 4})$$

#### Anwendung:

1. In ArcMAP werden entweder per Hand oder über das Selektionswerkzeug der Attributtabelle die zu untersuchenden Flächen vorselektiert.
2. Anschließend wird in der Attributtabelle die Auswahlansicht auf die selektierten Flächen eingeschränkt.
3. Nun können für die gewünschten Parameter über das Kontextmenü „Statistik“ der betreffenden Spalten die benötigten Größen abgefragt werden, (Abb. 16). Die „Summe“ des Feldes „Area ha“ gibt die Gesamtflächengröße der selektierten Flächen an, die „Summe“ des Feldes „Klimaqualitätsflächenwert“ das dazugehörige Gesamtausgleichspotenzial.
4. Beide Werte werden in die obige Gleichung eingesetzt, um die mittlere Klimaqualität zu berechnen.

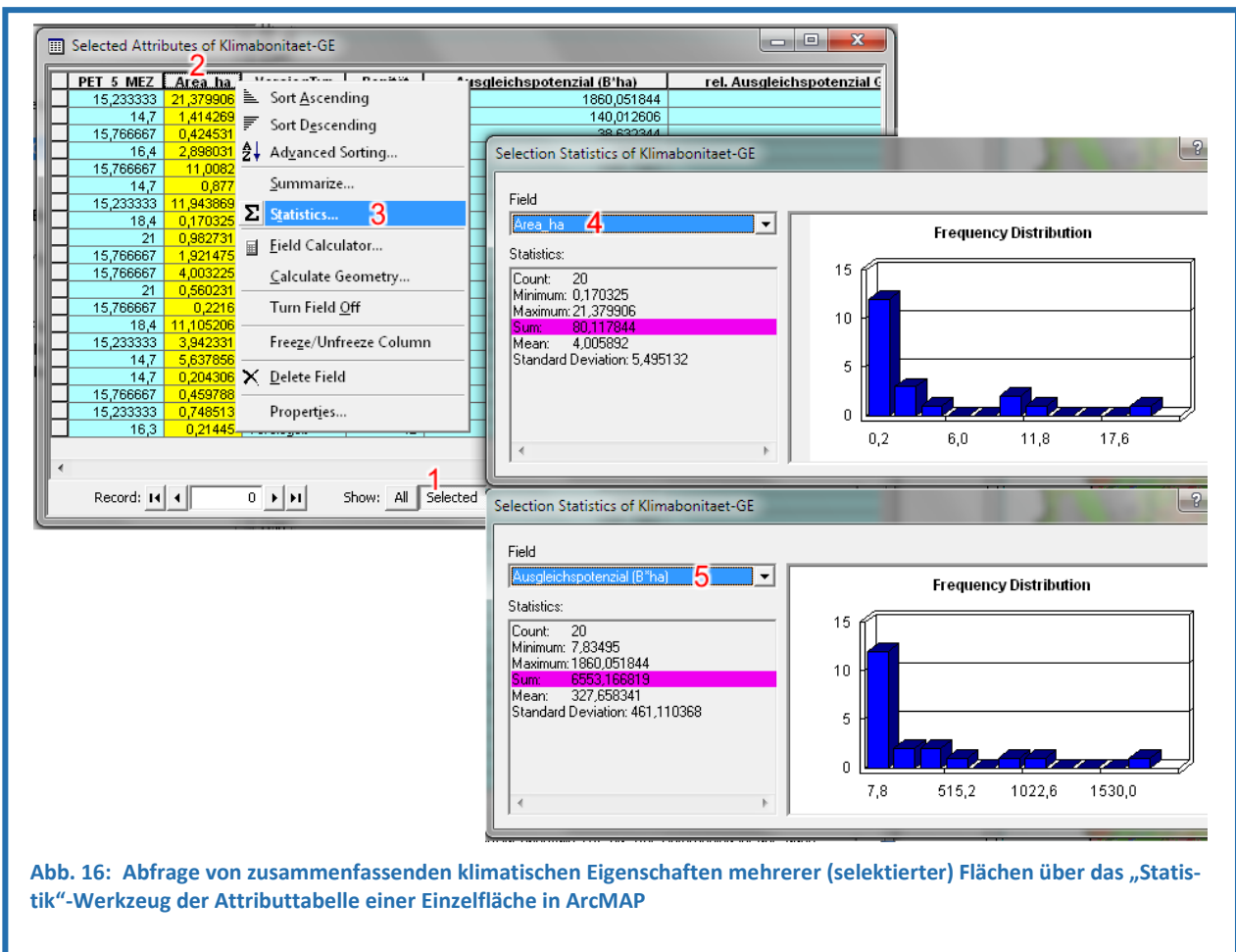


Abb. 16: Abfrage von zusammenfassenden klimatischen Eigenschaften mehrerer (selektierter) Flächen über das „Statistik“-Werkzeug der Attributtabelle einer Einzelfläche in ArcMAP

### 5.3.4.3 Gesamtstädtische Bilanzierungen

Bei der gesamtstädtischen Bilanzierung werden die Klimaqualitätsflächenwerte zu untersuchender Flächenkontingente im Vergleich zum Klimaqualitätsflächenwert der gesamten Stadt betrachtet.

Das Verfahren ist methodisch recht einfach, bedarf aber im GIS einiger Bedienschritte. Zunächst wird in der Attributtabelle für alle Flächen der Stadt über die Statistikfunktion die Summe der Klimaqualitätsflächenwerte abgefragt und der Wert notiert. Anschließend wird die gleiche Prozedur für die zu untersuchenden Flächen durchgeführt. Man erhält die Klimaqualitätsflächenwertsumme des Flächenkontingents. Diese lässt sich durch Division mit der Klimaqualitätsflächenwertsumme der Gesamtstadt als relative Größe bezogen auf die Gesamtstadt darstellen, beispielsweise als Prozentanteil. Dieser Prozentanteil sagt aus, mit welchem Anteil das Flächenkontingent der betrachteten Fläche zum gesamtstädtischen Klimazustand beiträgt.

Beispiel:

In einer Überschlagsrechnung soll der Einfluss aller versiegelten und unversiegelten Flächen auf das Klima der Stadt Oberhausen untersucht werden. Eine entsprechende Klassifizierung „Versiegelungstyp“ ist in der Attributtabelle bereits hinterlegt (vgl. dazu in Abb. 12, rechts, S. 19, die Legendeneinteilung) und lässt sich kartografisch darstellen (Abb. 17).

Wenn nacheinander die gesamtstädtischen, unversiegelten und versiegelten Flächen selektiert und über das Statistikwerkzeug ausgezählt werden, erhält man alle Daten, die zur Bilanzierung benötigt werden (Tab. 9). Die Flächengrößen A (Spalte 2), die Klimaqualitätsflächenwerte KQFW (Spalte 4) sowie der Anteil am gesamtstädtischen Klima (Spalte 6) liefert die Attributtabelle. Manuell berechnet werden die relativen Flächenanteile (Spalte 3) sowie die mittlere Klimaqualität KQ (Spalte 5). Letztere berechnet sich nach Gl. 4 durch die Division von KQFW durch A.

**Tab. 9: Klimaqualität der versiegelten und unversiegelten Flächen in der *dynaklim*-Modellstadt Oberhausen**

	1	2	3	4	5	6
	Gebiet	GIS-Abfrage	manuelle Berechnung	GIS-Abfrage	manuelle Berechnung	GIS-Abfrage
1		Fläche <b>A</b>	Fläche <b>A</b>	Klimaqualitätsflächenwert <b>KQFW</b>	Mittlere Klimaqualität <b>KQ</b>	Beitrag zum Stadtklima
2				= $\sum (KQ_i \times A_i \times 100)$	= $KQFW / A_t$	= $KQ_i / KQFW_{GesStadt}$
3		ha	%	ha	%	%
4	Gesamtstadt	7.703	100,0 %	452.613,2	58,8	100,0 %
5	versiegelt	4.000	51,9 %	155.667,0	38,9	34,4 %
6	unversiegelt	3.703	48,1 %	297.331,0	80,3	65,6 %

Diese Tabelle veranschaulicht die unterschiedlichen Wertigkeiten der versiegelten und unversiegelten Flächen. Obwohl der Flächenanteil der unversiegelten Flächen nur 48 % der Stadtfläche beträgt, ist ihr Klimaqualitätsflächenwert aufgrund der hohen Klimaqualität von 80 % („gut“) mit 297.331 ha fast doppelt so groß, wie bei den versiegelten Flächen (155.667 ha), deren Klimaqualität als „schlecht“ (38,9 %) einzustufen ist. Am Klimazustand der Gesamtstadt mit seiner neutralen Klimaqualität (59 %) entsprechend einem Klimaqualitätsflächenwert von 452.9980 ha (= 100 %) haben die unversiegelten Flächen somit einen Anteil von 65,6 %.

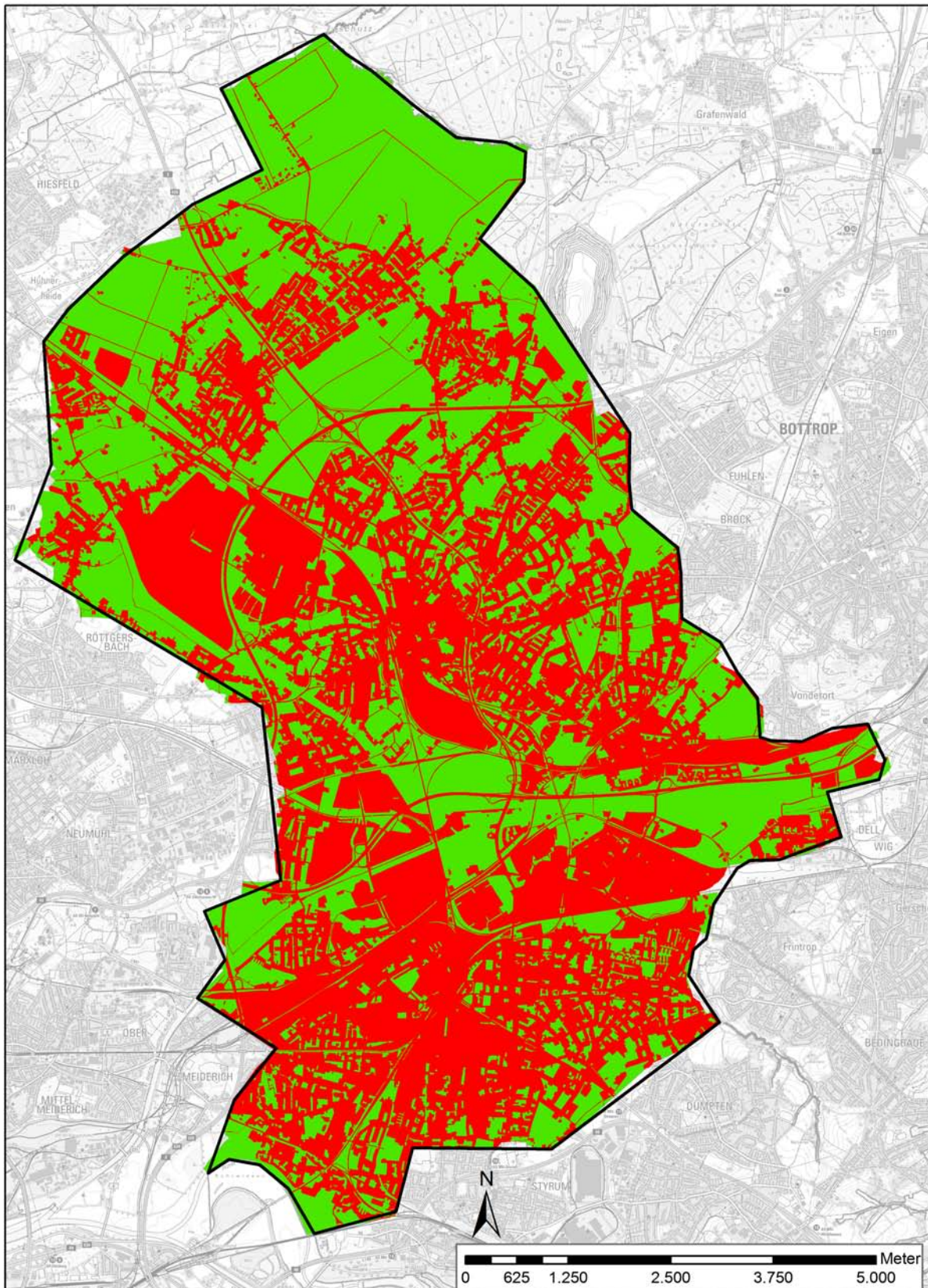


Abb. 17: Räumliche Lage der unversiegelten (grün) und versiegelten (rot) Flächen im Stadtgebiet der *dynaklim*-Modellstadt Oberhausen (Stand 2012)

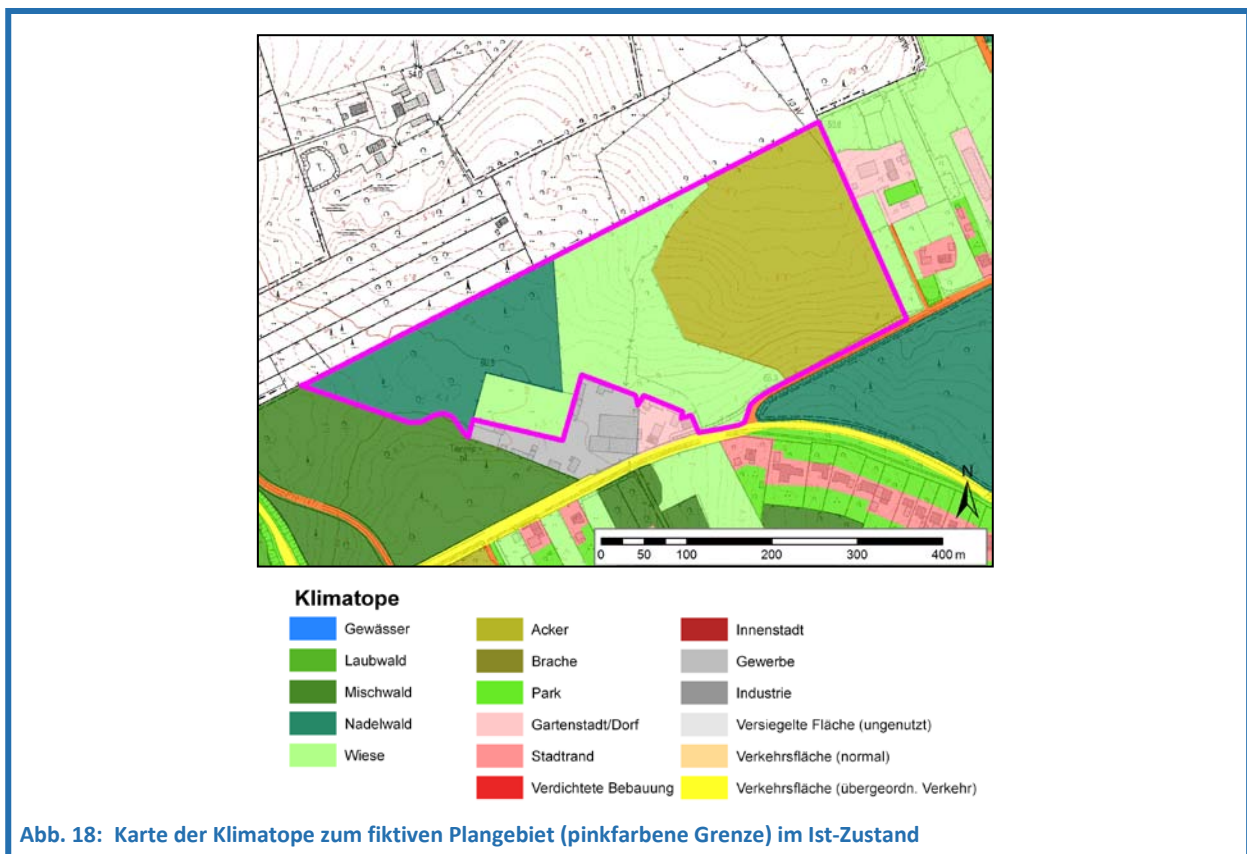
#### 5.3.4.4 Selektive Bilanzierungen

Bei der selektiven Bilanzierung werden sowohl die zu untersuchenden Flächen als auch der Bezugsraum frei definiert.

So ist es beispielsweise möglich, die Bedeutung von unversiegelten Flächen nur mit Bezug zu den gesamten unversiegelten Flächen Oberhausens zu betrachten (d. h. unter Ausschluss aller versiegelten Flächen). Dazu reicht es bereits aus, in o. g. Tab. 6 die Klimaqualitätsflächenwerte aller unversiegelten Flächen von ca. 297.331 ha gleich 100 % zu setzen, die versiegelten Flächen zu ignorieren und zu löschen.

Ein anderes Beispiel ist die geplante Flächenumwidmung einer Freifläche und seine Auswirkung auf die nähere klimafunktionale Umgebung, beispielsweise ein zugehöriges Kaltlufteinzugsgebiet, zu bewerten. In diesem Fall kann die Beurteilung neben dem Bezug zur Gesamtstadt auch in Bezug zu allen unversiegelten Flächen oder nur in Bezug auf den lokalen Wirkraum untersucht werden.

Eine derartige Umwidmung soll nachfolgend am fiktiven Planbeispiel einer Umwandlung von Freiflächen zu einem Wohngebiet dargelegt werden. Abbildung 18 zeigt das Plangebiet im Ist-Zustand. Der Plan-Zustand ist in Abb. 19 dargestellt. Tabelle 10 enthält die Ergebnisse.



Die 12,5 ha große Fläche ist im Ist-Zustand überwiegend land- und forstwirtschaftlich geprägt. Die Klimaqualität (KQ) der Areale ist mit Werten zwischen 82 % und 99 % gemäß Tab. 7 (S. 23) als „gut“ bis „sehr gut“ einzustufen. Die Verrechnung der Klimaqualität der Flächen mit den jeweiligen Flächengrößen ergibt einen Klimaqualitätsflächenwert (KQFW) von 1.123 ha.

Im Plan-Zustand wird das komplette Areal in ein aufgelockertes Wohngebiet vom Typ „Stadtrandklimatop“ umgewidmet. Die Klimaqualität (KQ) für diesen Klimatoptyp beträgt 42 % und ist damit als

„schlecht“ einzustufen. Der entsprechende Klimaqualitätsflächenwert (KQFW) beträgt 525 ha. Damit verschlechtert sich der Klimaqualitätsflächenwert des Plangebietes um 598 ha bzw. um 53 %.

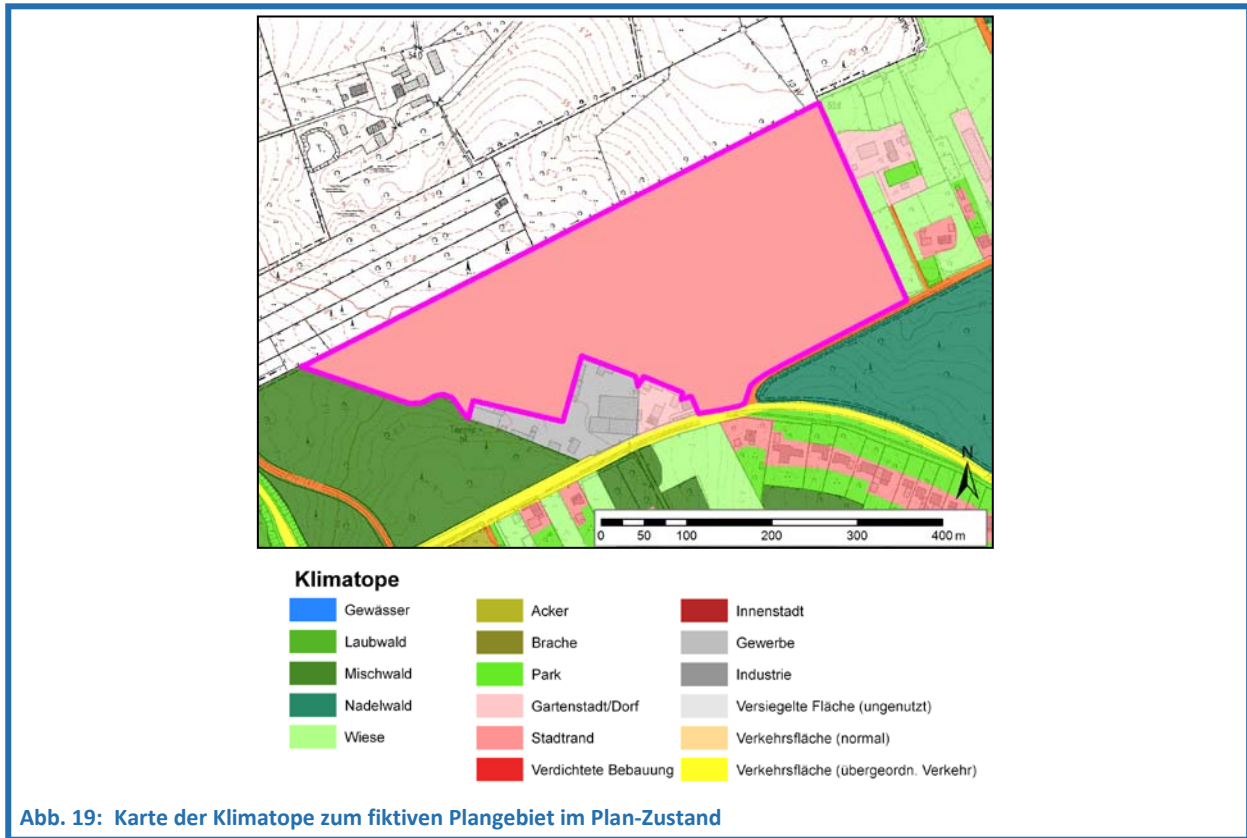


Abb. 19: Karte der Klimatope zum fiktiven Plangebiet im Plan-Zustand

Tab. 10: Auswirkung der fiktiven, sukzessiven Umwidmung von Freiflächen zu versiegelten Flächen (Zahlen gerundet)

Klimatop	Fläche A ha	Klimaqualität KQ %	Klimaqualitäts- flächenwert KQFW ha
<b>Ist-Zustand</b>			
Nadelwald	2,9	82	238
Wiese	4,1	99	406
Acker	5,5	87	479
<b>Gesamtgebiet</b>	<b>12,5</b>	<b>89</b>	<b>1.123</b>
<b>Plan-Zustand</b>			
Stadttrand	12,5	42	525
<b>Differenz (Plan-Ist-Zustand)</b>			
Absolute Differenz	0,0		-598
(Relative Differenz)	(0 %)		(-53 %)

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

## 6 Ausblick

Das hier angewendete Klimamanagementsystem ist ein praktisches Werkzeug zur Anwendung etablierter Handlungsleitfäden (z. B. „Handbuch Stadtklima“ für das Ruhrgebiet (MUNLV 2010)), indem es im Rahmen der Klimawandelfolgenanpassung bei der Lokalisierung und Bewertung von stadtklimatischen Anpassungs- und Schutzgebieten im gesamten *dynaklim*-Projektgebiet hilft, ohne zuvor fallweise klimatisch-lufthygienische Untersuchungen jeweils vor Ort durchführen zu müssen.

Das Klimamanagementsystem dient insbesondere als Entscheidungsinstrument zur Beurteilung der Relevanz der Klimawandelbetroffenheit von Flächen und Quartieren, der damit verbundenen Notwendigkeit zur Durchführung weiterführender klimatologischer Untersuchungen sowie zur Ermittlung möglicher geeigneter Anpassungsmaßnahmen.

Das Werkzeug ermöglicht die objektive klimatisch-lufthygienische Quantifizierung und Bilanzierung von Flächen auf großmaßstäbiger Ebene der Realnutzungskartierung und deckt einen Großteil möglicher klimatisch-lufthygienischer Fragestellungen in der Umwelt- und Stadtplanung ab. Mit dem vorgestellten Werkzeug lassen sich entsprechende Beurteilungen praxisgerecht durchführen.

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.

Schließlich kann, sofern die Akteure auch andere GIS-Themenkarten zur Verfügung haben, das Klimamanagementsystem zur Generierung neuer oder aussagekräftigerer Themenkarten herangezogen werden. 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.

Somit bietet das Stadtklimamanagementsystem umfangreiche Möglichkeiten, als planungsbegleitendes Werkzeug die städtebauliche Klimawandelanpassung nachhaltig zu steuern und zu kontrollieren.

## 7 Literaturverzeichnis

- BAUMÜLLER J. & U. REUTER (1995): Die summarische Bewertung von Luftschadstoffen durch einen Luftbelastungsindex. – In: Staub - Reinhaltung der Luft, Vol. 55, S. 137-141
- BAUMÜLLER, J. & U. REUTER (2003): Umweltmeteorologie und Planung. – In: Promet, 30, Heft 1/2, 46 - 56. DWD, Offenbach/Main.
- BECKER, P. 2011: Das Hitzewarnsystem des Deutschen Wetterdienstes, Notfallvorsorge. – In: Zeitschrift für Katastrophenmanagement und Humanitäre Hilfe, 2005, 22-23.
- BRANDT, K. (2007): Die ökonomische Bewertung des Stadtklimas am Beispiel der Stadt Essen. = Essener Ökologische Schriften, Band 25, 2007, 112 S., Westarp-Wissenschaften, ISBN 978 3 89432 111 6.

- BUNDESREGIERUNG (2008): Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Beschluss vom Bundeskabinett vom 17. Dezember 2008 .
- DÜTEMEYER, D., BARLAG, A.-B., KUTTLER, W., AXT-KITTNER, U. (2013): Stadtklimatisches Flächenmanagement in der kommunalen Umweltplanung. – UVP-Report 27, Heft 3/13. (im Druck)
- GERTIS, K. (1977): Bauphysikalische Aspekte des Stadtklimas. In: Franke E (Hrsg.): Stadtklima. Ergebnisse und Aspekte für die Stadtplanung, 87-96 HÖPPE, P. (1984): Die Energiebilanz des Menschen. Wiss. Mitt. Meteorol. Inst. Uni München, 49.
- GOLDBACH, A. (2012): Turbulenter Energieaustausch über unterschiedlichen Flächennutzungsstrukturen in der Stadt Oberhausen. = Essener Ökologische Schriften, Band 32, Westarp-Wissenschaften, Hohenwarsleben, 245 S.
- GOLDBACH, A. & W. KUTTLER (2012): Quantification of turbulent heat fluxes for adaptation strategies within urban planning. In: International Journal of Climatology, DOI: 10.1002/joc.3437.
- HELBIG, A., BAUMÜLLER, J. & M. J. KERSCHGENS (Hrsg) (1999): Stadtklima und Luftreinhaltung. 2. Aufl. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 467.
- HÖPPE, P. (1984): Die Energiebilanz des Menschen. Wiss. Mitt. Meteorol. Inst. Uni München, 49.
- IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE) (HRSG.) (2007): Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. In: Klimaänderung 2007: Wissenschaftliche Grundlagen. Beitrag der Arbeitsgruppe I zum Vierten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderung (IPCC), SOLOMON, S., D. QIN, M. MANNING, Z. CHEN, M. MARQUIS, K.B. AVERYT, M.TIGNOR UND H.L. MILLER, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom und New York, NY, USA. Deutsche Übersetzung durch ProClim-, österreichisches Umweltbundesamt, deutsche IPCC-Koordinationsstelle, Bern/Wien/Berlin.
- JENDRITZKY, G. (2008): The assessment of the thermal environment. Ber. Meteor. Inst. Univ. Freiburg 17, 153-164.
- KRATZER, A. (1956): Das Stadtklima. 2. Auflage, 184. Vieweg, Braunschweig.
- KUTTLER, W. (1999): Human-biometeorologische Bewertung stadtklimatologischer Erkenntnisse für die Planungspraxis. Wiss. Mitt. Inst. Met. Leipzig 13: 100–115.
- KUTTLER, W. (2010a): Urbanes Klima, Teil 1. In: Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft, Umweltmeteorologie, 70, Nr. 7/8 – Juli/August, S. 329-340.
- KUTTLER, W. (2010b): Urbanes Klima, Teil 2. In: Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft, Umweltmeteorologie, 70, Nr. 9 – September, S. 378-382.
- KUTTLER, W. (2011a): Klimawandel im urbanen Bereich, Teil 1, Wirkungen; Climate change in urban areas, Part 1, Effects. - In: Environmental Sciences Europe (ESEU), Springer open, DOI: 10.1186/2190-4715-23-11, S. 1-12.
- KUTTLER, W. (2011b): Klimawandel im urbanen Bereich, Teil 2, Maßnahmen; Climate change in urban areas, Part 2, Measures. In: Environmental Sciences Europe (ESEU), Springer open, Doi: 10.1186/2190-4715-23-21, S. 1-15.
- 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, Chapter 6, p. 105-142, In Tech Croatia; also available from: <http://www.intechopen.com/books/human-and-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).
- KUTTLER, W., A. GOLDBACH, N. MÜLLER, H. PÜLLEN, D. DÜTEMEYER & A.-B. BARLAG (2009): E4.3 - Handlungsleitfaden zur Verbesserung des Stadtklimas. – Teilprojekt des Institutes für Geographie, Abteilung Angewandte Klimatologie und Landschaftsökologie der Universität Duisburg-Essen, Campus Essen, im interdisziplinären BMBF-Forschungsprojekt „dynaklim - Dynamische Anpassung

- regionaler Planungs- und Entwicklungsprozesse an die Auswirkungen des Klimawandels am Beispiel der Emscher-Lippe-Region (Nördliches Ruhrgebiet)“ im Rahmen des Programms "Klimawandel in Regionen zukunftsfähig gestalten (KLIMZUG)" des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF), Berlin.
- KUTTLER, W., GOLDBACH, A., DÜTEMEYER, D. & A.-B. BARLAG (2012a): Messung der urbanen Evapotranspiration in Oberhausen - Vergleichende Energiebilanzmessungen in unterschiedlichen urbanen Flächennutzungsstrukturen. dynaklim-Publikation Nr. 24 / April 2012, 18 S. [www.dynaklim.de](http://www.dynaklim.de).
- KUTTLER, W., MÜLLER, N., DÜTEMEYER, D. & A.-B. BARLAG (2012b): Prognose- und Diagnoseanalysen zur Verbesserung des Stadtklimas - Stadtklimatische Untersuchungen in Oberhausen und Simulationen verschiedener Minderungsstrategien zur Reduktion der thermischen Belastung im Hinblick auf den Klimawandel. dynaklim-Publikation Nr. 25 / April 2012, 41 S. [www.dynaklim.de](http://www.dynaklim.de).
- LANDSBERG, H.E. (1981): The urban climate. = Int. Geophys. Ser., 28, New York, 275 S.
- LANUV (2010): Klima und Klimawandel in Nordrhein-Westfalen. Daten und Hintergründe. LANUV-Fachbericht 27.57 S.
- LAUTENSCHLAGER, M., KEULER, K., WUNRAM, C., KEUP-THIEL, E., SCHUBERT, M., WILL, A., ROCKEL, B. & U. BOEHM (2009): Climate Simulation with CLM, Scenario A1B run no. 1, Data Stream 3: European region MPI-M/MaD. World Data Center for Climate. [doi: 10.1594/WDCC/CLM\_A1B\_1\_D3] [http://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/Entry.jsp?acronym=CLM\\_A1B\\_1\\_D3](http://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/Entry.jsp?acronym=CLM_A1B_1_D3).
- LETTAU, H. (1969): Note on an aerodynamic roughness parameter estimation on the basis of roughness-element distribution. – J. Appl. Meteorol., 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. 173 S., LUBW, Karlsruhe.
- MBV - Ministerium für Bauen und Verkehr NRW (2010): Klimaschutz in der integrierten Stadtentwicklung Handlungsleitfaden für Planerinnen und Planer. 63 S.
- MATZARAKIS, A. (2001): Die thermische Komponente des Stadtklimas. Ber. Meteor. Inst. Univ. Freiburg Nr. 6.
- MATZARAKIS, A., RUTZ, F. & H. MAYER (2010). Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: basics of the RayMan model. International Journal of Biometeorology 54:131–139. DOI: 10.1007/s00484-009-0261-0.
- MAYER, H. (2006): Indizes zur human-biometeorologischen Bewertung der thermischen und lufthygienischen Komponente des Klimas. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 66, 165-174.
- MAYER, H., HOLST, J., DOSTAL, P., IMBERY, F. & D. SCHINDLER (2008): Human thermal comfort in summer within an urban street canyon in Central Europe. Meteorol Z. 17 (3): 241-250
- MAYER, H., W. BECKRÖGE & A. MATZARAKIS (1994): Bestimmung von stadtklimarelevanten Luftleitbahnen. – UVP-Report, 5, 265 -268.
- MONTEITH, J. L. (1978): Grundzüge der Umweltphysik. 183 S. Steinkopf, Darmstadt.
- MÜLLER, N., KUTTLER, W. & A.-B. BARLAG (2013): Counteracting urban climate change: adaptation measures and their effect on thermal comfort. In: Theoretical Applied Climatology, DOI: 10.1007/s00704-013-0890-4.
- MUNLV NRW (MINISTERIUM FÜR KLIMASCHUTZ, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT, NATUR- UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN) (Hrsg.) (2010): Handbuch Stadtklima – Maßnahmen und Handlungskonzepte für Städte und Ballungsräume zur Anpassung an den Klimawandel. Langfassung.



- [http://www.umwelt.nrw.de/klima/klimawandel/anpassungspolitik/projekte/staedte\\_und\\_ballungsraeume/projektseite\\_01/index.php](http://www.umwelt.nrw.de/klima/klimawandel/anpassungspolitik/projekte/staedte_und_ballungsraeume/projektseite_01/index.php) (11.04.2011).
- PRANDTL, L. (1957): Führer durch die Strömungslehre. 5. Aufl. Braunschweig.
- ROST, J. & H. MAYER (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 80 S.
- RVR (REGIONALVERBAND RUHR) (HRSG.) (2007): Gesamtstädtische Klimanalyse – Stadt Oberhausen.
- RVR (REGIONALVERBAND RUHR) (2012): Klimatopkarte des Ruhrgebietes. Team Klimaschutz, Klimaanpassung und Luftreinhaltung. <http://www.metropoleruhr.de/regionalverband-ruhr/umwelt-freiraum/klima/stadtklima.html>.
- SCHÖNWIESE, CH.-D., STAEGER, T. & TRÖMEL, S. (2004): The hot summer 2003 in Germany. Some preliminary results of a statistical time series analysis.- In: AMS, Vol. 85, No. 8. p. 323-327
- STADT AALEN (2000): Landschaftsplan – Erläuterungsbericht vom 02.05.2000. – Stadt Aalen, Grünflächen- und Umweltamt. 523 S.
- STADT OBERHAUSEN 2008: Realflächennutzungskartierung der Stadt Oberhausen (Stand: 2008). -Stadt Oberhausen, Bereich Umweltschutz, Fachbereich 2-2-10 Ökologische Planung.
- STRASSBURGER, A. (2004) : Analyse atmosphärischer Spurengase zur Bestimmung des lufthygienischen Erholungswertes eines urbanen Parks. Online Ressource. Diss. Univ. Duisburg-Essen, 175 S.
- STEWART, I. D. (2011): Redefining the urban heat island. PhD thesis, University of British Columbia, Vancouver - 352 pp.
- STULL, R. B. (1988): An introduction to boundary layer meteorology. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London, 666 S.
- STURGES, H. A. (1926): The choice of a class interval. – J. Am. Stat. Ass. 21, 65-6.
- THORSSON, S., LINDBERG, F., ELIASSON, I. & B. HOLMER (2007): Different methods for estimating the mean radiant temperature in an outdoor urban setting. International Journal of Climatology 27: 1983-1993. DOI: 10.1002/joc.1537.
- UBA (= Umweltbundesamt) (2008): Klimawandel in Deutschland Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme.
- VDI - Verein Deutscher Ingenieure (1997, 2003): VDI-Richtlinie 3787, Blatt 1 – Umweltmeteorologie – Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen. VDI, Düsseldorf.
- VDI - Verein Deutscher Ingenieure (1998): VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 – Umweltmeteorologie - Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung, Teil I : Klima. VDI, Düsseldorf.
- WICHMANN, H. (2008): ArcGIS 9 - das deutschsprachige Handbuch für ArcView und ArcEditor, Paderborn, 526 S.
- WIESNER, K. P. (1986): Programme zur Erfassung von Landschaftsdaten, eine Bodenerosionsgleichung und ein Modell der Kaltluftentstehung. = Heidelberger Geogr. Arb., 79. Heidelberg, 83 S.

## Anhang

### Anhang 1: Quantitative Bestimmung der Indikatoren zur Berechnung der Klimaqualität (KQ)

#### Physiologische Äquivalenttemperatur (PET)

Die physiologische Äquivalenttemperatur (PET) ist ein objektives thermisches Behaglichkeitsmaß, welches das subjektive thermische Empfinden in Abhängigkeit weiterer atmosphärischer Zustandsgrößen ausdrückt (VDI Richtlinie 3787, Blatt 2). Hierzu zählen neben der Lufttemperatur die Sonnenexposition, Luftfeuchtigkeit und Windgeschwindigkeit sowie der Einfluss der Bekleidung und die körperliche Aktivität eines Menschen. Gerade durch Berücksichtigung der Sonnenexposition ist die PET geeignet, die Wärmebelastung im Freien (u. a. auch „in der direkten Sonne“) während der Tagstunden zu beschreiben. Die PET wird in Grad Celsius (°C) ausgedrückt und umfasst eine Skala von 0 °C PET bis >40 °C PET, wobei die (ausgeglichene) Behaglichkeit bei 18 °C bis 23 °C liegt (Tab. A1).

Tab. A1: Thermophysiologische Belastungsstufen zur physiologischen Äquivalenttemperatur PET (nach Höppe 1984)

PET	Thermisches Empfinden	Thermophysiologische Belastungsstufe	Physiologische Wirkung
4 °C	sehr kalt	extreme Belastung	Kältebelastung
8 °C	kalt	starke Belastung	
13 °C	kühl	mäßige Belastung	
18 °C	leicht kühl	schwache Belastung	
23 °C	behaglich	keine Belastung	
29 °C	leicht warm	schwache Belastung	Wärmebelastung
35 °C	warm	mäßige Belastung	
41 °C	heiß	starke Belastung	
	sehr heiß	extreme Belastung	

Die PET wurde anhand der Oberhausener Stationsmesswerte aus der dynaklim-Aktivität A4.3.2 (KUTTLER et al. 2012b) mittels der Software „RayMan Pro“ (MATZARAKIS et al. 2010) für „heiße Tage“ berechnet. Bei der Verwendung von RayMan ist zu berücksichtigen, dass die berechneten PET-Werte bei niedrigem Sonnenstand und nachts leicht unterschätzt werden (MATZARAKIS et al. 2010 und THORSSON et al. 2007). Die Auswertung erfolgte hier jedoch für 16 Uhr MEZ als heißeste Stunde des Tages, so dass aufgrund des hohen Sonnenstandes dieses Problem nicht auftrat. Die PET wurde für Personen in leichter Sommerbekleidung und mit durchschnittlicher körperlicher Aktivität berechnet.

In Tab. A2 ist die PET für die verschiedenen Flächennutzungen als Anomalie zur PET-Untergrenze für behagliches Empfinden (18 °C) dargestellt.

Relativ niedrige PET-Werte werden in denjenigen Klimatotypen erreicht, die durch ein hohes Maß an guter Durchlüftung (Gewässer) oder Beschattung (Wald, Baumwiese) gekennzeichnet sind. In den übrigen Klimatotypen führen Kombinationen aus ungünstigen klimatischen Randbedingungen (geringe Beschattung, hohe Luftfeuchtigkeit und/oder geringe Ventilation) zu höheren PET-Werten und damit zu höheren Wärmebelastungen. In dieser Hinsicht stellen die bebauten Areale die belasteten Gebiete dar.

Die relative Normierung erfolgt anhand des PET-Gebietsminimums (= 100 %).

**Tab. A2: Absolute und relative Wärmebelastung für 16 Uhr an heißen Tagen ( $t_{\max} \geq 30 \text{ °C}$ ) in Klimatopen der Stadt Oberhausen** (absteigend sortiert nach normierter PET)

		1. Basis	2. Transformation		
Messgröße		PET (16:00)	Diff. zu 18°C PET (behaftlich)		
Datenquelle, abgeleitet aus Einheit		Messungen °C	PET 15:00 K		
Klimatop				normiert	
1	Gewässer	41,4	23,4	= 100,0 %	
2	Laubwald	41,9	23,9	97,9 %	
3	Nadelwald	41,9	23,9	97,9 %	
4	Mischwald	41,9	23,9	97,9 %	
5	Baumwiese	42,5	24,5	95,5 %	
6	Wiese	45,3	27,3	85,7 %	
7	Verdichtete Bebauung	45,3	27,3	85,7 %	
8	Industrie	45,3	27,3	85,7 %	
9	Gewerbe	45,3	27,3	85,7 %	
10	Acker	46,0	28,0	83,6 %	
11	Versiegelte Fläche (ungenutzt)	46,3	28,3	82,7 %	
12	Verkehrsfläche (normal)	46,3	28,3	82,7 %	
13	Verkehrsfläche (übergeordneter Verkehr)	46,3	28,3	82,7 %	
14	Brache	46,7	28,7	81,5 %	
15	Park	80 % Wiese + 20 % Wald	47,2	29,2	80,1 %
16	Gartenstadt/Dorf	50 % Wiese	47,4	29,4	79,6 %
17	Stadtrand		47,4	29,4	79,6 %
18	Innenstadt		48,0	30,0	78,0 %
Bester Wert		Kriterium Wert	Min	Min	
			41,4	23,4	

### Nächtliche städtische Wärmeanomalie (UHI)

Die Angaben zur strahlungs-nächtlichen städtischen Wärmeinsel (UHI) Oberhausens konnten aus Stationsmessdaten (*dynaklim*-Aktivität A4.3.2 (KUTTLER et al. 2012b)) gewonnen werden. Die räumlichen Temperaturdifferenzen wurden als Abweichung vom Gebietsmittwert (Anomalie) dargestellt.

Tabelle A3 zeigt für die einzelnen Klimatoptypen die mittleren strahlungs-nächtlichen Temperaturanomalien. Wiesen und Baumwiesen stellen die kühlestes Areal dar, gefolgt von Wäldern und Gewässern. Im Gegenzug sind die Innenstadtkerne die wärmsten Gebiete, gefolgt von der verdichteten (innenstadtnahen) Bebauung sowie von Industrie und Gewerbegebieten. Die Temperaturanomalie zwischen kältestem und wärmstem Klimatop beträgt 6,5 K.

Hinsichtlich der Klimaqualität ist die Überwärmung im Sommer unerwünscht. Stattdessen muss die Abkühlung die höhere Bewertung erhalten. Als Maßzahl ist daher die Temperaturanomalie UHI aufgrund ihrer positiven Korrelation („je wärmer, desto höher der Wert“) ungeeignet. Stattdessen wird der Differenzbetrag zum Klimatop mit der höchsten Temperaturanomalie bzw. UHI („Innenstadt“) berechnet, so dass der Indikator umso höher beziffert wird, je geringer die Überwärmung einer Fläche ist („Abkühlung“). Das kühlestes Klimatop stellt die „Wiese“ dar, deren Differenzbetrag gegenüber der maximalen UHI der Innenstadt 6,5 K beträgt. Dieses Klimatop dient somit als Referenz (100 %).

**Tab. A3: Absolute und relative strahlungsnächtliche Temperaturanomalien (Sommer) in K in Klimatopen der Stadt Oberhausen** (absteigend sortiert nach normierter Abkühlung)

		1. Basis	2. Transformation	
Messgröße		Temp.-anomalie	Abkühlung*	
Datenquelle, abgeleitet aus		3 TMF**	T-Anomalie	
Einheit		K	K	
Klimatop				normiert
1	Wiese	-3,5	6,5	= 100,0 %
2	Baumwiese	-3,4	6,4	97,7 %
3	Brache	-2,5	5,5	84,6 %
4	Laubwald	-2,0	5,0	76,9 %
5	Nadelwald	-2,0	5,0	76,9 %
6	Mischwald	-2,0	5,0	76,9 %
7	Acker	-1,5	4,5	69,2 %
8	Gewässer	-1,0	4,0	61,5 %
9	Park	80 % Wiese + 20 % Wald		46,2 %
10	Gartenstadt/Dorf	50 % Wiese		46,2 %
11	Stadttrand	1,5	1,5	23,1 %
12	Industrie	2,0	1,0	15,4 %
13	Gewerbe	2,0	1,0	15,4 %
14	Versiegelte Fläche (ungenutzt)	2,0	1,0	15,4 %
15	Verkehrsfläche (normal)	2,0	1,0	15,4 %
16	Verkehrsfläche (übergeordneter Verkehr)	2,0	1,0	15,4 %
17	Verdichtete Bebauung	2,5	0,5	7,7 %
18	Innenstadt	3,0	0,0	0,0 %
<b>Beste Wert</b>		Min	Max	
Kriterium		-3,5	6,5	
Wert				

\* berechnet als Differenzbetrag zum Klimatop mit der höchsten Temperaturanomalie (UHI / Innenstadt)

\*\* TMF = Temperaturmessfahrt

### **Aerodynamische Oberflächenrauigkeit (VENT)**

Die aerodynamische Oberflächenrauigkeit  $z_0$  ist ein Maß, welches die bremsende Wirkung von Objekten auf der Erdoberfläche auf den übergeordneten Wind beschreibt. Je höher die Anzahl, Dichte und Höhe der Hindernisse, desto stärker wird die Windgeschwindigkeit reduziert. Aus denselben Hindernismerkmalen errechnet sich auch die Rauigkeit.

Da für die Klimatoptypen die topografische Flächenausstattung in Grundzügen bekannt ist, lassen sich entsprechende Rauigkeitswerte bestimmen, aus denen die Wirksamkeit zur Durchlüftung abgeleitet werden kann (MAYER et al. 1994).

Bei gegebener Rauigkeit nimmt der Bremseffekt nach dem logarithmischen Windgesetz nach PRANDTL (1957) mit abnehmender Höhe zu. Die Oberflächenrauigkeit lässt sich nach LETTAU (1969) unmittelbar über die Anordnung und Geometrie der Hindernisse berechnen. In vereinfachter Form besteht nach MONTEITH (1978) zwischen der Rauigkeit  $z_0$  und der mittleren Hindernishöhe  $h_H$  die hinreichend genaue Beziehung:

$$z_0 \approx 0,13h_H \text{ [m]} \quad (\text{Gl. 5})$$

Entsprechend lassen sich für verschiedene Landschaftsformen die Rauigkeiten bestimmen (Abb. A1) und auf Klimatotypen übertragen (Tab. A4).

Für die Bewertung sind die Unterschiede der Rauigkeitsdifferenzen zwischen rauigkeitsarmen und rauigkeitsstarken Klimatopen mit zwei Größenordnungen ( $0,01 \leq z_0 < 1,00$ ) zu groß, um in Hinblick auf die zu erzielenden Windgeschwindigkeiten sinnvolle Aussagen zu treffen, da diese über die Logarithmusfunktion von der Rauigkeit abhängen. Daher wird für die Bewertung die Rauigkeit logarithmisch (dekadischer Logarithmus) entzerrt, das negative Ergebnis positiv gesetzt und anhand des Minimums (= 100 % für Wasserflächen) referenziert ( $\text{abs}(-\log(z_0))$ ).

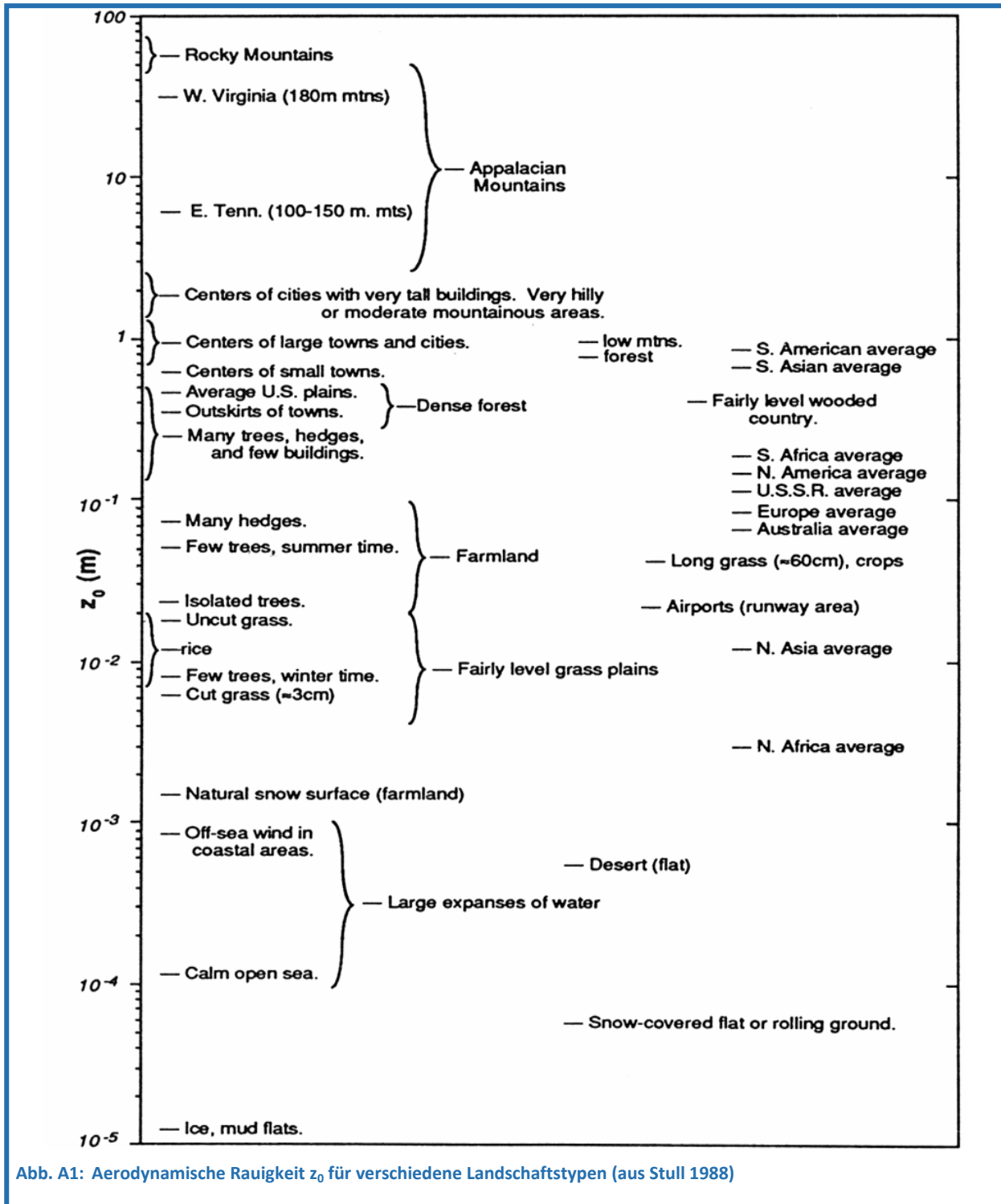


Abb. A1: Aerodynamische Rauigkeit  $z_0$  für verschiedene Landschaftstypen (aus Stull 1988)

**Tab. A4: Absolute und relative Oberflächenrauigkeit  $z_0$  (in m) in Klimatopen der Stadt Oberhausen** (absteigend sortiert nach normierter Rauigkeit)

		1. Basis	2. Transformation		
Messgröße		Rauigkeit $z_0$	abs(-log( $z_0$ ))		
Datenquelle, abgeleitet aus		Stull 1988	Rauigkeit $z_0$		
Einheit		m	m		
Klimatop				Normiert	
1	Gewässer	0,01	2,00	= 100,0 %	
2	Wiese	0,02	1,69	84,9 %	
3	Versiegelte Fläche (ungenutzt)	0,02	1,69	84,9 %	
4	Verkehrsfläche (übergeordneter Verkehr)	0,02	1,69	84,9 %	
5	Baumwiese	0,025	1,60	80,1 %	
6	Acker	0,03	1,52	76,1 %	
7	Verkehrsfläche (normal)	0,03	1,52	76,1 %	
8	Brache	0,05	1,30	65,1 %	
9	Park	80 % Wiese + 20 % Wald	0,2	0,69	34,9 %
10	Gartenstadt/Dorf	50 % Wiese	0,2	0,69	34,9 %
11	Laubwald		0,3	0,52	26,1 %
12	Stadttrand		0,3	0,52	26,1 %
13	Mischwald		0,35	0,46	22,8 %
14	Nadelwald		0,4	0,39	19,9 %
15	Verdichtete Bebauung		0,5	0,30	15,1 %
16	Industrie		0,5	0,30	15,1 %
17	Gewerbe		0,5	0,30	15,1 %
18	Innenstadt		0,9	0,04	2,3 %
Bester Wert		Kriterium Wert	Min	Max	
			0,01	2,0	

### Kaltluftproduktivität (KLP)

Die Kaltluftproduktivität beschreibt die Fähigkeit einer Oberfläche zur Abkühlung der bodennahen Luftschicht während der Nacht. Die wesentlichen Steuerungsgrößen sind der thermische Emissionskoeffizient und die Luftfeuchtigkeit. Ein bewährter Berechnungsansatz für die Kaltluftproduktionsrate ist der auf der ÅNGSTRØM-Gleichung basierende Ansatz von WIESNER (1986). Setzt man die so ermittelte Kaltluftproduktionsrate in Beziehung zur Flächengröße und Andauer des Abkühlungsprozesses, erhält man die Kaltluftproduktionsrate in der Einheit  $[m^3 m^{-2} h^{-1}]$ .

In Anbetracht der Variablenvielfalt der meteorologischen und pedologischen Einflussfaktoren, können für konkrete Flächen in natura Kaltluftvolumenangaben oftmals nur mittels Parametrisierungen getroffen werden, da aufgrund der normalerweise heterogenen Oberflächenstruktur die Variablenwerte flächenmäßig nicht exakt bestimmt werden können oder für diverse Oberflächentypen unbekannt sind. Wiesner (a.a.O.) hat für die Freilandnutzungen Wiese, Brache, Acker, Laubwald, Nadelwald und Gewässer typische Werte für die Kaltluftproduktion in Abhängigkeit der Jahreszeiten berechnet. Diese Nutzungstypen finden auch in entsprechenden Klimatopen Berücksichtigung, so dass darauf bezogene Kaltluftproduktionsraten angegeben werden können (Tab. A5).

**Tab. A5: Absolute und relative Kaltluftproduktion (KLP) in Klimatopen der Stadt Oberhausen** (absteigend sortiert nach normierter Kaltluftproduktion)

		Messgröße Datenquelle, abgeleitet aus Einheit	KLP Wiesner (1986) $m^3 m^{-2} h^{-1}$	
Klimatop			Normiert	
1	Baumwiese		14,7	= 100,0 %
2	Wiese		14,7	100,0 %
3	Acker		14,6	99,3 %
4	Park	80 % Wiese + 20 % Wald	14,5	98,4 %
5	Brache		14,4	98,0 %
6	Gewässer		13,5	91,8 %
7	Laubwald		13,5	91,8 %
8	Nadelwald		13,5	91,8 %
9	Mischwald		13,5	91,8 %
10	Gartenstadt/Dorf	50 % Wiese	7,4	50,0 %
11	Stadtrand		0	0,0 %
12	Verdichtete Bebauung		0	0,0 %
13	Innenstadt		0	0,0 %
14	Industrie		0	0,0 %
15	Gewerbe		0	0,0 %
16	Versiegelte Fläche (ungenutzt)		0	0,0 %
17	Verkehrsfläche (normal)		0	0,0 %
18	Verkehrsfläche (übergeordneter Verkehr)		0	0,0 %
<b>Bester Wert</b>		Kriterium Wert	Max 14,7	

Demnach zählen Wiesen und Baumwiesen zu den größten Kaltluftproduzenten, während Wälder in der Ebene eine vergleichsweise geringere Kaltluftproduktion aufweisen, die für die Umgebung wichtig sein könnte. Auf versiegelten Arealen ist aufgrund der nächtlichen Überwärmung die Kaltluftproduktion bezüglich des Kaltluftvolumens und der erzielbaren Untertemperatur vernachlässigbar.

Die Kaltluftproduktion wird anhand des Maximums (Wiese, Baumwiese = 100 %) normiert.

### **Luftqualitätsindex (LQ)**

Die Berücksichtigung der Luftqualität ist insofern aufwendig, als dass für die Vielzahl der umweltrechtlich relevanten Spurenstoffe die jeweils typischen Immissionskonzentrationen in jedem Klimatoptyp bestimmt werden müssten. Selbst wenn dieses im Rahmen der Aufgabenstellung machbar wäre, bleibt zu diskutieren, ob für die Bewertung die Messwerte der einzelnen Spurenstoffe zu einer gemeinsamen Maßzahl zusammengefasst oder jeweils separat betrachtet werden sollen.

Hier wird ein Ansatz verfolgt, der sowohl eine integrierende Bewertung der einzelnen Spurenstoffe in einer Maßzahl als auch die lufthygienische Differenzierung der Klimatoptypen erlaubt. Das Verfahren findet insbesondere in Baden-Württemberg seit vielen Jahren eine etablierte Anwendung (LUBW 2004, BAUMÜLLER & REUTER 1995). Das Prinzip beruht auf der Berechnung einer integrierten Luftquali-

tätszahl „Langzeitluftbelastungsindex (LBI1)“ oder „planungsrelevanter Langzeitluftqualitätsindex (LAQx)“, welche für einen Standort die Immissionskonzentrationen einzelner Spurenstoffe zunächst in Relation zum jeweils gültigen Grenzwert setzt und anschließend diese relativen Belastungen zu einer Zahl aufsummiert. In vereinfachter Form erfolgt die Berechnung nach Gl. 6:

$$LQI = \frac{\frac{MW_{Stoff\ 1}}{GW_{Stoff\ 1}} G_1 + \frac{MW_{Stoff\ 2}}{GW_{Stoff\ 2}} G_2 + \frac{MW_{Stoff\ 3}}{GW_{Stoff\ 3}} G_3 + \dots + \frac{MW_{Stoff\ i}}{GW_{Stoff\ i}} G_i}{\sum G_i} * 100 \quad (Gl. 6)$$

- mit *LQI* : Luftqualitätsindex  
*MW* : Messwert eines Spurenstoffes in µg/m<sup>3</sup> oder in mg/m<sup>3</sup>  
*GW* : Grenzwert eines Spurenstoffes in µg/m<sup>3</sup> oder in mg/m<sup>3</sup>  
*G* : Gewichtungs- oder Korrekturfaktor

Statt des Messwertes MW kann auch die Abweichung des Messwertes vom Grenzwert (MW – GW) verwendet werden. Als Leitsubstanzen werden i. d. R. CO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub> und SO<sub>2</sub> verwendet.

LBI1 und LAQx weisen verschiedene Referenzierungsmethoden auf, deren Berechnung im Rahmen dieser Arbeit jedoch nicht notwendig ist und daher hier nicht beschrieben wird (zur Berechnung der verschiedenen Indices siehe LUBW 2004). Für die hiesige Aufgabenstellung ist wichtig, dass diese Indices in zahlreichen Studien auf verschiedenen Flächennutzungen angewendet wurden (z. B. LUBW (2004), ROST & MAYER (2004), STRASSBURGER (2004), STADT AALEN (2000), BAUMÜLLER & REUTER (1995)), so dass eine typisierende Bemaßung der Luftqualität für typische Flächennutzungen und damit Klimatope möglich ist, wobei hier die relative Differenzierung zwischen den Klimatopen im Vordergrund steht. Da nicht in allen Studien jeweils sämtliche Flächennutzungstypen untersucht wurden, war eine Zusammenschau der Studien mit Quervergleichen und abschließender Zusammenfassung erforderlich. Die Ergebnisse dieser Studien sind in Tab. A6 final zusammengefasst, wobei der LBI zur besseren Lesbarkeit auf eine Skala von 0 bis 1 justiert wurde.

**Tab. A6: Typische Werte des Luftbelastungsindex (LBI) in ausgewählten Flächennutzungsstrukturen** (nach verschiedenen Quellen, siehe Text)

Stufe	Wert	Belastung	Vorkommen
I	<0,2	sehr gering	Reinluftgebiet
II	0,2 - 0,4	gering	ländlicher Raum, Kleinstädte
III	0,4 - 0,6	mittel	Mittelstädte, Stadtrand
IV	0,6 - 0,8	hoch	Großstadt, Industrienähe, Hauptstraßen
V	>0,8	sehr hoch	Großstadt, Industrie

Anhand der Spezifizierung der lufthygienischen Eigenschaften in einzelnen Klimatopen in der VDI RL 3787, Blatt 1 (VDI 1997/2003) kann den Klimatoptypen per Analogieschluss ein Luftbelastungsindexwert LBI zugewiesen werden (Tab. A7). Erwartungsgemäß haben Freiflächen mit fehlender oder extensiver Landnutzung die geringste Luftbelastung, während im Gegenzug Innenstadt- und Industriegebiete sowie Hauptverkehrsflächen die höchste Belastung aufweisen.



Für die Berechnung des Luftqualitätsindex LQ wird die LBI-Belastungsskala umgekehrt, um weniger belasteter Luft eine höhere Bewertung beizumessen.

**Tab. A7: Absolute und relative Luftbelastung in Klimatopen der Stadt Oberhausen** (absteigend sortiert nach normierter Luftbelastung)

		1. Basis	2. Transformation		
Messgröße		Luftbelastung LBI	LQ (= neg. LBI)		
Datenquelle, abgeleitet aus Maß		LBI1, LAQx (JahresM) 1	LBI 1		
Klimatop				normiert	
1	Gewässer	0,2	0,7	= 100,0 %	
2	Baumwiese	0,2	0,7	100,0 %	
3	Wiese	0,2	0,7	100,0 %	
4	Brache	0,2	0,7	100,0 %	
5	Laubwald	0,2	0,7	100,0 %	
6	Nadelwald	0,2	0,7	100,0 %	
7	Mischwald	0,2	0,7	100,0 %	
8	Acker	0,3	0,6	85,7 %	
9	Park	80 % Wiese + 20 % Wald	0,4	0,5	71,4 %
10	Gartenstadt/Dorf	50 % Wiese	0,4	0,5	71,4 %
11	Stadtrand		0,4	0,5	71,4 %
12	Versiegelte Fläche (ungenutzt)		0,4	0,5	71,4 %
13	Verdichtete Bebauung		0,6	0,3	42,9 %
14	Gewerbe		0,6	0,3	42,9 %
15	Verkehrsfläche (normal)		0,6	0,3	42,9 %
16	Innenstadt		0,8	0,1	14,3 %
17	Verkehrsfläche (übergeordneter Verkehr)		0,8	0,1	14,3 %
18	Industrie		0,9	0,0	0,0 %
<b>Bester Wert</b>		Kriterium	Min	Max	
		Wert	0,2	0,7	

## Anhang 2: Klimatopklassifizierung der Flächennutzungen

**Tab. A8: Klassifizierung der Oberhausener Flächennutzungsarten zu Klimatopen (Stadt Oberhausen 2008)**

Hinweis: Die Bezeichnungen der Spalten sind so gewählt, dass sie den Namensspezifikationen von ArcMAP entsprechen.

Abkürzungen: gew. = gewerblich, ind. = industriell, FNP = Flächennutzungsplan, ASB = gewerbliche Bauflächen in allgemeinen Siedlungsbereichen, GIB = gewerbliche Bauflächen für gewerbliche und industrielle Nutzungen

FN_KLASSE	FN_CODE	FN_ART	KLIMATOP
Brachflächen (gew./ind.)	460	gewerblich und industrielle Brachflächen	Gewerbe
Brachflächen (gew./ind.)	461	z.Z. ungenutzte Flächen mit erkennbaren Erschließungsmaßnahmen (gew./ind. Brachflächen)	Gewerbe
Brachflächen (gew./ind.)	462	z.Z. ungenutzte Flächen, die im FNP für Gewerbe- und Industrieansiedlungen vorgesehen sind	Gewerbe
Brachflächen (gew./ind.)	463	Sonstige Flächen, die z.B. im FNP für andere Nutzungen vorgesehen sind (gew./ind. Brachflächen)	Gewerbe
Brachflächen (gew./ind.)	481	Gebäude /Anlagen (Zechenbrachen)	Gewerbe
Brachflächen (gew./ind.)	482	Geräumte, ungenutzte Betriebsflächen (Zechenbrachen)	Gewerbe
Brachflächen (gew./ind.)	483	Sonstige Flächen (Zechenbrachen)	Gewerbe
Brachflächen (gew./ind.)	490	Nichtgenutzte Verkehrsflächen	Gewerbe
Brachflächen (gew./ind.)	491		Gewerbe
Flächen für Bahnanlagen	181	Bahnhöfe	Gewerbe
Flächen für Bahnanlagen	182	Betriebsgebäude (Güterbahnhöfe, Ausbesserungswerke, Lokschuppen)	Gewerbe
Flächen für Bahnanlagen	183	Gleisanlagen (Stadtbahn, Straßenbahn)	Verkehrsfläche (normal)
Flächen für Bahnanlagen	184	Sonstige Flächen (Bahnanlagen)	Verkehrsfläche (normal)
Flächen für Bahnanlagen	56	Bus- und Straßenbahndepot	Verkehrsfläche (normal)
Flächen für den überörtlichen Verkehr	110	Autobahn u. autobahnähnliche Straßen	Verkehrsfläche (übergeordneter Verkehr)
Flächen für den überörtlichen Verkehr	140	übergeordnete Straßen u. Hauptstraßen	Verkehrsfläche (übergeordneter Verkehr)
Flächen für die Landwirtschaft	361	Wiesen und Weiden	Wiese
Flächen für die Landwirtschaft	362	Obstwiesen und Obstweiden	Wiese
Flächen für die Landwirtschaft	370	Ackerflächen	Acker
Flächen für die Landwirtschaft	381	Bauliche Anlagen (Erwerbsgartenbau, z.B. Treibhäuser)	Gartenstadt/Dorf
Flächen für die Landwirtschaft	382	Anbauflächen, Sonderkulturen, Baumschulen	Park
Flächen für die Landwirtschaft	383	Sonstige Flächen (Erwerbsgartenbau)	Park
Flächen für die Landwirtschaft	471	Landwirtschaftliche Brachen	Brache
Flächen für die Landwirtschaft	91	Gebäude /Anlagen (Landwirtschaft)	Gartenstadt/Dorf
Flächen für die Landwirtschaft	93	Sonstige Flächen (Landwirtschaft)	Gartenstadt/Dorf
Gemeindebedarfsflächen	81	öffentliche Verwaltungen, Strafvollzug	Verdichtete Bebauung
Gemeindebedarfsflächen	82	Gesundheitswesen (Krankenhäuser, Kliniken)	Verdichtete Bebauung
Gemeindebedarfsflächen	83	öffentliche- u. private Bildungseinrichtungen, Bibliotheken, Berufsbildungszentren	Verdichtete Bebauung
Gemeindebedarfsflächen	84	Kindergärten, Hort, Jugend- u. Altenheime /Wohnanlagen	Stadtrand
Gemeindebedarfsflächen	85	Kirchen u. Gemeindehäuser, Klöster	Verdichtete Bebauung
Gemeindebedarfsflächen	86	Polizei, Feuerwehr, Rettungsstationen, Bunkeranlagen	Verdichtete Bebauung
Gemeindebedarfsflächen	87	Post, Fernmeldewesen	Verdichtete Bebauung
Gemeindebedarfsflächen	88	Kulturstätten (Museen, Theater)	Verdichtete Bebauung
Gemeindebedarfsflächen	89	Sonstige Flächen (Gemeindebedarf, z.B. Tierheime)	Verdichtete Bebauung
Gemischte Bauflächen	160	Fußgängerzone	Innenstadt

## Handlungsleitfaden zur Verbesserung des Stadtklimas

FN_KLASSE	FN_CODE	FN_ART	KLIMATOP
Gemischte Bauflächen	40	Mischbauflächen	Verdichtete Bebauung
Gewerbliche Bauflächen (ASB)	51	Gebäude /Anlagen (Gewerbe)	Gewerbe
Gewerbliche Bauflächen (ASB)	52	Lagerflächen (Gewerbe)	Gewerbe
Gewerbliche Bauflächen (ASB)	53	betriebliche Freiflächen (mögliche Reserveflächen, Gewerbe)	Versiegelte Fläche (ungenutzt)
Gewerbliche Bauflächen (ASB)	54	Parkplatzflächen in Gewerbeflächen	Verkehrsfläche (normal)
Gewerbliche Bauflächen (ASB)	55	städtischer Bauhof /Fuhrpark, Stadtwerke, Autobahnmeiserei, TÜV	Verkehrsfläche (normal)
Gewerbliche Bauflächen (ASB)	58	Fernmeldewesen	Gewerbe
Gewerbliche Bauflächen (GIB)	61	Gebäude /Anlagen (Industrie)	Industrie
Gewerbliche Bauflächen (GIB)	61	Lagerflächen (Industrie)	Gewerbe
Gewerbliche Bauflächen (GIB)	62	Lagerflächen (Industrie)	Gewerbe
Gewerbliche Bauflächen (GIB)	63	betriebliche Freiflächen (mögliche Reserveflächen, Industrie)	Gewerbe
Gewerbliche Bauflächen (GIB)	64	Parkplatzflächen (Industrie)	Verkehrsfläche (normal)
Gewerbliche Bauflächen (GIB)	66	Sonstige Flächen (Industrie)	Industrie
Grünflächen	271	Gestaltete Grünflächen im hausnahen Bereich (Kriterien 10, 20, 30, 40, 91)	Park
Grünflächen	272	Grünanlagen (Parks, botanische Gärten, Zoo)	Park
Grünflächen	273	Sonstige Grünflächen	Park
Grünflächen	281	Bauliche Anlagen (Friedhof)	Park
Grünflächen	282	Belegungs- u. Grünflächen (Friedhof)	Park
Grünflächen	283	Erweiterungsflächen (Friedhof)	Park
Grünflächen	284	Sonstige Flächen (Friedhof)	Park
Grünflächen	291	Freiflächen im hausnahen Bereich (Kriterien 10, 20, 30, 40, 91)	Park
Grünflächen	292	Dauerkleingärten, Kleingartenanlagen, Schrebergärten	Park
Grünflächen	293	Grabeland	Park
Grünflächen	294	Sonstige Flächen (Kleingärten)	Park
Grünflächen	301	Sportplätze	Park
Grünflächen	302	Frei-, Strandbäder	Park
Grünflächen	303	Tennisplätze	Park
Grünflächen	304	Anlagen für den Wassersport (Sportbootliegeplätze, Stege)	Park
Grünflächen	305	Hundedressurplätze	Wiese
Grünflächen	306	Reit-, Rennplätze	Wiese
Grünflächen	307	Golfplätze	Wiese
Grünflächen	308	Spiel-, Bolzplätze	Wiese
Grünflächen	309	Sonstige Freizeitanlagen (Minigolf, Schießstand, Freizeitpark, etc.)	Park
Grünflächen	313	Sonstige Flächen (Campingplätze)	Wiese
Grünflächen	320	Begleitgrün	Park
Grünflächen	321	Gehölze (Begleitgrün)	Park
Grünflächen	322	Rasen, Kleingehölze (Begleitgrün)	Wiese
Halden und Deponien	243	Deponieflächen	Gewerbe
Halden und Deponien	244	Rekultivierte Deponieflächen	Brache
Halden und Deponien	250	Schüttungsflächen für Erde, Schutt	Gewerbe
Halden und Deponien	501	Halden, in Schüttung oder Abtragung befindlich	Gewerbe

## Handlungsleitfaden zur Verbesserung des Stadtklimas

FN_KLASSE	FN_CODE	FN_ART	KLIMATOP
Halden und Deponien	502	Rekultivierte Halden, auch Teile einer Halde	Brache
Halden und Deponien	503	Sonstige Flächen (Halden)	Gewerbe
sonstige Verkehrsflächen	152	Sonstige Wege /Straßen	Verkehrsfläche (normal)
sonstige Verkehrsflächen	171	Parkplatzflächen	Verkehrsfläche (normal)
sonstige Verkehrsflächen	172	Parkhäuser	Verkehrsfläche (normal)
sonstige Verkehrsflächen	173	Busbahnhöfe	Verkehrsfläche (normal)
sonstige Verkehrsflächen	174	Sonstige Flächen (Verkehr, z.B. Garagenhof nicht zu 10-40 gehörend)	Verkehrsfläche (normal)
sonstige Verkehrsflächen	200	Sonstige öffentliche Plätze	Versiegelte Fläche (ungenutzt)
Spiel- und Sportanlagen	71	Hallenbäder	Verdichtete Bebauung
Spiel- und Sportanlagen	72	Turn-, Tennis-, Eissport-, Reithallen	Verdichtete Bebauung
Spiel- und Sportanlagen	74	Stadion	Verdichtete Bebauung
Spiel- und Sportanlagen	75	bauliche Anlagen zu Sport- u. Freizeitstätten	Stadtrand
Spiel- und Sportanlagen	76	Sonstige Flächen (Spiel- und Sportanlagen)	Stadtrand
Ver- und Entsorgung	211	Gebäude /Anlagen (Energieversorgung)	Gewerbe
Ver- und Entsorgung	212	Lagerflächen (Energieversorgung)	Gewerbe
Ver- und Entsorgung	213	Umspannanlagen	Gewerbe
Ver- und Entsorgung	215	Sonstige Flächen (Energieversorgung, z.B. Freiflächen)	Gewerbe
Ver- und Entsorgung	221	Gebäude /Anlagen (Wasserversorgung, z.B. Pumpstationen, Wassertürme)	Gewerbe
Ver- und Entsorgung	231	Gebäude /Anlagen (Abwasserbeseitigung, z.B. Pumpstationen)	Gewerbe
Ver- und Entsorgung	232	Klärteiche u. -becken	Gewässer
Ver- und Entsorgung	233	Regenrückhaltebecken	Wiese
Ver- und Entsorgung	234	Sonstige Flächen (Abwasserbeseitigung, z.B. Freiflächen)	Wiese
Ver- und Entsorgung	242	Gebäude /Anlagen (Abfallbeseitigung)	Gewerbe
Ver- und Entsorgung	246	Betriebsflächen, Sammelstellen für Recycling /Kompostierungsflächen	Gewerbe
Ver- und Entsorgung	247	Sonstige Flächen (Abfallbeseitigung)	Gewerbe
Wald	400	Laubwald	Laubwald
Wald	410	Nadelwald	Nadelwald
Wald	420	Mischwald	Mischwald
Wald	431	Gehölzbestand	Mischwald
Wald	432	Baumgruppen und Baumreihen	Park
Wald	441	Aufforstungen und Anpflanzungen	Park
Wald	442	Kahlschlag	Brache
Wald	472	Verbuschte Brachflächen	Brache
Wald	473	Sonstige Flächen, die z.B. im FNP für Grünflächen vorgesehen sind	Brache
Wasserflächen	331	Fließgewässer	Gewässer
Wasserflächen	332	Ausgebaute Gewässer	Gewässer
Wasserflächen	333	Sonstige Gewässer	Gewässer
Wasserflächen	341	Schleusenanlagen (Kanäle und Häfen)	Gewässer
Wasserflächen	342	Kanäle	Gewässer
Wasserflächen	343	Hafengewässer	Gewässer
Wasserflächen	344	Sonstige Flächen (Kanäle und Häfen)	Gewässer
Wasserflächen	351	naturnahe, stehende Gewässer	Gewässer
Wasserflächen	354	Teiche in Parkanlagen	Gewässer

## Handlungsleitfaden zur Verbesserung des Stadtklimas

---

FN_KLASSE	FN_CODE	FN_ART	KLIMATOP
Wasserflächen	355	Fischzuchtgewässer	Gewässer
Wohnbauflächen	10	Bebaute Flächen, dem Wohnen dienend, bis 3 Geschosse	Stadttrand
Wohnbauflächen	151	Wohn- u. Erschließungsstraßen	Verkehrsfläche (normal)
Wohnbauflächen	20	Bebaute Flächen, dem Wohnen dienend, bis 5 Geschosse	Verdichtete Bebauung
Wohnbauflächen	30	Bebaute Flächen, dem Wohnen dienend, über 5 Geschosse	Innenstadt
Wohnbauflächen	451	Ungenutzte Flächen innerhalb von Wohnbereichen (Baulücken) z.Z. ungenutzte Flächen mit erkennbaren Erschließungsmaßnahmen	Brache
Wohnbauflächen	452	(Wohnbrache)	Brache
Wohnbauflächen	453	z.Z. ungenutzte Flächen, die im FNP für Wohnbebauung vorgesehen sind	Brache
Wohnbauflächen	454	Sonstige Flächen, die z.B. im FNP für andere Nutzungen vorgesehen sind (Wohnbrache)	Brache

**Ansprechpartner**

Jens Hasse  
hasse@fiw.rwth-aachen.de

Birgit Wienert  
wienert@fiw.rwth-aachen.de

**Projektbüro *dynaklim***

Mozartstraße 4  
45128 Essen

Tel.: +49 (0)201 104-33 38

***www.dynaklim.de***