

klimatische Detailbetrachtung / Klimagutachten des Bebauungsplans Nr. 85 „Dieburg Süd“ der Stadt Dieburg

im Rahmen der laufenden Stadtklimaanalyse für die Stadt Dieburg

März 2022

Auftraggeber (AG)

Magistrat der Stadt Dieburg

Markt 4

64807 Dieburg

**Ansprechpartner**

Andreas Achilles

Tel.: +49 6071 2002 219

E-Mail: klimaschutz@dieburg.de

Auftragnehmer (AN)

Burghardt und Partner, Ingenieure (BPI)

Am Sonnenhang 4

34128 Kassel

**BPI**

Burghardt und Partner, Ingenieure

Ansprechpartner

Dr. René Burghardt

Tel.: +49 561 76678963

E-Mail: info@lp-kassel.de

Gestattungserklärung / Erklärung des Verfassers:**KLIMATISCHE DETAILBETRACHTUNG DES BEBAUUNGSPLANS NR. 85 „DIEBURG SÜD“**

uneingeschränkt, zur öffentlichen Verwendung.

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die gleichzeitige Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichermaßen für alle Geschlechter.

Insofern nicht anders angegeben gilt für alle Abbildungen und Tabellen als Quelle:

Burghardt und Partner, Ingenieure (BPI)

Unterschrift

Stempel

gez. Burghardt

Dr. René Burghardt

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	1
1.1.	Auftragsgegenstand	1
2.	Untersuchungsraum	2
2.1.	Lage	2
2.2.	Simulationsumgriff und Vegetationserfassung	4
2.2.1.	Klimatische Einordnung – Wind	6
2.3.	IST-Situation (Nullfall)	8
2.4.	PLAN-Situation (Planfall)	8
3.	Methodisches Vorgehen, Fachliche Grundlagen und Simulationsparameter	10
3.1.	Methodik	10
3.2.	Fachliche Grundlagen	11
3.2.1.	Temperatur und städtische Wärmeinsel	11
3.2.2.	Wind und städtischer Luftstrom	12
3.2.3.	Flurwinde und Kaltluft	12
3.3.	Simulationsparameter	14
4.	Analyseergebnisse und Planungsempfehlungen	16
4.1.	Lufttemperatur	16
4.2.	Kaltluftversorgung und Kaltlufttransport (nächtliches bodennahes Windfeld)	19
4.3.	Planungsrelevanz und Zusammenfassung	23
5.	Anhang	24
5.1.	Hinweise für die Planung / den Entwurf	24
5.2.	Dachbegrünung	24
5.3.	Oberflächenmaterialien	25
5.4.	Straßenbäume und temporäre Verschattungsmöglichkeiten	26
5.5.	Glossar	27
5.6.	Abbildungsverzeichnis	30
5.7.	Tabellenverzeichnis	31
5.8.	Literaturverzeichnis	31

Abkürzungsverzeichnis

%	Prozent
<	kleiner
>	größer als
°	Grad
°C	Grad Celsius
3D	dreidimensional
B	Bundesstraße
B-Plan	Bebauungsplan
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CFD	Computer Fluid Dynamics
cm	Zentimeter
DWD	Deutscher Wetterdienst
etc	et cetera
GE	Gewerbegebiet
GEe	eingeschränktes Gewerbegebiet
GIS	Geoinformationssystem
h	Stunde
ha	Hektar
JJA	Juni, Juli, August
K	Kreisstraße
k.A.	keine Angaben
km	Kilometer
m	Meter
m/s	Meter pro Sekunde
m ²	Quadratmeter
m ³	Kubikmeter
max.	maximal
Nr.	Nummer
o.ä.	oder ähnliches
O ₂	Sauerstoff
PR	Planungsraum
rd.	rund
ü.NN	über Normalnull
UR	Untersuchungsraum
WA	allgemeines Wohngebiet
z.B.	zum Beispiel
zzgl.	zuzüglich

1. Einleitung

1.1. Auftragsgegenstand

Im Zuge des voranschreitenden Klimawandels ist es für Städte, Gemeinden und Kommunen von besonderer Bedeutung, die aktuelle klimatische Situation sowie prognostizierte klimatische Veränderungen in ihrer strategischen Entwicklungsplanung zu berücksichtigen. Somit können einerseits negative klimatische Einflüsse reduziert und andererseits positive klimatische Effekte aufgegriffen und weiterentwickelt werden.

Vor diesem Hintergrund, und als ein Bestandteil der aktuell in Durchführung befindlichen Stadtklimaanalyse für die Stadt Dieburg, soll der sich in Aufstellung befindliche Bebauungsplan Nr. 85 „Dieburg Süd“ klimatisch analysiert und bewertet werden.

Der B-Plan Entwurf sieht die Entwicklung landwirtschaftlicher Flächen am Südrand des städtischen Siedlungsgebiets vor.

Hinsichtlich der geplanten baulichen Nutzung sind Bereiche mit folgenden Baugebietskategorien vorgesehen:

- eingeschränktes Gewerbegebiet (GEe),
- Gewerbegebiet (GE),
- allgemeines Wohngebiet (WA) sowie
- Flächen für den Gemeinbedarf.

In diesem Rahmen wird zunächst die klimaökologische Situation des Untersuchungsraums in seiner jetzigen (Nullfall) und geplanten (Planfall) baulichen Ausprägung mit Hilfe eines Geoinformationssystems (GIS) simuliert / modelliert.

Ein besonderer Fokus liegt hierbei auf der Untersuchung

- der Be- und Durchlüftung,
- der Kaltluftversorgung und
- von thermischen Aspekten (städtischer Wärmeinseleffekt)

im eigentlichen Planungsraum (Geltungsbereich des B-Plans), aber auch für den angrenzenden städtischen Siedlungsbereich.

Aufbauend auf der fachlichen Bewertung dieser klimatischen Aspekte werden zur Sicherung und Entwicklung entsprechender Gunstfaktoren, Planungshinweise und Optimierungsmöglichkeiten für die klimagerechte bauliche Planung im Geltungsbereich des B-Plans herausgearbeitet.

2. Untersuchungsraum

2.1. Lage

Der Planungsraum (PR) (siehe Abbildung 1) befindet sich süd- bis südwestlich des städtischen Siedlungsbereichs der Stadt Dieburg. Er wird im Süden durch die Bundesstraße 26 begrenzt und verläuft im Norden parallel zur Kreisstraße 128, entlang der Bestandsbebauung. Die westliche bzw. östliche Abgrenzung des PRs stellen die Verbindungstraßen zwischen der genannten B 26 und K 128, der Zubringer zu B 45 im Osten und die K 126 im Westen, dar.

Nördlich der K 128 schließt sich der Siedlungsbereich der Stadt Dieburg in Form einer lockeren Wohnbebauung an, der teilweise durch höhere Vegetation von der Kreisstraße getrennt ist.

Außerhalb des Geltungsbereichs des B-Plan Entwurfs (Dieburg-Süd), aber innerhalb der genannten Straßenumrandung finden sich in deren süd-westlicher Ecke zwei größere Einkaufsmärkte mit versiegelten Parkplatzflächen als bauliche Strukturen.

Innerhalb des PR steht ein einzelnes Gebäude, das zu einem, durch höhere Heckenstrukturen abgegrenzten Bereich, mittig der südlichen Planungsraumgrenze gehört. Die übrigen Flächen werden landwirtschaftlich genutzt.



Abbildung 1 Lage des Planungsraums (rote Markierung) süd- bis südwestlich des Siedlungsbereichs der Stadt Dieburg.

Die Stadt Dieburg, mit einer mittleren Höhe von 143 m über Normalnull, liegt großräumlich betrachtet in einem Bereich mit nach Nordosten abfallenden Höhen-Niveau (siehe Abbildung 2).

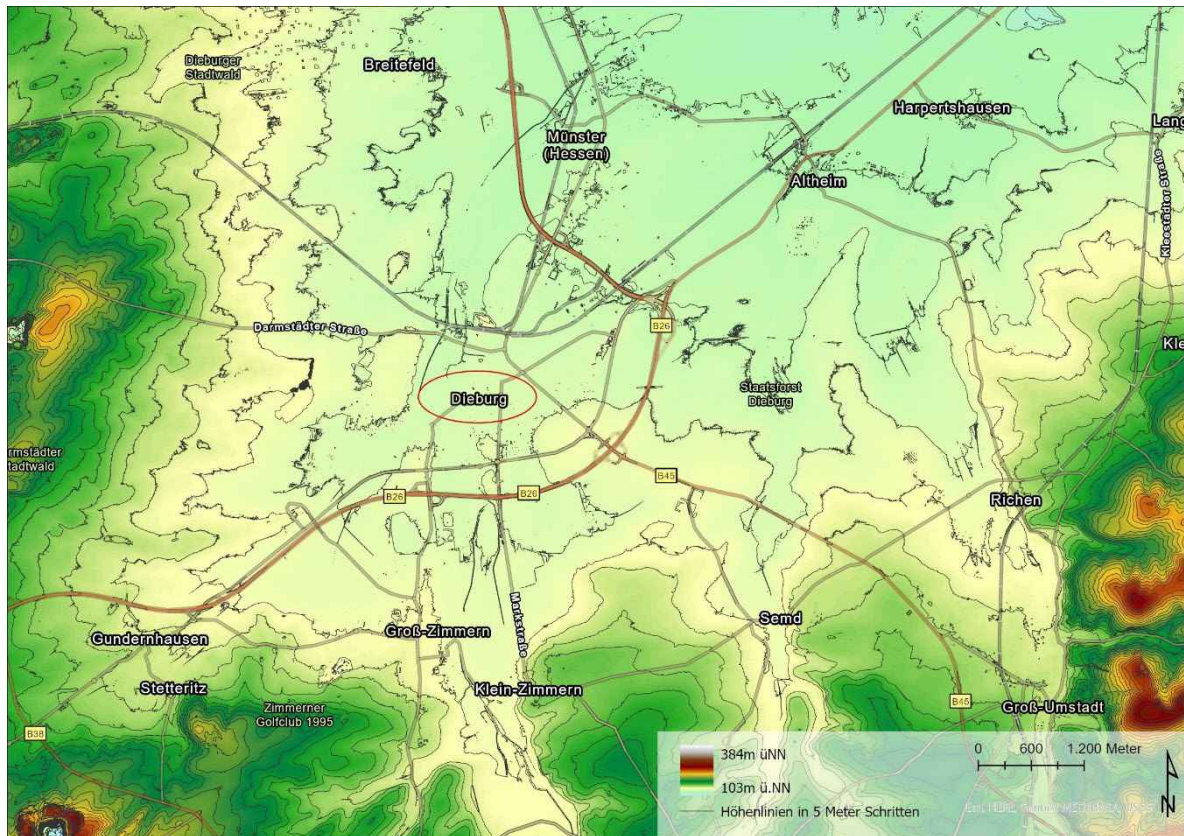


Abbildung 2 Darstellung der Änderung des Höhen-Niveaus im Umfeld der Stadt Dieburg.

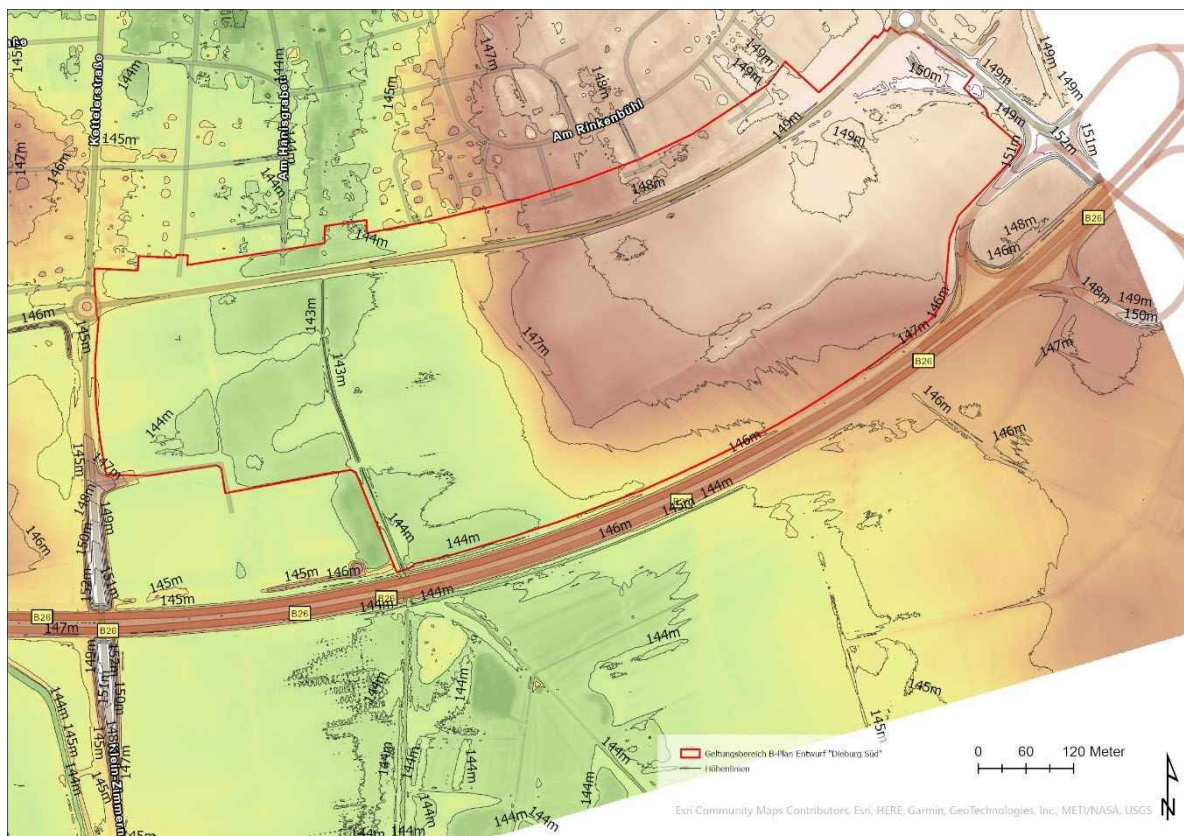


Abbildung 3 Orographie des PR (rote Markierung) und der näheren Umgebung. Von Südwesten steigt das Höhenprofil des Planungsraums Richtung Nordosten hin an.

Im Gegenzug zu den topographischen Ausprägungen der Landschaft auf regionaler Betrachtungsebene, spiegelt der Planungsraum ein umgekehrtes Bild wider (siehe Abbildung 3). Die tiefsten Bereiche mit 143 / 144 m finden sich im Westen und Südwesten des PR. Nach Osten und Nordosten steigt das Gelände an und erreicht im Bereich der östlichen Grenze ein Niveau von 151 m ü.NN.

Die erhöhte Dammstruktur der südlich verlaufenden B 26 unterbricht die natürliche Topographie des erweiterten Betrachtungsraums.

Vor dem Hintergrund des, auf großräumiger Betrachtungsebene, nach Nordwesten abfallenden Geländes (siehe Abbildung 2) sowie die individuelle orographische Ausprägung des PRs (siehe Abbildung 3) sind die möglichen klimatischen Auswirkungen des geplanten Vorhabens besonders für den südlichen Siedlungsbereich der Stadt Dieburg zu untersuchen.

2.2. Simulationsumgriff und Vegetationserfassung

Der Untersuchungsraum bzw. der Simulationsumgriff (siehe Abbildung 4) beschreibt die für die Bewertung berücksichtigte Umgebung. Dabei ändert sich der Raumbezug entsprechend der für die Analysen relevanten Rahmen- / Einflussfaktoren.



Abbildung 4 Übersichtsbild zum weiteren Untersuchungsraum bzw. Simulationsumgriff (hellblaue Markierung) sowie zum Planungsraum (Geltungsbereich des B-Plans „Dieburg Süd“) – rote Markierung.

In der Vegetationserfassung über die Falschfarbennahinfrarot-Aufnahmen (siehe Abbildung 5) sind die lokalen Vegetationsstrukturen deutlich erkennbar. Diese werden in den weiteren Analyseschritten großräumig (entsprechend Abbildung 4) extrahiert und so für die weitere Untersuchung nutzbar gemacht. Die Darstellung der unterschiedlichen Vegetationshöhen (> 5 m) erfolgt auf einer zusätzlichen Auswertung von 3D-Lasescan-Daten für den Untersuchungsraum.



Abbildung 5 Falschfarbennahinfrarotausschnitt aus dem südwestlichen Teil des PR (Gebietsgrenze blaue Markierung) zur Erfassung des vitalen Vegetationsbestands.

2.2.1. Klimatische Einordnung – Wind

Im direkten Umfeld des Planungsraums / der Stadt Dieburg ist keine DWD Wetterstation vorhanden, auf deren Datengrundlage die lokal- / regionaltypischen Wind-/ Anströmungscharakteristika abgeleitet werden kann. Entsprechend mussten vor dem Hintergrund der regionaltypischen Einbettung des Stadtgebietes in der Landschaft eine oder mehrere Referenzstationen ausgewählt werden, mit denen Hilfe die regionaltypische Anströmungs- und Belüftungssituation der Stadt Dieburg beschrieben werden kann.

Aus diesem Grund wurde eine Referenzstationen aus Frankfurt am Main (siehe Abbildung 6) und Offenbach (siehe Abbildung 7) für die folgende Auswertung der Windstärke in Abhängigkeit der Windrichtung hinzugezogen. Hierbei muss beachtet werden, dass die Daten der Frankfurter sowie der Offenbacher DWD-Station nicht bedingungslos auf Dieburg übertragbar sind. So ist beispielsweise durch die räumlich exponierte Lage der Stationen sowie ihren verdichteten, urbanen Kontext das vermehrte Auftreten von windschwachen (< 4 m/s) Situationen in den immer häufiger werdenden austauscharmen Sommermonaten in Frankfurt am Main und Offenbach stärker wahrscheinlich. In den Sommermonaten (Juni, Juli, August) sind am Tag regionaltypische Anströmungen aus Südsüdwest dominant (siehe Abbildung 6 und Abbildung 7). Diese Tendenz lässt sich auf die Stadt Dieburg auf Grund ihrer Lage, Topographie und Einbettung in den Naturraum übertragen.

Mit dem Fokus auf die thermische Belastung im Sommer wird in der Abbildung auch die Windstärke und -richtung während der Sommermonate dargestellt, da der Wind das thermische Wohlbefinden direkt beeinflusst. In den Sommermonaten Juni, Juli und August sind während des Tages (08:00 Uhr bis 18:00 Uhr) die regionaltypischen Anströmungen aus Südsüdwest dominant; diese Tendenz ist auf Grund der Lage auch auf Dieburg übertragbar. Am seltensten (unter 5 %) tritt der Wind dagegen aus südöstlicher Richtung auf – wenn doch, dann nur mit reduzierten Windgeschwindigkeiten von $< 2 - 4$ m/s.

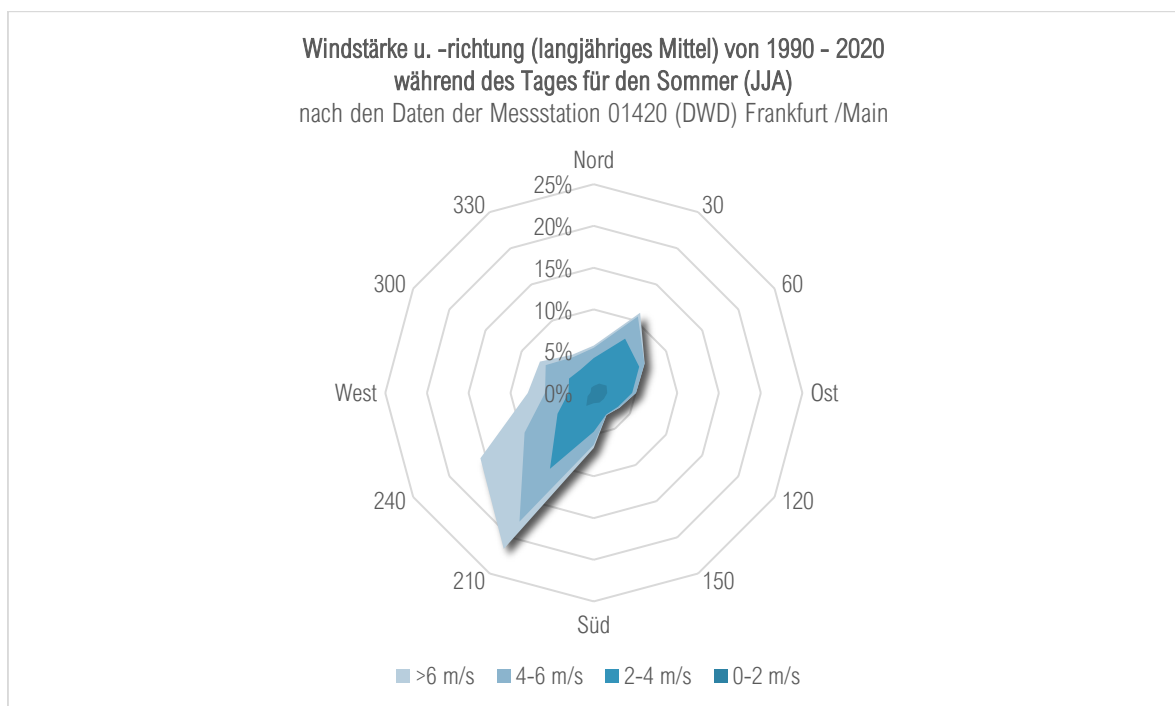


Abbildung 6 Windrose mit Darstellung der Windgeschwindigkeit und Windrichtung für die Sommermonate Juni, Juli, August im langjährigen Mittel über einen Zeitraum von 30 Jahren für die DWD Station 01420 Frankfurt am Main. Darstellung der Tagessituation (08:00 Uhr bis 18:00 Uhr)

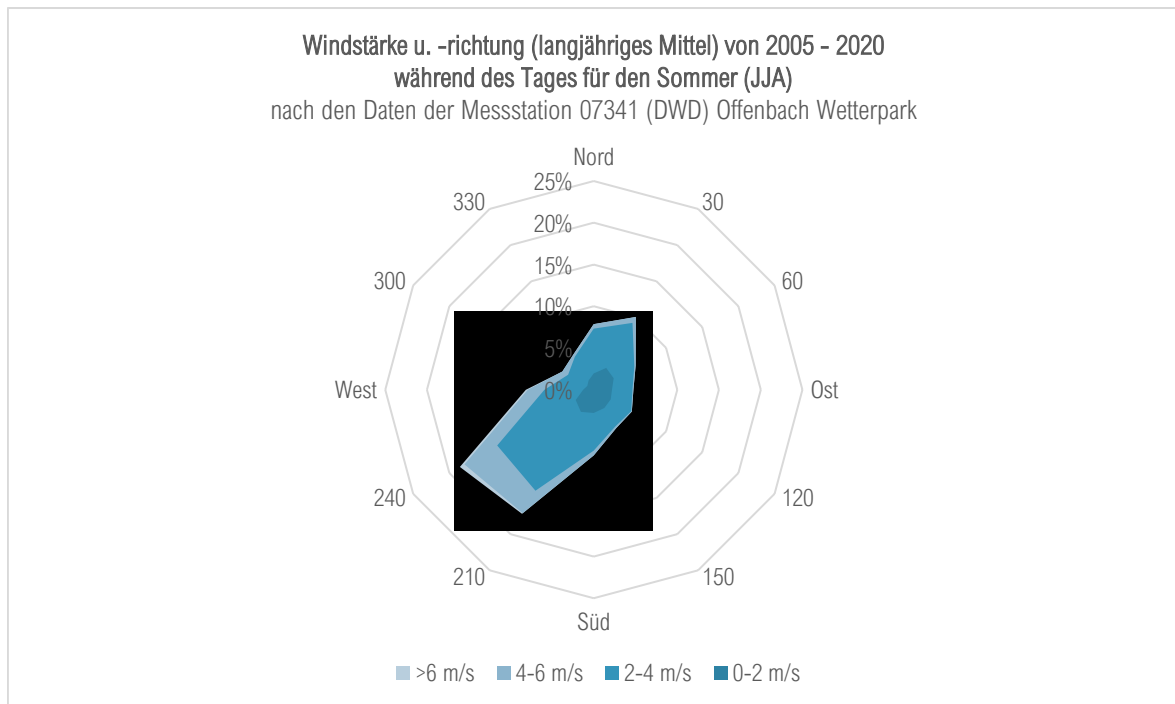


Abbildung 7 Windrose mit Darstellung der Windgeschwindigkeit und Windrichtung für die Sommermonate Juni, Juli, August im langjährigen Mittel über einen Zeitraum von 30 Jahren für die DWD Station 04341 Offenbach. Darstellung der Tagessituation (08:00 Uhr bis 18:00 Uhr)

2.3. IST-Situation (Nullfall)



Abbildung 8 Übersichtsbild der aktuellen Bestandssituation (Nullfall) mit Geltungsbereich des Bebauungsplan Nr. 85 „Dieburg Süd“ (rote Umrandung) in Dieburg. Die Bestandsbebauung ist in weiß dargestellt.

Bei dem Planungsraum handelt es sich um eine unbebaute Fläche von rund 41 ha, die sich südlich an den bestehenden Siedlungsraum der Stadt Dieburg anschließt.

Das Areal umfasst mehrere landwirtschaftlich genutzte Ackerschläge mit zugehörigen Feldwegen und einem Bestandsgebäude mittig der südlichen Planungsraumgrenze.

Die den Planungsraum schneidende K 128 ist auf rd. 2/3 der Länge beidseitig mit Bäumen bestanden (Alleecharakter). Die östliche Grenze des PR sowie der Damm zur B 26 zeichnen sich durch dichtere Vegetationsstrukturen (Hecken mit eingestreuten Bäumen) aus. Das einzelne Bestandsgebäude sowie rd. 400m² zugehörige Grundstücksfläche sind ebenfalls von einer höheren Hecke eingefasst. Eine ähnliche lineare Vegetationsstruktur zieht sich auch entlang eines Grabens, östlich der zwei westlichsten Ackerschläge, von Süd nach Nord durch den PR.

2.4. PLAN-Situation (Planfall)

Der Bebauungsplan Nr. 85 "Dieburg Süd" (Stand 01/2020) sieht eine Bebauung des PR mit unterschiedlichen Nutzungskategorien (siehe Abbildung 9) vor.

Das Areal für das allgemeine Wohngebiet (WA - rosa Färbung) ist entlang des aktuell mit Alleeebäumen bestanden Bereich der K 128 geplant. Die Bestandsbäume sollen hier erhalten und mit Neupflanzung Richtung Westen ergänzt werden. Die Flächen für gewerbliche Nutzung (GEe und GE - graue Färbung) erstrecken sich sichelförmig südlich des WA in Doppelreihe. Der Neubau des Bauhofs sowie der Feuerwehr wird für die Fläche im nordwestlichen Bereich, angrenzend an den bestehenden Kreisverkehr, geplant. Als öffentliche Grünfläche soll parallel zum bereits beschriebenen Graben ein Areal entwickelt werden, dessen Fläche mehrheitlich östlich des Grabens verläuft und so das WA gegen das westliche GEe

abgrenzt. Die Abgrenzung des südlichen GE erfolgt ebenfalls durch öffentliche Grünflächen, die allerdings schmaler ausgelegt sind.

Die Baufelder und die Geschosszahlen für die Bebauung sind dem B-Plan (siehe Abbildung 9) sowie der 3D-Modellierung (siehe Abbildung 10) zu entnehmen.

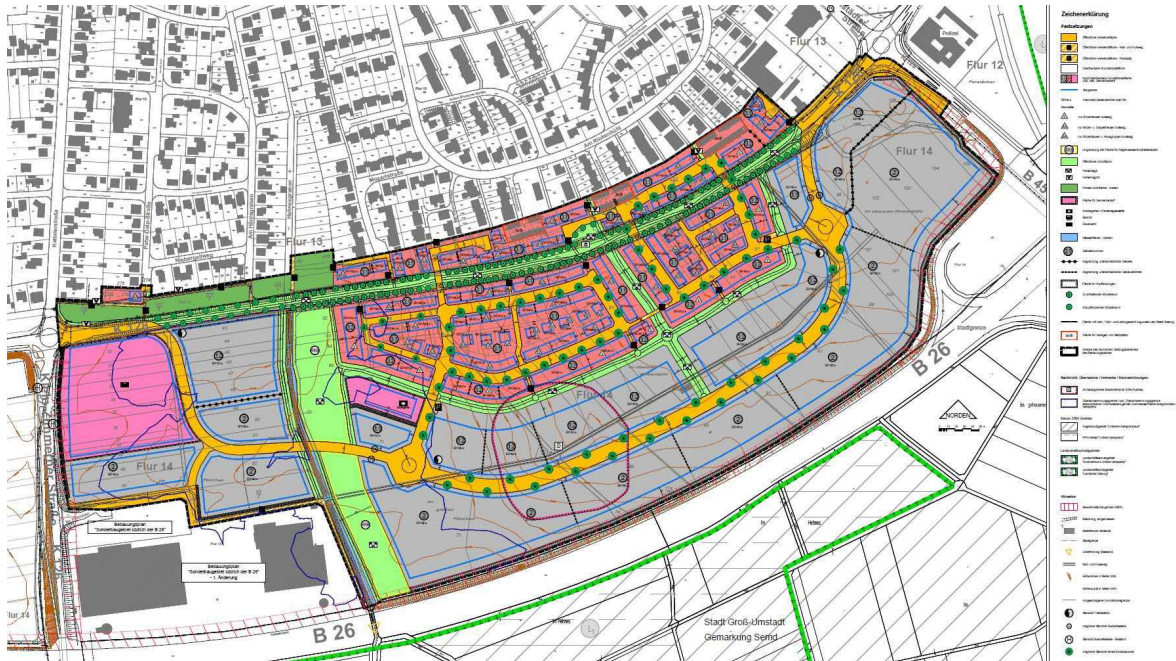


Abbildung 9 Zeichnerische Festsetzung des Bebauungsplan Nr. 85 „Dieburg Süd“ (Stand 01/2020) als Grundlage für die 3D-Modellierung des Planfalls.



Abbildung 10 Planfall des Bebauungsplans Nr. 85 "Dieburg Süd" 3D modelliert mit geplanter Bebauung (blau und grün rd. 14 m Gebäudehöhe, dunkles lila 3 Vollgeschosse (9 m), helles lila 2 Vollgeschosse (6 m)) sowie mit Besatz von Bäumen (entsprechend B-Plan)

3. Methodisches Vorgehen, Fachliche Grundlagen und Simulationsparameter

3.1. Methodik

Die Gesamtuntersuchung basiert auf einem geteilten „hybriden“ Ansatz beruhend auf einer „GIS-basierten“ und einer „Numerischen“ Analyse.

Um die Interaktionen der vielen unterschiedlichen Faktoren realitätsnah zu simulieren, werden Windfeldsimulationen primär mit numerischen Strömungsmechanik-Modellen (CFD Computer Fluid Dynamics) durchgeführt. Durch die Verwendung der international evaluierten Softwareerweiterung „Airflow Analyst“ ist es möglich, das Windfeld direkt innerhalb des Geoinformationssystems zu berechnen. Bei der Berechnung des Windfeldes wird eine räumliche Auflösung von 1 m zugrunde gelegt. Da das berechnete Windfeld den 3-dimensionalen Raum abdeckt, können unterschiedlichste Informationen zum Windfeld zu jeder beliebigen Höhe abgefragt werden. Dies ist insbesondere dann von größerem Interesse, wenn zu überprüfen ist, inwieweit vertikale und horizontale Veränderungen (z.B. durch neue Gebäudestrukturen, Vegetation o.ä.) im Windfeld auftreten.

Innerhalb des Geoinformationssystems kann die Simulationssoftware numerische Analysen turbulenter Strömungen auch über komplexer Topographie im urbanen und ruralen Raum durchführen. Als Eingangsparameter werden eine gitterartige Beschreibung der Geländehöhe, Rauheit sowie Windbeobachtungsdaten oder ein alternatives Grenzschichtprofil, welches in einer Datei vorliegt verwendet. Das Windfeld wird in einem 3D-Raster berechnet und ermöglicht die Nachbearbeitung der Ergebnisse sowie den Export von Daten in ein GIS-konformes Austauschformat. Das Geoinformationssystem ArcGIS-Pro der Firma Esri Inc. wird zur Modellierung des Untersuchungsraums genutzt. Alle Analysedaten werden innerhalb des eingesetzten GIS zusammengeführt. Als zentrale Schnittstelle können so über das GIS alle für die Durchlüftungsanalyse eingesetzten Softwareinstanzen mit einheitlichen und gleichbleibenden Datensätzen versorgt und für den Post-Process wieder zurückgeführt werden. Ergänzend werden einzelne relevante Analyseschritte direkt innerhalb der GIS-Umgebung durchgeführt. Airflow Analyst ist eine lizenzierte Software, die GIS (Geographic Information System) und räumliche Daten verwendet, um komplexe Luftströmungsbewegungen in einem bestimmten Bereich zu simulieren. Die Software verwendet einen Algorithmus für die Fluidodynamik, ein Kernelement für die Bereitstellung hochpräziser Luftstromanalysen, basierend auf dem RC-GIS-Berechnungsprogramm, das an der Kyushu University entwickelt und getestet wurde. Airflow Analyst ist eine Erweiterungssoftware für "ArcGIS for Desktop" der Firma ESRI Inc.

Tabelle 1 (siehe Kapitel 3.3) listet alle durchgeführten Berechnungen auf und verweist auf die verwendeten Parameter sowie die finale räumliche Auflösung (im Kerngebiet) des Analyseergebnisses. Alle Berechnungen wurden auf Grundlage der durch den AG zur Verfügung gestellten Daten durchgeführt.

3.2. Fachliche Grundlagen

3.2.1. Temperatur und städtische Wärmeinsel

Hinsichtlich der Temperatur tragen Städte stets zu einer Erwärmung der Lufttemperatur bei, was jedoch nicht als eine generell negative Eigenschaft des Stadtklimas verstanden werden muss. Städte sind im Jahresmittel um 1 bis 2 Grad Celsius wärmer als die sie umgebende Landschaft (Matzarakis et al. 2008; Kuttler 2011).

Bebauung und die damit einhergehende Bodenversiegelung beeinflusst langfristig den Mittelwert der Lufttemperatur. Eine 10%ige Erhöhung des Versiegelungsgrads in einem Quartier resultiert beispielsweise in einer langfristigen Anhebung des Lufttemperaturmittelwerts um ca. 0,2°C gegenüber der unbebauten Umgebung. Einzelne Tageswerte (Lufttemperaturminimum und -maximum) bei Strahlungswetterlagen unterliegen einer noch größeren Steigerung (Bründl et al. 1986).

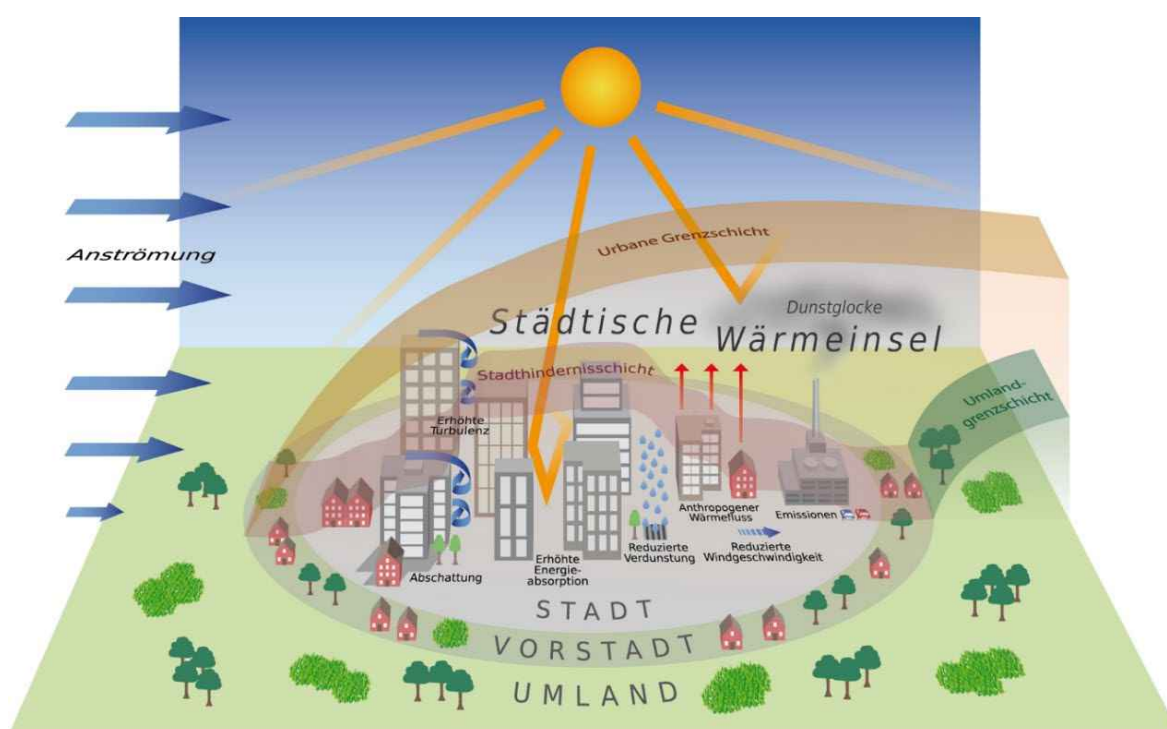


Abbildung 11 Schematische Darstellung unterschiedlicher temperaturrelevanter Faktoren und Effekte im urbanen Raum, die zur Ausprägung der städtischen Wärmeinsel beitragen (DWD 2022)

Ergänzend zu der eigentlichen Bebauung spielen auch die Materialeigenschaften (Absorptionsvermögen, Wärmekapazität, Wärmeleitfähigkeit, Wärmeemissionsvermögen und Verdunstungsfähigkeit) sowie die Kubaturen, die Baumassen und die Bebauungsmorphologie eine in Bezug auf das Überwärmungsrisiko im urbanen Raum wichtige Rolle.

Ein Ergebnis der Wechselwirkungen dieser unterschiedlichen Faktoren und Effekte ist die städtische Wärmeinsel. Sie ist durch eine starke Aufwärmung am Tag und durch eine eingeschränkte Abkühlung in der Nacht geprägt. Durch die akkumulierende Wirkung dieses, für das Stadtklima negativen Effektes, während länger anhaltender Hitzeperioden kann die Intensität der städtischen Hitzeinsel verstärkt werden, so dass die Zahl der hitzevulnerablen Menschen im Stadtgebiet steigt und es so zu einem Anstieg der hitzebedingten gesundheitlichen Risiken kommen könnte.

3.2.2. Wind und städtischer Luftstrom

Die Windsituation des Untersuchungsraums ist nicht zuletzt ein wesentlicher Einflussfaktor auf das subjektive, klimatische Wohlbefinden des Menschen. Für die stadttypischen Charakteristika der Windverhältnisse sind hauptsächlich die morphologischen und thermischen Ausprägungen des urbanen Raums (Windgeschwindigkeit, Windrichtung) im Vergleich zu ihrem unbebauten Umfeld ausschlaggebend (siehe Abbildung 12).

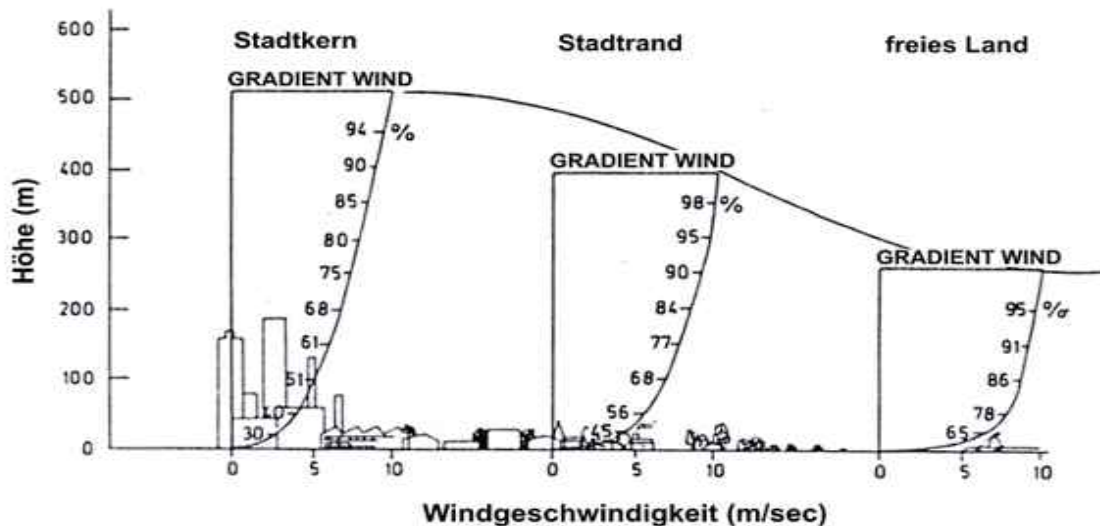


Abbildung 12 Vertikales Windprofil über dem Stadtkern, dem Stadtrand dem freien Land (Robel et al., 1978)

Gleichfalls können lokale Windsysteme, die sich besonders bei schwachem, überregionalem Wind ausbilden, die Luftbewegungen in der Stadt beeinflussen. Diese Systeme unterscheiden sich in topographisch bedingte- und durch Bebauung bedingte Windsysteme (VM BW 2012).

3.2.3. Flurwinde und Kaltluft

Neben den durch das Relief beeinflussten Strömungen bilden sich in ebenen Lagen sogenannte Flurwinde aus. Das Flurwindssystem beschreibt Druckausgleichsströmungen zwischen verschiedenen Fluren (z.B. Stadt-Umland) und ist an ein flaches Relief, bzw. an hindernisarme Freiflächen (Leitbahnen) gebunden. Im flachen städtischen Raum ist es somit stark von dessen baulicher Gestaltung abhängig. Solche Windsysteme sind ein unterstützender Faktor bei der Kalt- und Frischluftzufuhr und dem Luftabtransport, wenngleich die Flurwinde in ihrer Intensität normalerweise recht schwach ausgeprägt sind.

Flurwinde entstehen, wenn sich (insbesondere) durch die Überwärmung bebauter, bzw. versiegelter Gebiete und dem damit einhergehenden konvektiven Aufstieg von Luftmassen gegenüber dem Umland ein lokales thermisches Tief aufbaut (siehe Abbildung 13). Daraufhin kann der entstehende Druckgradient durch einströmende kühlere Luftmassen aus dem Umland ausgeglichen werden (Druckausgleichsströmung).

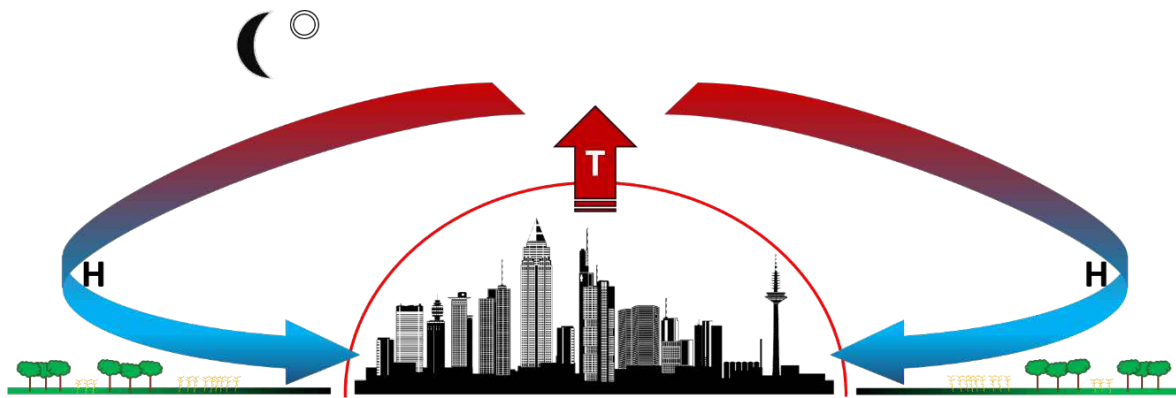


Abbildung 13 Schematische Darstellung eines Flurwindsystems am Beispiel des Stadt-Umland-Windsystems. Die wärmere "Stadt-luft" steigt wegen ihrer geringeren Dichte auf, während die kühlere "Landluft" absinkt. Durch diesen Luftdruckgegensatz entsteht ein Wind vom Land in die Stadt

Die Kaltluftentstehung beschreibt auf mikro- und mesoskaliger Ebene (kleinklimatischer- und stadtklimatischer Ebene) den nächtlichen Abkühlungsprozess der bodennahen Luftschichten. Mit dem Sonnenuntergang beginnt auf ausreichend großen Grün- und Freiflächen die Kaltluftproduktion. Diese dauert bis in die frühen Morgenstunden an und wird sowohl durch die ausbleibende solare Einstrahlung als auch durch die thermische Ausstrahlung der oberen Bodenschicht bedingt. Da sich die Luft beim Erkalten auch verdichtet, strömt sie anschließend flüssigkeitsähnlich der Reliefausprägung folgend in tiefere Regionen. Eine signifikante Strömungsdynamik entwickelt sich hierbei ab ca. $1^\circ - 2^\circ$ Gefälle und wird stets von der Rauigkeit der überströmten Bodenschichten beeinflusst (siehe Tabelle 1). Sowohl das Entstehungsgebiet als auch die Kaltluftproduktionsrate werden von dem vorhandenen Untergrund bestimmt. Hierbei fördern besonders unversiegelte Freiflächen (z.B. Wiesen, Brachen, Grünflächen etc.) mit einer niedrigen Vegetationshöhe die Kaltluftproduktion. Liegen diese Areale in einem reliefierten Gebiet (z.B. unbebaute Hänge), werden die Kaltluftmassen über die topographischen Windsysteme (Hang- und Bergwinde) abgeleitet. Allerdings können Hindernisse, in Abhängigkeit ihrer Ausprägung (Länge, Höhe, Ausrichtung), den Kaltluftabfluss behindern oder auch komplett zum Erliegen bringen (siehe Abbildung 14).

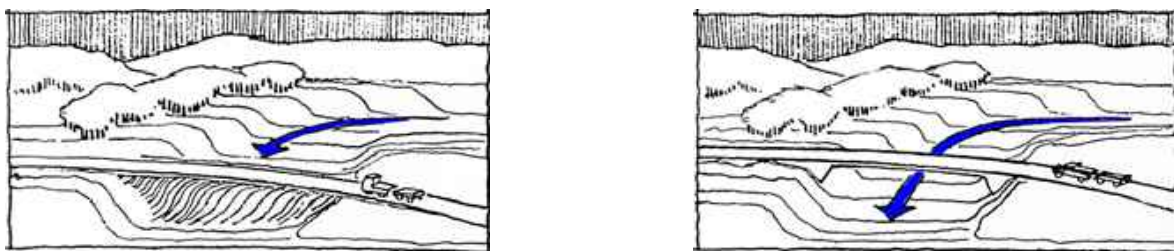


Abbildung 14 Der den Kaltluftabfluss querenden Damm mit Straße (links) wird zum Hindernis und blockiert bzw. staut den Kaltluftstrom auf. Die den Kaltluftabfluss querende Brücke mit Straße (rechts) bremst bzw. staut den Kaltluftstrom nicht (VM BW 2012).

Durch fehlendes Gefälle bei diesen Kaltluftentstehungsflächen wird zwar nicht die Kaltluftproduktion reduziert, dafür aber durch den fehlenden Kaltluftabfluss der Wirkungsbereich verringert. Unter Umständen können die Sogwirkungen vorhandener Flurwinde (vgl. oben) den Kaltlufttransport unterstützen. Waldgebiete auf stark geneigten Flächen (LANUV NRW 2018) tragen ebenfalls zur Kaltluftproduktion bei. Durch die Neigung des Geländes wird die Durchströmung des kühleren Stammraums (die Aufheizung am Tag wird durch die Baumkronen verringert) unterstützt, wodurch der Kaltluftabfluss aus dem bodennahen

Waldbereich möglich wird. In Abhängigkeit von Gefälle, Dauer und Einzugsgebiet kann eine Kaltluftschicht bis zu einer Höhe von über mehreren Dekametern oder mehr anwachsen.

In Tabelle 1 werden Ergebnisse verschiedener Studien zur Kaltluftentstehung in Abhängigkeit von Boden zu Volumen auf Fläche und Zeit wiedergegeben. Trotz der abweichenden Angaben zu den einzelnen Produktionsraten kann zusammenfassend abgeleitet werden, dass die bereits oben genannten natürlichen, unversiegelten Untergründe für die Kaltluftentstehung entscheidend sind. Zudem kann eine geringe Bodenrauigkeit (keine bodennahen Hindernisse wie. z.B. Mauern, dichte Büsche, etc.) zu einem besseren Abflussverhalten am Hang führen, wodurch sich der Wirkraum vergrößern kann. Im Durchschnitt wird den Acker- und Wiesenflächen das höchste Kaltluftentstehungspotential zugeordnet.

Tabelle 1 Zusammenstellung verschiedener Kaltluftentstehungsraten aus unterschiedlichen Studien in Abhängigkeit zur Art des Untergrunds (k.A. = keine Angaben).

	Kubikmeter Kaltluft pro Quadratmeter Boden pro Stunde ($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{h}$)			
	Acker	Wiese	Wald	Siedlung
King (1973)	k. A.	12	k. A.	k. A.
Gross (1987, 1989)	11	11	13	k. A.
GEONet (2002)	10 – 20	k. A.	5 – 40	k. A.
GEONet (2011)	10 – 15	20	15	1

In der Regel handelt es sich bei diesen Luftmassen um weniger stark belastete Luft, weshalb sie auch im Zusammenhang mit dem städtischen Luftaustausch umgangssprachlich als „Frischlufte“ bezeichnet wird. Wissenschaftlich ist dies jedoch nicht korrekt, da Kaltluft nur einen Temperaturzustand von Luftmassen beschreibt und entsprechend auch aus lufthygienischer Sicht belastet sein kann. Liegt beispielsweise eine starke Emissionsquelle (lufthygienisch) im Abflussbereich eines Kaltluftentstehungsgebiets, so entsteht zwar weiterhin Kaltluft, diese kann aber nicht als unbelastete Luft bezeichnet werden. Entsprechend muss die Umgebung bzw. mögliche lufthygienische Störfaktoren bei der Bewertung von potentiellen Frischluftzuflüssen mit einbezogen werden. Der Begriff der Frischluft beschreibt den am Tag durch Photosynthese neu gebildeten Sauerstoff (O_2) der Vegetation (vornehmlich in Walgebieten). Dadurch ist Frischluft per se unbelastet, und nicht mit Kaltluft gleichzusetzen.

Besonders für urbane Räume in Kessel- oder Hanglagen ist die Kaltluftentstehung und deren Transport für die thermische Regulierung des Stadtklimas und der Luftreinhaltung von großer Wichtigkeit. Die Richtlinie 3787 Blatt 5 des VDI (VDI 2003) unterstreicht diese Bedeutung mit der Forderung, Kaltluftentstehung und Kaltluftabflüsse in der Stadt- und Regionalplanung zu berücksichtigen.

3.3. Simulationsparameter

Die in diesem Gutachten durchgeführten Simulationen sind tabellarisch in der nachfolgenden Tabelle 2 aufgeführt. Dabei wurden Analysen und Simulationen der untersuchten klimatischen Größen mit unterschiedlichen technischen Methoden und Softwarelösungen umgesetzt und durchgeführt. Daraus

resultieren die unterschiedlichen räumlichen Auflösungen und Ausdehnungen der Untersuchungsräume. Die verwendeten räumlichen Auflösungen stellen dabei die jeweils maximal technisch umsetzbaren Dimensionen dar. Ergänzend wurden die verwendeten Parameter entsprechend der Leistungsbeschreibung gewählt und sind nachfolgend nochmals aufgeführt.

Tabelle 2 Verwendete Simulationsparameter im Rahmen der Analysen zur Lufttemperatur, der Durchlüftung (Wind) und der Kaltluftentstehung / -transport

ID	Simulationsinhalt	Eingesetzte Software	Parameter	Räumliche Auflösung
Sim_01	Lufttemperatur	ArcGIS Pro	Berechnung der Lufttemperatur an einem austauscharmen heißen Sommertag für die zeitlichen Schnitte 16:00 Uhr (Tag) und 04:00 Uhr (Nacht). Da die Ausprägung des städtischen Wärmeinseleffektes das im Maximum während der Nachtstunden stattfindet, werden im nachfolgenden Analyseabschnitt nur die Ergebnisse der Nachtstunden dargestellt und im Detail beschrieben	1 m
Sim_02	Windfeld (Durchlüftung)	Airflow Analyst (Engis)	Regionaltypische Anströmung aus SW (225°). Schwachwindsituation mit angenommener Ausgangssituation der Windgeschwindigkeit von 4 m/s auf 10 m über Grund. Erstellter horizontaler Schnitt liegt bei 1,7 m über Grund und beschreibt damit den bodennahen Bereich	1 m
Sim_04	Kaltluftsimulation	Klam_21 (DWD)	8 Stunden (nachts) ohne regionale Anströmung. Verwendung der Klam21 Standardparameter für die Landnutzung. Gebäude werden dezidiert aufgelöst.	5 m

4. Analyseergebnisse und Planungsempfehlungen

4.1. Lufttemperatur

In der Betrachtung potentieller mesoklimatischer Veränderungen durch den Planfall kann die Lufttemperatur als Bewertungsgröße / Index des städtischen Wärmeinseleffektes genutzt werden, da es sich hierbei um einen langsamen und akkumulierenden Effekt handelt. Entsprechend beschreibt die Trägheit der Lufttemperatur diesen Überwärmungsprozess bzw. die geringere nächtliche Abkühlung (gegenüber des unversiegelten Außenraums). In der simulierten Situation werden für den Nullfall sowie für den Planfall von einem heißen Sommertag mit einem Temperaturmaximum von 30 °C und einem nächtlichen Temperaturminimum von 15 °C ausgegangen.

Im Nullfall gibt es einen Temperaturgradienten zwischen dem zukünftigen Planungsraum mit 16,6 °C und dem nördlichen Siedlungskernbereich mit 22,4 °C (Abbildung 15 oben). Dabei wird deutlich, dass der Planungsraum bereits im Nullfall durch die städtische Überwärmung in seiner nächtlichen Abkühlung beeinflusst bzw. beeinträchtigt wird. Der Planfall stellt eine intensive städtebauliche Siedlungsentwicklung dar, die auch eine entsprechende Veränderung der nächtlichen bodennahen Lufttemperatur zur Folge hat. Durch die angenommene, größtenteils homogene Bebauungsstruktur findet auch eine weitestgehend gleichmäßige Verteilung der Lufttemperatur statt (Abbildung 15 unten). In der Betrachtung des Temperaturgradienten im Planfall zwischen Planungsraum und nördlichen Siedlungskern schrumpft die Differenzspanne um 2 °C auf den Bereich zwischen 18 °C und 22,4 °C.

Die flächendeckende Betrachtung der Differenzsituation zwischen Nullfall und Planfall (Abbildung 16) verdeutlicht, dass trotz der angenommen maximalen Bebauung (Worst-Case) der Wirkraum / die Fernwirkung in der Veränderung der nächtlichen bodennahen Lufttemperatur räumlich begrenzt ist, und sich auf den äußeren Siedlungsraum beschränkt. Die Differenzbetrachtung (Abbildung 16) zeigt im Maximum eine Steigerung der bodennahen Lufttemperatur um bis zu +1,4 °C. Erwartungsgemäß liegt dieser Zuwachs im eigentlichen Planungsraum, da es im Nullfall bei dieser Fläche um unbebautes Offenland handelt. Bedeutsamer im Kontext einer möglichen zusätzlichen Belastung (Intensivierung des städtischen Wärmeinseleffektes) ist die Abschätzung der Bedeutung für den bebauten Siedlungsraum. In diesem Zusammenhang müssen die Differenzbetrachtung (Abbildung 16) in Kombination mit der absoluten Verteilung der bodennahen Lufttemperatur für den Planfall (Abbildung 15) bewertet werden. Dabei ist der Schwellenwert von 20 °C in der Nacht von besonderer planerischer Bedeutung. Wenn nachts die Lufttemperatur nicht mehr unter 20 °C sinkt, spricht man von einer Tropennacht. Gleichzeitig bewegen wir uns hier in einem Temperaturbereich, in dem die fehlende Abkühlung eine zusätzliche physische Belastung für den menschlichen Körper darstellt, wodurch die nächtliche physische Regenerationsphase des Menschen (insbesondere bei kontinuierlichem Auftreten der Belastungssituation) gestört bzw. unterbrochen werden kann. Vor dem Hintergrund länger anhaltender sommerlicher Hitzewellen bedeutet eine fehlende körperliche Regeneration auch ein Anstieg der hitzebedingten Vulnerabilität unterschiedlicher Altersgruppen. Im Kontext des klimatischen Fokus zeigt sich, dass der Planfall Auswirkungen auf den umgebenden Siedlungsraum hat, die Intensität trotz des angenommen „Worst-Case“ Szenarios und einer starken angenommen Wärmebelastung so weit gering bleibt, dass eine Überschreitung der nächtlichen 20 °C nicht eintritt.

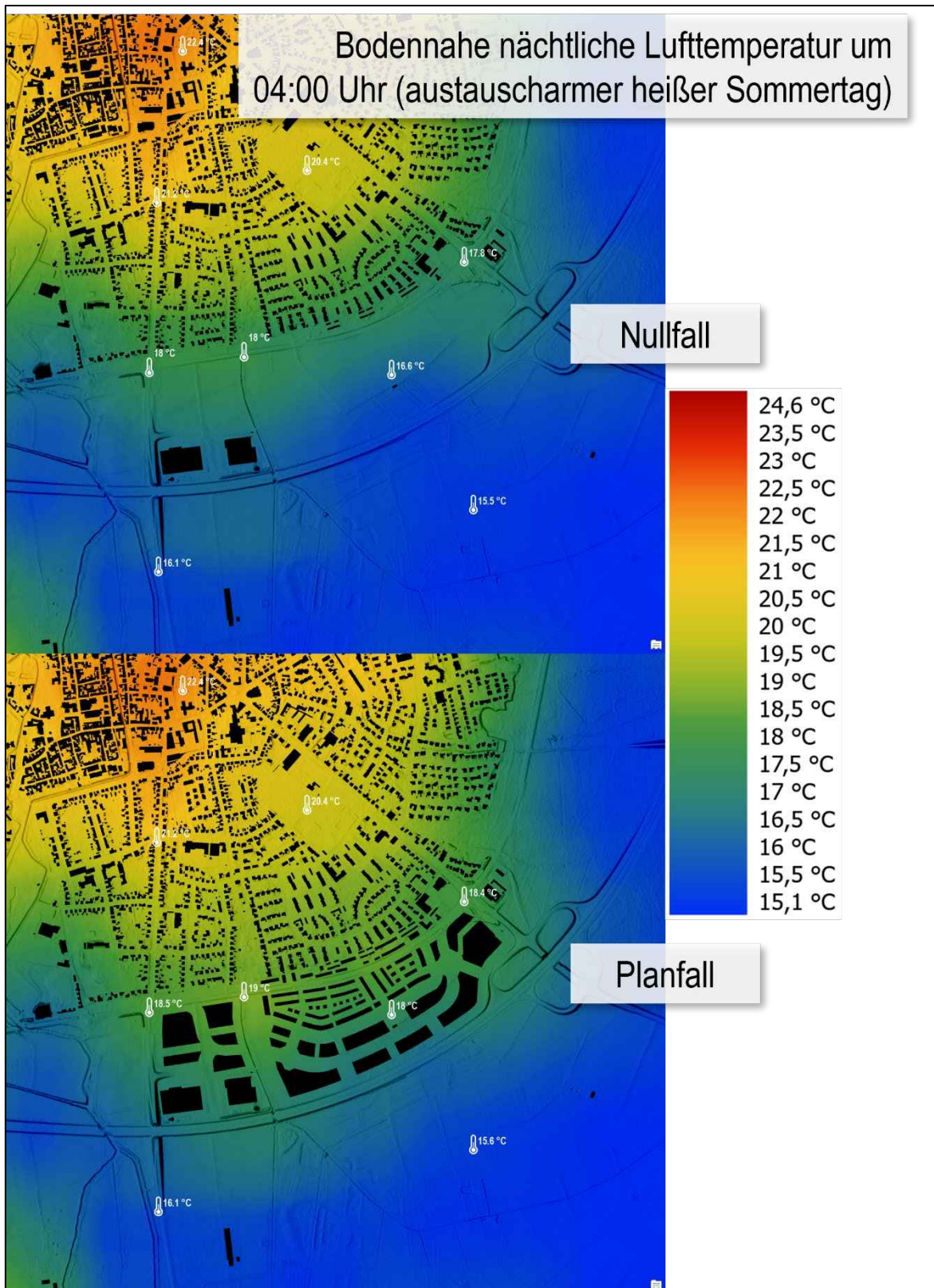


Abbildung 15 Darstellung der Lufttemperatur (bodennah) im Nullfall und Planfall, nachts um 04:00 Uhr (austauscharmer heißer Sommertag)

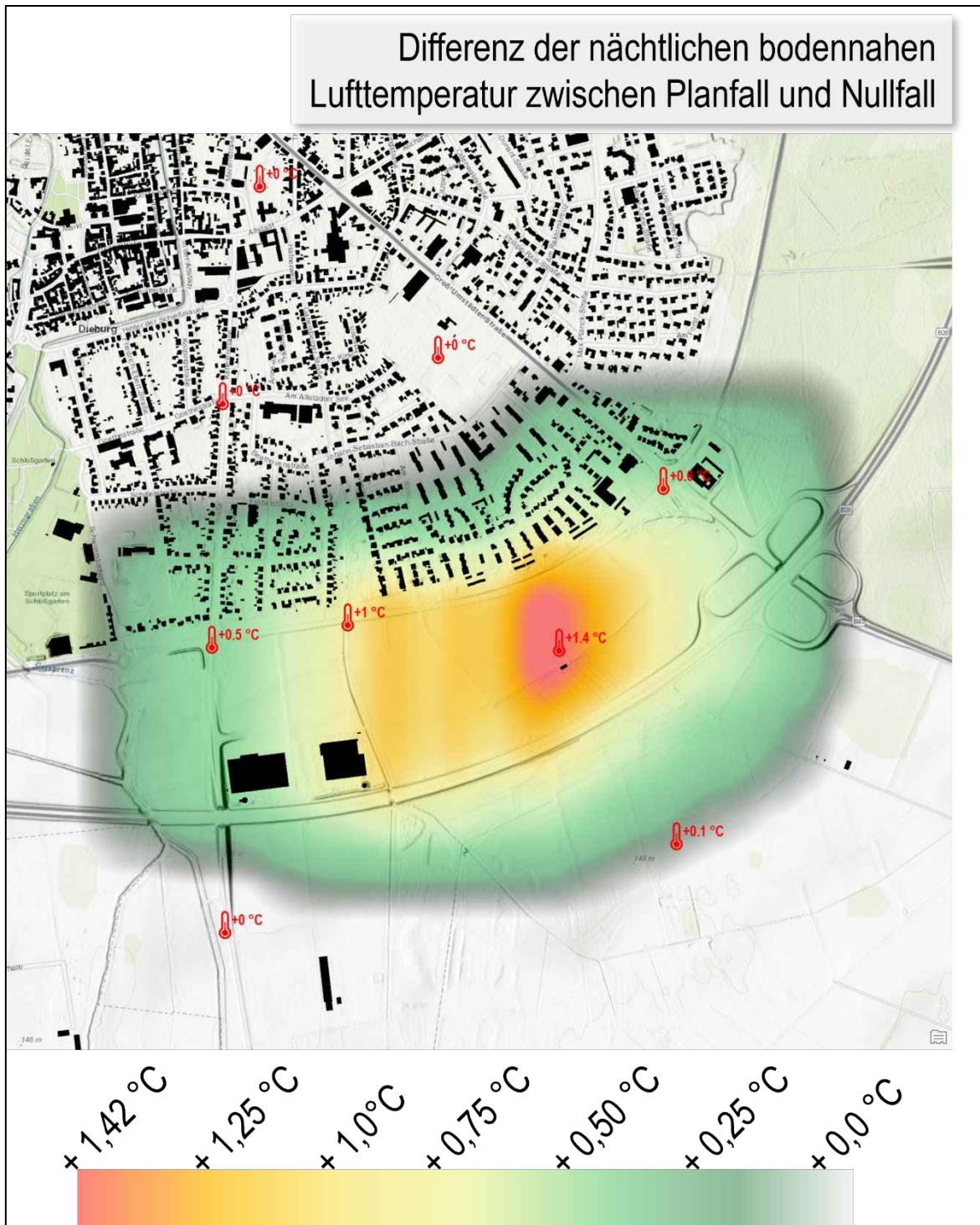


Abbildung 16 Differenzdarstellung der bodennahen Lufttemperatur zwischen Nullfall und Planfall, nachts um 04:00 Uhr (aus-tauscharmer heißer Sommertag)

4.2. Kaltluftversorgung und Kaltlufttransport (nächtliches bodennahes Windfeld)

Die nächtliche Kaltluftproduktion sowie die Kaltluftversorgung sind zwei wichtige klimatische Aspekte mit direkter Planungsrelevanz. Durch die funktionale Verknüpfung des ruralen Außenraums mit den urbanen Siedlungsstrukturen entsteht eine direkte Wechselbeziehung dieser planerisch (oft) voneinander getrennten Räumen. Die Kaltluft entsteht nachts durch Auskühlung der Erdoberfläche und der damit verbundenen Abkühlung der bodennahen Luftschichten. Primär während austauscharmer Wetterlagen und Strahlungsnächten kann ein individuelles bodennahes Strömungsregime im Kontext des Kaltlufttransportes entstehen. In der vorliegenden Detailbetrachtung wird zwischen dem Nullfall und dem Planfall unterscheiden. Für beide Situationen wird eine gesamte Nacht mit 8 Stunden simuliert. In den nachfolgenden Abbildungen (Abbildung 17 & Abbildung 18) werden die lokalen Gegebenheiten der Kaltluftversorgung nach 2 und nach 4 Stunden dargestellt. Abbildung 19 stellt zusammenfassend eine Differenzbetrachtung zwischen Nullfall und Planfall, jeweils für die zeitlichen Schnitte nach 2 und nach 4 Stunden dar. Der zeitliche Schnitt nach 4 Stunden stellt vor dem Hintergrund der Einflussnahme der des Planfalls bereits eine abnehmende Situation dar.

Im Nullfall sieht im bodennahen Strömungsbild nach 2 Stunden eine deutliche Anströmung aus südsüdöstlicher Richtung. In Näherung zum Siedlungsrandbereich beginnt eine Umströmung, so dass die bodennahe Strömung in Teilen nach Westen und nach Norden und Nordosten umgeleitet wird. Gleichzeitig dringt die bodennahe Kaltluftströmung in den Siedlungsraum ein und wird besonders entlang der „Groß-Umstädter Straße“ sowie entlang der vegetationsdominierten Garten-/Freiflächen zwischen „Am Hänisgraben“ und der „Johannes-Brahms-Straße“ / „Mozartstraße“ in den Siedlungsraum geleitet. Nach 4 Stunden hat sich das Strömungsfeld neu ausgerichtet und wird nun durch eine primäre Anströmung aus Süd und Südsüdwest geprägt. Dabei ist der Großteil des abgebildeten Siedlungsraums bereits stärker durchströmt, so dass sich großflächig eine bedeutende Kaltluftschichtdicke bilden kann.

Im Planfall findet eine Bebauung im direkten Anschluss an den südlichen Siedlungsrand statt. Dadurch verändert sich zum einen die bodennahe Strömungssituation sowie zum anderen die Ausprägung in der Mächtigkeit der Kaltluftschichtdicke. In der Betrachtung nach 2 Stunden wird die Verlagerung der Umströmungssituation nach Süden deutlich. Der neue Siedlungsrandbereich begünstigt die Veränderung im bodennahen Strömungsfeld ähnlich der im Nullfall. Gleichzeitig verstärkt sich der Kanalisierungseffekt entlang und in Verlängerung der „Groß-Umstädter Straße“ sowie entlang bzw. in südlicher Verlängerung der vegetationsdominierten Garten-/Freiflächen zwischen „Am Hänisgraben“ und der „Johannes-Brahms-Straße“ / „Mozartstraße“. Trotz dieser Kanalisierungseffekte kommt es erwartungsgemäß zu einer reduzierten Ausprägung der Kaltluftschichtdicke, insbesondere im direkten nördlich an den Planfall angrenzenden Siedlungsraum. In der Betrachtung der Planfallsituation nach 4 Stunden zeigt sich, dass eine hohe Kaltluftversorgung im direkten Planungsraum des Planfalls gegeben ist.

In der Betrachtung der Differenz zwischen Nullfall und Planfall ist der Wirkraum nach 2 Stunden kleiner als nach 4 Stunden. Gleichzeitig ist das Differenzbild nach 2 Stunden heterogener geprägt, so dass sich eine maximale Differenz der Kaltluftschichtdicke bis ca. 18 m (punktuell) entwickeln kann. In der Betrachtung der Situation nach 4 Stunden verändert sich das Bild dahingehend, dass sich der Wirkraum stärker in der Fläche ausbreitet, dabei reduziert sich jedoch die flächendominierende Differenz der Mächtigkeit

der Kaltluftschichtdicke auf -1 m bis -2,5 m. Einzig im Bereich des inneren Stadtgebietes sowie im direkten nördlichen Anschluss des Planungsraums gibt es noch Differenzen zwischen -2,5 m und -7,5 m.

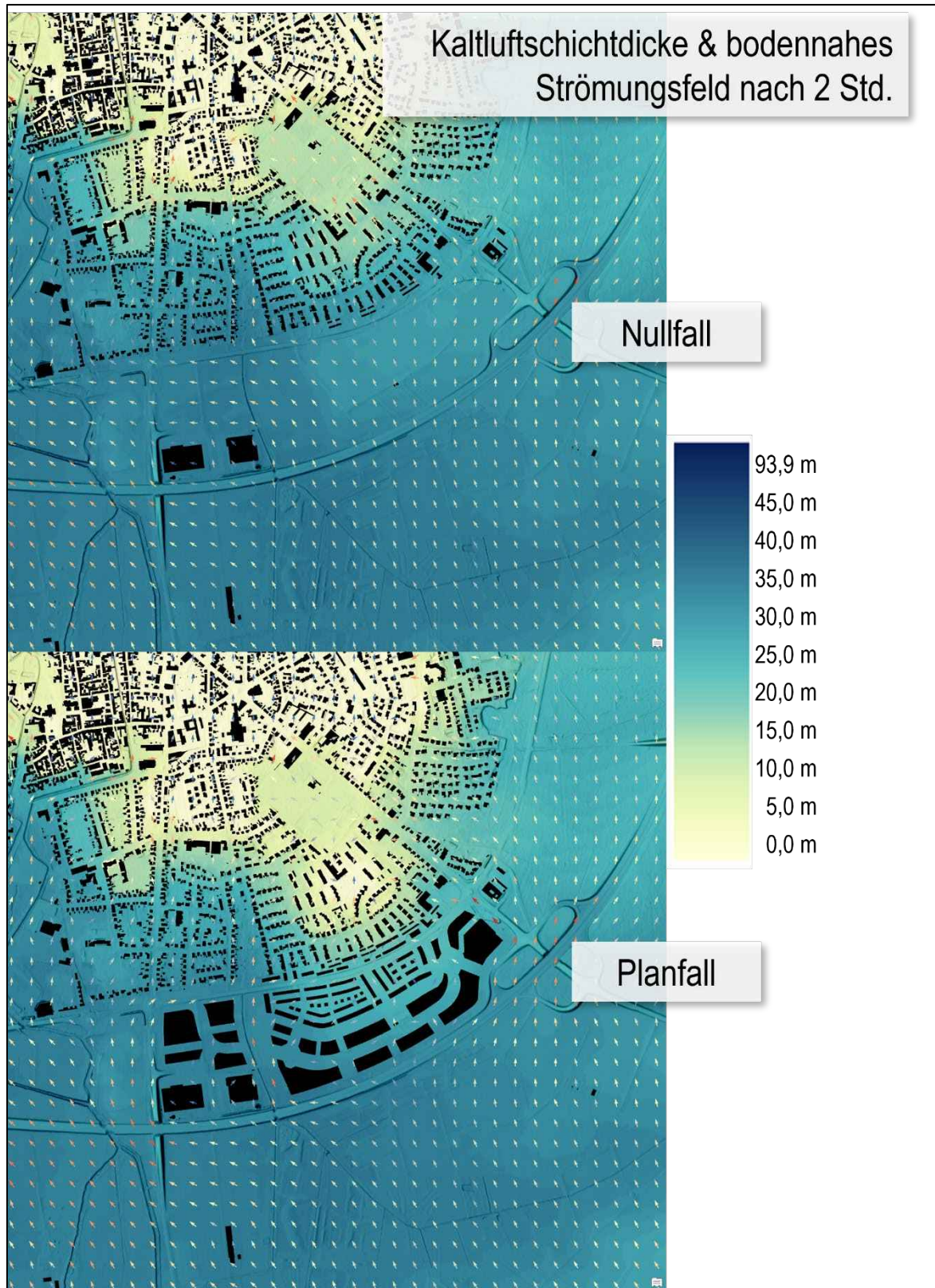


Abbildung 17 Darstellung der Kaltluftschichtdicke sowie des bodennahen Strömungsfeldes für den Nullfall und Planfall 2 Stunden nach Sonnenuntergang

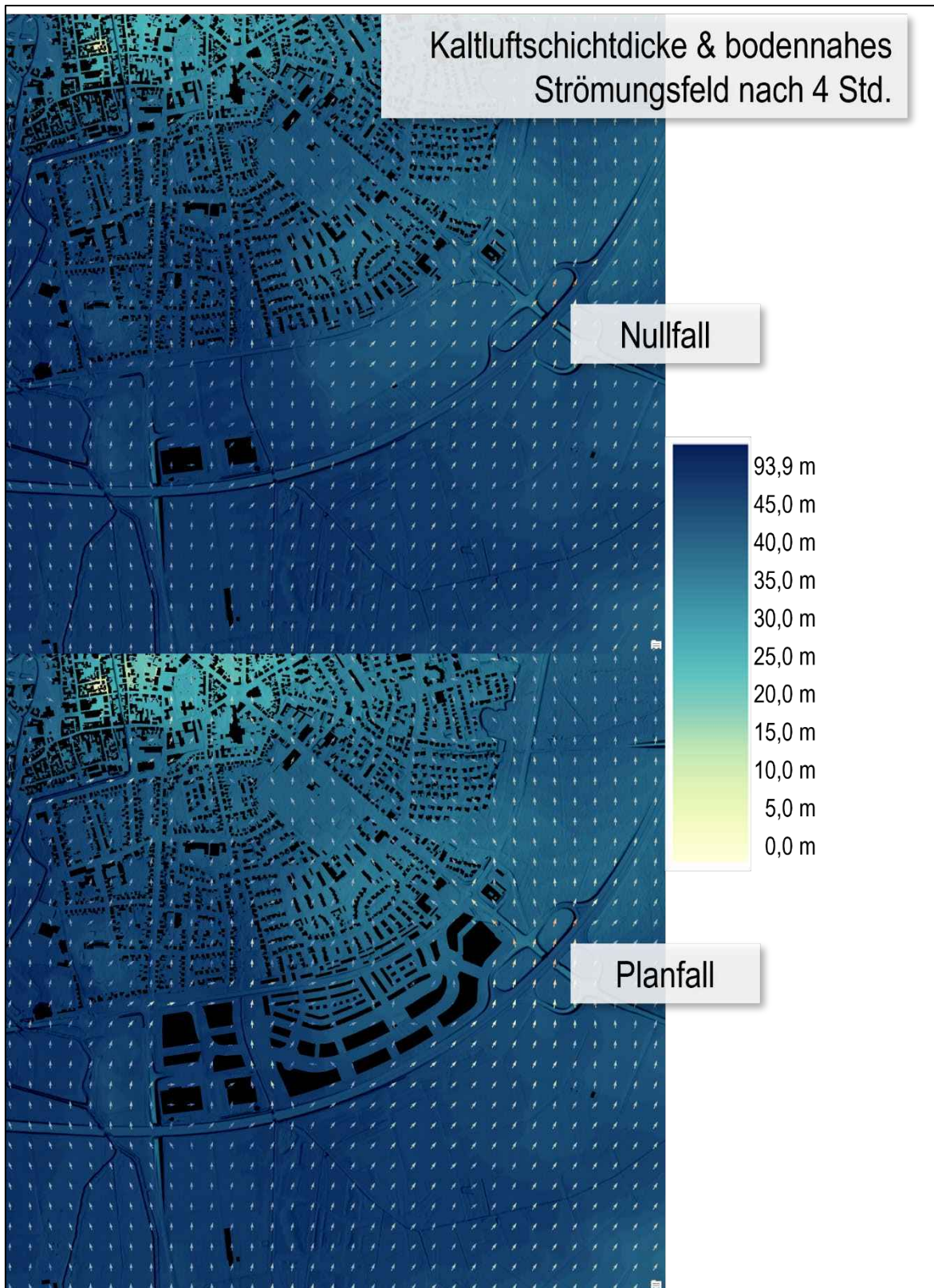


Abbildung 18 Darstellung der Kaltluftschichtdicke sowie des bodennahen Strömungsfeldes für den Nullfall und Planfall 4 Stunden nach Sonnenuntergang

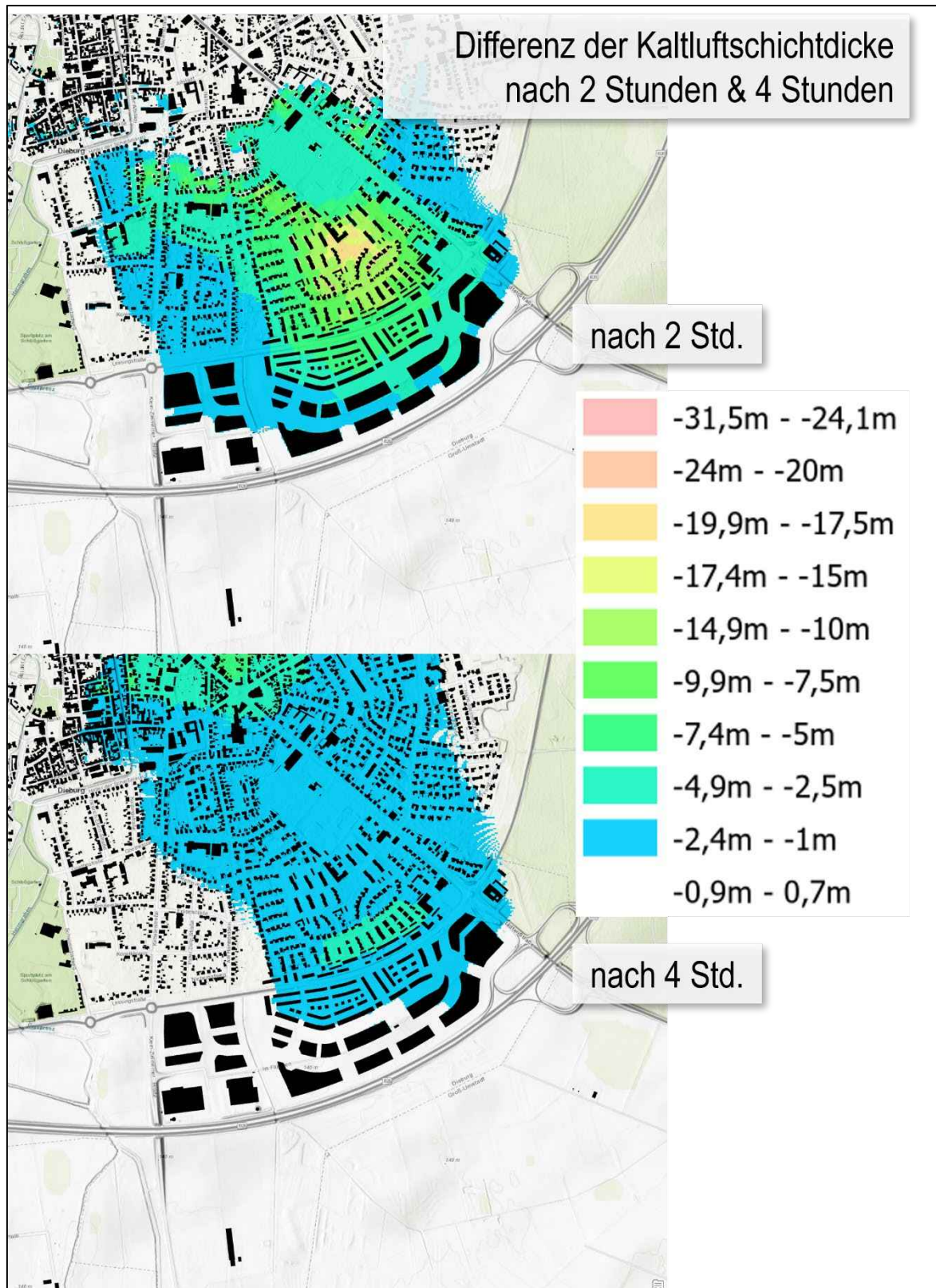


Abbildung 19 Differenzdarstellung in der Kaltluftschichtmächtigkeit zwischen Planfall und Nullfall nach 2 und 4 Stunden

4.3. Planungsrelevanz und Zusammenfassung

Die vorliegende Detailbetrachtung des Planfall-Vorhabens des Bebauungsplans „Dieburg Süd“ fokussiert sich auf die Themenbereiche der zu erwartenden nächtlichen bodennahen Lufttemperatur sowie der Kaltluftversorgung und den damit verbundenen bodennahen Windfeld-Strömungssituationen. In diesem Kontext wurden die Nullfall-Variante (aktuelle Bestandssituation) sowie Planfall-Variante (Umsetzung des Bebauungsplans mit maximaler Bebauung) klimatisch analysiert und mit Hilfe von Differenzbetrachtung klimatisch-planerisch in Wert gesetzt.

Die Analysen und Simulationen, die unter anderem auch Teil der Stadtklimaanalyse für die Stadt Dieburg sind, verdeutlichen den Einfluss den der Planfall lokal, aber auch auf das weitere Siedlungsumfeld ausübt. Während die Untersuchung des städtischen Wärmeinseleffektes und der damit einhergehenden Veränderung der nächtlichen bodennahen Lufttemperatur einen nur lokalen Effekt identifiziert, der den direkt angrenzenden Siedlungsraum gering belastet, kann aber eine zusätzliche Belastungssituation, durch das Überschreiten des Schwellenwertes einer Tropennacht (20 °C) nicht festgestellt werden.

In der Betrachtung der nächtlichen Kaltluftentstehung, -versorgung sowie des -transportes weist der Standort des Planfalls auf einen klimasensiblen Bereich hin, da die nächtliche bodennahe Anströmung aus den südlicheren Richtungen vorherrschend ist, und so der Planungsraum dem eigentlichen Siedlungskörper (aus Anströmungsrichtung) vorgelagert wird. In der Detailbetrachtung und den unterschiedlichen zeitlichen Schnitten (unterschiedliche Nachtsituationen), wird zum einen deutlich, dass der Planfall in der angenommen maximalen Bebauung eine Barrierewirkung auf die ankommende Anströmung besitzt, wodurch eine Umströmung des Planungsraums verstärkt wird. Zum anderen kompensieren bestehende „Achsen“ diese Barrierewirkung, so dass sich die bodennahe Durchströmung in diesen Bereichen erhöht. In der Volumen/-Flächenbilanzierung der Kaltluftschichtdicke zeigt sich, dass die maximalen Differenzen zwischen Planfall und Nullfall im Zeitraum zwischen 1 bis 2 Stunden entstehen. Danach nimmt die Einflussnahme auf die Kaltluftschichtdicke im Bestand kontinuierlich ab, so dass bereits nach der Hälfte der Nacht nur noch (klimatisch) gering bedeutende Differenzen festzustellen sind.

Entsprechend der durchgeführten klimatischen Detailbetrachtung stellt der Planfall einen Eingriff mit nur geringer klimatischer Planungsrelevanz dar, sofern die umgebenden offenen Strukturen wie die Verlängerung der „Groß-Umstädter Straße“ sowie die bzw. in südlicher Verlängerung der vegetationsdominierten Garten-/Freiflächen zwischen „Am Hänisgraben“ und der „Johannes-Brahms-Straße“ / „Mozartstraße“ erhalten bleiben. Zusätzlich sollten beim finalen Planungsentwurf darauf geachtet werden dass die Gebäudezwischenräume möglichst groß sind. Eine nach Süden gerichtete Riegelverbauung ist zu vermeiden. Dies gilt insbesondere für die geplanten nördlichen baulichen Strukturen im Planungsgebiet. Durch die dort angenommene „Enge“ der Gebäude zueinander, entsteht hier die größte Barrierewirkung für die nächtliche Durchströmung des Planungsraums und damit auch für die nördlich anschließenden Siedlungsstrukturen. Zusätzliche Durchlüftungsachsen, die durch Gebäudestellung vorgegeben werden können, sind zu empfehlen. Gleichzeitig können klimatisch angepasste Dachbegrünungen dazu beitragen, die sommerliche Wärme, die am Tag von den Gebäuden aufgenommen wird, zu reduzieren, um so auch nachts eine schnellere Abkühlung zu fördern. Bei Hallenkonstruktionen ohne ausreichende Traglast sollten alternative Bedachungssysteme („white coating“) in Betracht gezogen werden.

5. Anhang

5.1. Hinweise für die Planung / den Entwurf

5.2. Dachbegrünung

Bei der Verwendung von Dachbegrünung sollte eine ausreichende natürliche Wasserversorgung sichergestellt sein. Dies kann im Normalfall durch eine Mindestsubstratdicke von 20 cm bis 25 cm ausreichend gewährleistet werden. Zusätzlich, oder als Kompensation von fehlender Substratdicke, ist eine externe Regenwasserversorgung z.B. über Zisternenwasser zu empfehlen. Grundsätzlich und insbesondere bei sinkender Substratdicke ist es wichtig, eine hohe Eigenverschattung der Dachflächen durch möglichst hochwachsende Vegetation zu erreichen. Eine extensive Dachbegrünung (ohne externe Bewässerung) auf Dachflächen, die keinen funktionellen Nutzen für die Bewohner haben (wie z.B. Dachterrassen), kann mit einer Substratdicke zwischen 10 cm und 15 cm (in Abhängigkeit der baustatischen Eignung) durch die Absorption der solaren Einstrahlung am Tag zur Reduktion der baulichen Überwärmung beitragen. Der Anteil der hochwachsenden Pflanzen / Gräser sollte im Bereich von 50 % bis 75 % liegen und im Optimalfall > 75 % betragen, um eine möglich hohe Verschattung der Dachflächen durch die Vegetationshöhe zu erreichen.

Selektionskriterien: Hohe Wuchshöhe, erforderliche Substratdicke, Erscheinungsmerkmale (z.B. horstbildend, dicht wachsend, visuelle Blattdichte)

Bei der Auflistung potentiell geeigneter Pflanzen für eine Dachbegrünung handelt es sich um keine Pflanzplanung. Das heißt, es fand keine Berücksichtigung von beispielsweise regionalem Vorkommen, Vergesellschaftung, Konkurrenzfähigkeit, Substratanforderungen, Blühphasen und Pflege statt. Bei extensiven Begrünungsarten ist generell eine Bestandsumbildung der Artenzusammensetzung, beispielsweise durch fehlende/falsche Pflege (Sukzession, Nährstoffmangel, Wassermangel) und Witterungseinflüsse zu erwarten.

Hochwachsende Arten auf 15 cm Substratschicht

Geeignete Begrünungsart gemäß der geforderten Aufbaudicke: Sedum-Kraut-Gras-Begrünung (Extensivbegrünung) oder max. Wildstauden-Gehölzbegrünung (einfache Intensivbegrünung) (Tabelle 4; FLL Dachbegrünungsrichtlinie 2018). Auch hier sollte ggf. eine Prüfung, in Abhängigkeit der baustatischen Situation, auf die Möglichkeit einer einfachen Intensivbegrünung durchgeführt werden, da diese eine klimatisch höhere Leistungsfähigkeit und einen höheren Artenerhalt aufweist.

Tabelle 3 Hochwachsende Arten auf mind. 15 cm Substratschicht

Name	Max. ca. Wuchshöhe in cm	Blüte
<i>Campanula rotundifolia</i>	30	Blau
<i>Orgenäum vulgare</i>	40	rosa
<i>Verbascum nigrum</i>	100	gelb
Gräser		
<i>Festuca rubra commutata</i>	60	

<i>Briza media</i>	40	
<i>Bromus erectus</i>	60	
<i>Festuca amethystina</i>	60	

Tabelle 4 Gehölzarten für eine einfache Intensivbegrünung

Name	Max. ca. Wuchshöhe in cm	Blüte
<i>Caryopteris clandonensis</i>	100	blau
<i>Rosa nitida</i>	70	Rosa
<i>Salix hastata</i> 'Wehrhahnii'	60	Gelb
<i>Syringa meyeri</i> „Palibin“	90	Violett
<i>Mahonia aquifolium</i> 'sorte'	120	gelb
<i>Syringa meyeri</i> 'Palibin'	150	violett

5.3. Oberflächenmaterialien

Die Verwendung von unterschiedlichen Oberflächenmaterialien kann einen bedeutsamen Einfluss auf das thermische Empfinden im Außenraum haben. Dabei sollte ein Abwägungsprozess zwischen der Funktion des Freiraums und der thermischen / klimatischen Eigenschaft des Materials stattfinden. Die Auswahl der zu verwendenden Materialien obliegt der Materieexpertise des ausführenden Architekturbüros, welches die ästhetischen und funktionalen Eigenschaften der Materialien berücksichtigen und abwägen muss. Zu den gängigen bauphysikalischen aber auch klimatisch relevanten Materialeigenschaften, die bei der Materialauswahl zu berücksichtigen sind, zählen im Allgemeinen:

Temperaturleitfähigkeit: Die Temperaturleitfähigkeit, gelegentlich auch „Wärmediffusivität“ (von engl. *thermal diffusivity*), ist eine Materialkonstante, die der Beschreibung der zeitlichen Veränderung der räumlichen Temperaturverteilung durch Wärmeleitung als Folge eines Temperaturgefälles dient. Sie beschreibt, wie sich die Temperatur durch Wärmeleitung infolge eines Temperaturgefälles in einer bestimmten Zeit räumlich verteilt. Gemessen wird die Temperaturleitfähigkeit in m^2/s .

Wärmeleitfähigkeit: Die Wärmeleitfähigkeit drückt aus, wie thermische Energie mittels Wärmeleitung in Form von Wärme transportiert wird. Die Wärmeleitfähigkeit (ausgedrückt mit λ) dient der Beschreibung des Energietransportes, wird in Watt je Kelvin und Meter angegeben und ist eine temperaturabhängige Materialkonstante.

Thermisches Emissionsvermögen: Das thermische Emissionsvermögen ist eine dimensionslose Größe und wird in einer Werteskala von 0 bis 1 angegeben. Im Gegensatz zur Albedo, welche die Reflexion beschreibt, beschreibt der thermische Emissionsgrad, wie „leicht“ Energie an die Atmosphäre abgegeben (emittiert) werden kann.

Albedo: Die Albedo beschreibt den Reflexionsgrad einer Oberfläche, primär über die Farbe. Dabei wird wie beim thermischen Emissionsvermögen eine dimensionslose Werteskala von 0 bis 1 zugrunde gelegt. Je höher der Wert innerhalb dieser Skala ist, desto höher sind die Reflexionseigenschaften der Oberfläche.

In der konkreten Anwendung bedeutet dies bspw., dass ein sehr helles (stark reflektierendes) Material für den Einsatz auf einer Fläche mit Aufenthaltscharakter eher ungeeignet ist, da die thermische Belastung

für den Menschen nicht nur direkt von der Sonne und diffus aus der Atmosphäre, sondern auch über die Reflexionsstrahlung von Objekten beeinflusst wird. Entsprechend ist die Belegung des Freiraums mit unterschiedlichen Funktionen immer auch aus klimatischer Perspektive zu betrachten und stellt in Abhängigkeit der Jahreszeit einen zu berücksichtigenden Einflussfaktor dar.

5.4. Straßenbäume und temporäre Verschattungsmöglichkeiten

Straßenbäume stellen wichtige freiraumplanerische und entwurfsbezogene Elemente dar, die unterschiedlichste klimatische Charakteristika aufweisen können. Von primärer Bedeutung für die „klimatische Leistungsfähigkeit“ eines Baumes ist sein Alter. Da Bäume einem (nach Art, Standort, Boden, etc.) individuellem Lebenszyklus unterliegen, findet sich ihre maximale „Klimawirkung“ im Bereich der adulten und vitalen Lebensphase. Des Weiteren bestimmen Aspekte wie Habitus / Kronenform und Blattdichte maßgeblich die Verschattungsleistung. Dabei muss zudem bei der Artenwahl darauf geachtet werden, dass eine möglichst hohe Klimatoleranz besteht, so dass Arten sich den klimatischen Veränderungen durch den Klimawandel anpassen können, bzw. bereits angepasst sind. Als Referenzliste kann hier auf die „Galk Straßenbaumliste“ (GALK 2022) verwiesen werden, die die Aspekte der Klimaresilienz in der Bewertung berücksichtigt. Da diese Liste jedoch auch die typischen „Trends“ widerspiegelt bzw. von diesen beeinflusst wird, wird zusätzlich auf die Datenbank „Citree – Gehölze für urbane Räume“ (TUD 2022) der Technischen Universität Dresden verwiesen, die unter Leitung von Prof. Dr. Roloff entwickelt wurde / wird.

Die Verwendung von temporären Verschattungsmaßnahmen kann hier eine effektive Methode zur Reduzierung der thermischen Belastung in den Sommermonaten darstellen.

Die Auswirkungen flächiger textiler Verschattungsmaßnahmen auf Dachniveau auf mikroklimatischer Ebene und auf lokale Belüftungsverhältnisse sind bis zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht ausgiebig untersucht worden. Dementsprechend muss Material, Form, Höhenniveau an die lokalen Gegebenheiten individuell angepasst werden. Gleichzeitig besteht so die Möglichkeit, den Sonnen- und Schattenverlauf im Maßnahmenraum als stadtplanerisches Gestaltungselement zu nutzen. Sind die Grundverankerungen einmal installiert, sind die eigentlichen Verschattungselemente nach Bedarf und ohne größeren zeitlichen Aufwand schnell wieder zu montieren

5.5. Glossar

Absorption	wellenlängenabhängige Wechselwirkung zwischen Strahlung und Molekülen, bei welcher Strahlungsenergie in Wärmeenergie überführt wird. Die Absorption von Sonnenstrahlung an der Erdoberfläche ist Ursache für die unterste Heizschicht der Atmosphäre als Energiequelle für alle atmosphärischen Bewegungsvorgänge.
Albedo	Rückstrahlvermögen diffus reflektierender (aber nicht spiegelnder) Oberflächen, angegeben als Verhältnis von reflektierter zu einfallender kurzwelliger Strahlung. Eine Oberfläche mit einer Albedo von 0,3 z.B. reflektiert 30 % der einfallenden Strahlung und absorbiert 70 %. Je heller die Oberfläche, desto größer ist ihre Albedo.
Allochthone Witterung	"fremdbürtige", durch großräumige Luftströmungen bestimmte Witterung, die durch mehr oder weniger unperiodische Änderungen der Wetterelemente (kein ausgeprägter Tagesgang) gekennzeichnet ist.
Autochthone Witterung	"eigenbürtige", durch lokale und regionale Einflüsse bestimmte Witterung, die durch ausgeprägte Tagesgänge der Lufttemperatur, der Luftfeuchte und der Strahlung gekennzeichnet ist.
Emission*	die Abstrahlung oder Aussendung elektromagnetischer Wellen oder Teilchen als Strahlung, ebenso wie der Ausstoß fester, flüssiger und gasförmiger Stoffe in die Außenluft sowie in Wasser oder andere Umweltbereiche
Globalstrahlung	die gesamte am Erdboden ankommende Sonnenstrahlung, also die Summe aus direkter Strahlung und (diffuser) Himmelsstrahlung
Heißer Tag	ein Tag, an dem das Maximum der Lufttemperatur $\geq 30\text{ °C}$ beträgt (früher auch Tropentag).
Hitzewelle	eine mehrtägige Periode mit ungewöhnlich hoher thermischer Belastung. Eine Hitzewelle ist ein Extremereignis, welches die menschliche Gesundheit, die Ökosysteme und die Infrastruktur schädigen kann.
Immission*	Einwirkung von unmittelbar oder mittelbar durch menschliche Tätigkeit verursachte Emissionen auf die Umwelt. Zu den Immissionen gehören vorwiegend Luftverunreinigungen, Geräusche, Gerüche, Erschütterungen, Licht, Strahlen und Wärme.
Klimafaktoren	(auch klimatologische Wirkungsfaktoren) sind Faktoren, welche die Klimaelemente (Temperatur, Luftfeuchte usw.) und damit das Klima eines Ortes beeinflussen.
Klimamodell*	mathematisches Gleichungssystem welches das Klima bzw. dessen Änderungen simuliert. Als Variablen dienen physikalische und chemische Beziehungen.
Lokalklima	Klima an einem konkreten Ort. Es ist eingebettet in das Regionalklima und wird zusätzlich durch Relief und Flächennutzung in der näheren Umgebung des Ortes bestimmt.
Makroklima	Klima, welches von großskaligen Prozessen geprägt ist

Mesoklima	Bereich, der zwischen dem Mikroklima und dem Makroklima liegt. Während das Makroklima hauptsächlich von großskaligen und das Mikroklima vor allem von kleinskaligen, lokalen Prozessen beeinflusst ist, ist es im Mesoklima eine Mischung von beiden. Damit umfassen die Skalen der mesoskaligen Phänomene etwa eine horizontale Ausdehnung von ca. 1 bis 2000 km und eine typische Lebensdauer von einer Stunde bis hin zu einer Woche. Geländeform, Hangneigung und Beschaffung der Erdoberfläche sind dabei wichtige Parameter.
Mikroklima	mittlere atmosphärische Zustände und wiederkehrende Phänomene im mikrometeorologischen Maßstabsbereich. Nach Orlanski (1975) werden atmosphärische Prozesse mit einer horizontalen Ausdehnung von wenigen Millimetern bis einigen hundert Metern der Mikroskala zugeordnet. Mit Mikroklima ist damit das spezielle Klima eines Areals gemeint, das sich in den bodennahen Luftschichten ausbildet und stark von den vorhandenen Oberflächen (Untergrund, Bewuchs, Bebauung), z.B. deren Rauigkeit und thermischen Eigenschaften, beeinflusst ist.
Rauigkeit***	(auch Rauheit) bezeichnet die Unebenheit von Oberflächen
Regionalklima	eng verwandt mit der Begrifflichkeit Mesoklima. Dabei sind Phänomene mit sehr ähnlichen Raum- und Zeitskalen gemeint, die durch sowohl groß- als auch kleinskalige Prozesse beeinflusst werden, aber auch von regionalen Gegebenheiten wie der Geländeform und der Landnutzung abhängen. Beim Regionalklima, im Gegensatz zum Mesoklima, wird der Bezug zu natur- oder kulturräumlichen Klimabesonderheiten deutlicher hergestellt.
Retention**	Rückhaltevermögen von unterschiedlichen Oberflächen für flüssiges Wasser.
Ruraler Raum	Ländlich geprägter Raum ohne (hoch)verdichtete Stadtstrukturen
Sommertag	ein Tag, an dem das Maximum der Lufttemperatur $\geq 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ beträgt
Städtische Wärmeinsel*^L	ein typisches Merkmal des Stadtklimas welches durch die Wechselwirkung mehrerer unterschiedlicher Effekte hervorgerufen wird. Durch die starke Aufwärmung tagsüber und die eingeschränkte Abkühlung nachts werden die Städte im Vergleich zum Umland deutlich wärmer.
Strahlungsbilanz*	Differenz zwischen Ein- und Ausstrahlung einer Fläche. Insbesondere terrestrische und solare Strahlung sind dabei von Bedeutung.
Strahlungswetterlage*	eine Form des Hochdruckwetters mit geringer Bewölkung und höchstens mäßigen Winden
Tropennacht	eine Nacht (18 bis 06 UTC), in der das Minimum der Lufttemperatur $\geq 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ beträgt
Urbaner Raum*	Stadtgebiet; Zweidimensionale Vorstellung einer Stadt — im Vergleich zum Stadtraum
Vulnerabilität**	der IPCC definiert Vulnerabilität als das Maß, zu dem eine Person, Region oder ein System gegenüber nachteiligen Auswirkungen von Klimaänderungen anfällig ist und nicht damit umgehen kann. Dabei wird die Vulnerabilität bzw. Verwundbarkeit als eine

Funktion von Exposition, Sensitivität und Anpassungsfähigkeit verstanden.

Windstärke

anhand der Auswirkungen des Windes auf die Wasseroberfläche oder auf Objekte an Land geschätzter Stärkewert. In der international vereinbarten 13-teiligen Beaufort-Skala (0 = Windstille bis 12 = Orkan) sind jedem Stärkewert Windgeschwindigkeitsbereiche zugeordnet.

Sofern nicht anders gekennzeichnet gilt als primäre Quelle das Wetterlexikon des Deutschen Wetterdienst (DWD) (www.dwd.de/lexikon oder www.wetterlexikon.eu).

- * Wetter-Lexikon von wetter.net - Q.met GmbH
(<https://www.wetter.net/wetterlexikon>)
- ** Lexikon der Nachhaltigkeit der Industrie- und Handelskammer Nürnberg für Mittelfranken (<https://www.nachhaltigkeit.info>)
- *** Duden - Bibliographisches Institut GmbH (<https://www.duden.de>)
- *L Environmental Sciences Europe – Kuttler 2011 (<http://www.enveurope.com>)

5.6. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Lage des Planungsraums (rote Markierung) süd- bis südwestlich des Siedlungsbereichs der Stadt Dieburg.....	2
Abbildung 2 Darstellung der Änderung des Höhen-Niveaus im Umfeld der Stadt Dieburg.	3
Abbildung 3 Orographie des PR (rote Markierung) und der näheren Umgebung. Von Südwesten steigt das Höhenprofil des Planungsraums Richtung Nordosten hin an.	3
Abbildung 4 Übersichtsbild zum weiteren Untersuchungsraum bzw. Simulationsumgriff (hellblaue Markierung) sowie zum Planungsraum (Geltungsbereich des B-Plans „Dieburg Süd“) – rote Markierung.	4
Abbildung 5 Falschfarben Nahinfrarotausschnitt aus dem südwestlichen Teil des PR (Gebietsgrenze blaue Markierung) zur Erfassung des vitalen Vegetationsbestands.	5
Abbildung 6 Windrose mit Darstellung der Windgeschwindigkeit und Windrichtung für die Sommermonate Juni, Juli, August im langjährigen Mittel über einen Zeitraum von 30 Jahren für die DWD Station 01420 Frankfurt am Main. Darstellung der Tagessituation (08:00 Uhr bis 18:00 Uhr).....	6
Abbildung 7 Windrose mit Darstellung der Windgeschwindigkeit und Windrichtung für die Sommermonate Juni, Juli, August im langjährigen Mittel über einen Zeitraum von 30 Jahren für die DWD Station 04341 Offenbach. Darstellung der Tagessituation (08:00 Uhr bis 18:00 Uhr).....	7
Abbildung 8 Übersichtsbild der aktuellen Bestandssituation (Nullfall) mit Geltungsbereich des Bebauungsplan Nr. 85 „Dieburg Süd“ in Dieburg.....	8
Abbildung 9 Zeichnerische Festsetzung des Bebauungsplan Nr. 85 „Dieburg Süd“ (Stand 01/2020) als Grundlage für die 3D-Modellierung des Planfalls.	9
Abbildung 10 Planfall des Bebauungsplans Nr. 85 "Dieburg Süd" 3D modelliert mit geplanter Bebauung (blau und grün rd. 14 m Gebäudehöhe, dunkles lila 3 Vollgeschosse (9 m), helles lila 2 Vollgeschosse (6 m)) sowie mit Besatz von Bäumen (entsprechend B-Plan).....	9
Abbildung 11 Schematische Darstellung unterschiedlicher temperaturrelevanter Faktoren und Effekte im urbanen Raum, die zur Ausprägung der städtischen Wärmeinsel beitragen (DWD 2022)	11
Abbildung 12 Vertikales Windprofil über dem Stadtkern, dem Stadtrand dem freien Land (Robel et al., 1978)	12
Abbildung 13 Schematische Darstellung eines Flurwindsystems am Beispiel des Stadt-Umland-Windsystems. Die wärmere "Stadt-luft" steigt wegen ihrer geringeren Dichte auf, während die kühlere "Landluft" absinkt. Durch diesen Luftdruckgegensatz entsteht ein Wind vom Land in die Stadt.....	13
Abbildung 14 Der den Kaltluftabfluss querenden Damm mit Straße (links) wird zum Hindernis und blockiert bzw. staut den Kaltluftstrom auf. Die den Kaltluftabfluss querende Brücke mit Straße (rechts) bremst bzw. staut den Kaltluftstrom nicht (VM BW 2012).	13
Abbildung 15 Darstellung der Lufttemperatur (bodennah) im Nullfall und Planfall, nachts um 04:00 Uhr (austauscharmer heißer Sommertag).....	17
Abbildung 16 Differenzdarstellung der bodennahen Lufttemperatur zwischen Nullfall und Planfall, nachts um 04:00 Uhr (austauscharmer heißer Sommertag).....	18
Abbildung 17 Darstellung der Kaltluftschichtdicke sowie des bodennahen Strömungsfeldes für den Nullfall und Planfall 2 ^h Stunden nach Sonnenuntergang.....	20
Abbildung 18 Darstellung der Kaltluftschichtdicke sowie des bodennahen Strömungsfeldes für den Nullfall und Planfall 4 ^h Stunden nach Sonnenuntergang.....	21
Abbildung 19 Differenzdarstellung in der Kaltluftschichtmächtigkeit zwischen Planfall und Nullfall nach 2 und 4 Stunden	22

5.7. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Zusammenstellung verschiedener Kaltluftentstehungsraten aus unterschiedlichen Studien in Abhängigkeit zur Art des Untergrunds (k.A. = keine Angaben)	14
Tabelle 2 Verwendete Simulationsparameter im Rahmen der Analysen zur Lufttemperatur, der Durchlüftung (Wind) und der Kaltluftentstehung / -transport	15
Tabelle 4 Hochwachsende Arten auf mind. 15 cm Substratschicht	24
Tabelle 5 Gehölzarten für eine einfache Intensivbegrünung	25

5.8. Literaturverzeichnis

BRÜNDL W., MAYER H., BAUMGARTNER A. 1986, Untersuchung des Einflusses von Bebauung und Bewuchs auf das Klima und die lufthygienischen Verhältnisse in bayerischen Großstädten, Abschlussbericht zum Teilprogramm „Klimamessungen München“

DEUTSCHE GARTENAMTSLEITERKONFERENZ E. V. (GALK) 2022, GALK Straßenbaumliste, Abfrage vom 01.03.2022, Arbeitskreis Stadtbäume, Online-Quelle URL: <https://strassenbaumliste.galk.de/> Abruf 03/2022

DEUTSCHER WETTERDIENST (DWD), Städtische Wärmeinsel, Online-Quelle URL: https://www.dwd.de/DE/forschung/klima_umwelt/klimawirk/stadt/pl/projekt_waermeinseln/projekt_waermeinseln_node.html Abruf: 03/2022

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT LANDSCHAFTSENTWICKLUNG LANDSCHAFTSBAU E. V. (FLL) 2018, Richtlinien für Planung, Bau und Instandhaltung von begrünbaren Flächenbefestigungen

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT LANDSCHAFTSENTWICKLUNG LANDSCHAFTSBAU E. V. (FLL) 2015, Forschungsbericht Wandgebundene Begrünungen

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT LANDSCHAFTSENTWICKLUNG LANDSCHAFTSBAU E. V. (FLL) 2018, Richtlinien für Planung, Bau und Instandhaltung von begrünbaren Flächenbefestigungen

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT LANDSCHAFTSENTWICKLUNG LANDSCHAFTSBAU E. V. (FLL) 2018, Fassadenbegrünungsrichtlinien – Richtlinien für die Planung, Bau und Instandhaltung von Fassadenbegrünungen, 3. Ausgabe

GEONET 2002, GIS-basierte Aufbereitung der Modellergebnisse zur Kaltluftsimulation für die Nutzung im Rahmen der Landes- und Regionalplanung in Thüringen; Abschlussbericht

GEONET 2011, MORO Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel Leitfaden „Klimaökologie“, Baden-Baden

GROSS G. 1987, Some effects of deforestation on nocturnal drainage flow and local climate: A numerical study; In: Boundary-Layer Meteorology; 28 (4); S. 315-337

KING E. 1973, Untersuchungen über kleinräumige Änderungen des Kaltluftflusses und der Frostgefährdung durch Straßenbauten; Berichte des Deutschen Wetterdienstes 130; 17

KUTTLER W. 2011, Climate change in urban areas – part 1, Effects Environmental Sciences Europe 23

LANUV 2018, Fachbericht 86 – Klimaaanalyse Nordrhein-Westfalen, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen

MATZARAKIS A., RÖCKEL R., RICHTER C.-J., HÖFL. H.-C., STEINICKE W., STREIFENEDER M., MAYER H., 2008, Planungsrelevante Bewertung des Stadtklimas am Beispiel von Freiburg im Breisgau, Gefahrenstoffe – Reinhaltung

der Luft 68, 334-340

ROBEL F., HOFFMANN U., RIEKERT A., 1978, Daten und Aussagen zum Stadtklima von Stuttgart auf der Grundlage der Infrarot Thermographie, Beiträge zur Stadtentwicklung Nr. 15, Landeshauptstadt Stuttgart

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN (TUD) 2022, Citree - Gehölze für urbane Räume, Online-Quelle URL: <https://citree.de/> Abruf 03/2022

THOENNESSEN M. 2002, Elementdynamik in fassadenbegrünendem Wilden Wein, Kölner Geograph. Arbeiten, Heft 78:1–110

VDI 2008, Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen, VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2

VM BW (Hrsg.) 2012, Städtebauliche Klimafibel – Hinweise für die Bauleitplanung, Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg