

Klimagutachten

für den Bebauungsplan Nr.87 „Alter Stadtwaag“
der Stadt Seligenstadt

März 2022

Auftraggeber (AG)

Stadt Seligenstadt – Amt für Stadtentwicklung

Marktplatz 1

63500 Seligenstadt



Ansprechpartnerin

Frau Marina Seifert

Tel.: +49 6182 9614

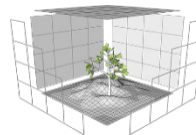
E-Mail: stadtentwicklung@seligenstadt.de

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:

Hiermit überträgt der Auftragnehmer dem Auftraggeber die Nutzungsrechte hinsichtlich der vorliegenden Ausarbeitung

KLIMAGUTACHTEN – FÜR DEN BEBAUUNGSPLAN NR.87 „ALTER STADTWAAG“

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

BPI

Burghardt und Partner, Ingenieure
Am Sonnenhang 4, D - 34128 Kassel
fon: +49 561 76678963 | fax: +49 561 9698855
info@lp-kassel.de | www.lp-kassel.de

Dr. René Burghardt

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	5
1.1.	Auftragsgegenstand.....	5
2.	Untersuchungsraum.....	6
2.1.	Lage.....	6
2.2.	Simulationsumfang und Vegetationserfassung	7
2.2.1.	Klimatische Einordnung – Wind.....	8
2.3.	IST-Situation (Nullfall).....	11
2.4.	PLAN-Situation (Planfall)	12
3.	Methodisches Vorgehen, Fachliche Grundlagen und Simulationsparameter.....	15
3.1.	Methodik	15
3.2.	Fachliche Grundlagen	16
3.2.1.	Temperatur und städtische Wärmeinsel.....	16
3.2.2.	Thermischer Komfort / Thermische Indizes	17
3.2.3.	Wind und städtischer Luftstrom	18
3.3.	Simulationsparameter	19
4.	Analyseergebnisse und Planungsempfehlungen.....	20
4.1.	Lufttemperatur.....	20
4.2.	Wind (Durchlüftung im bodennahen Bereich).....	23
4.3.	Thermischer Komfort	27
5.	Hinweise für die Planung / den Entwurf	30
5.1.	Dachbegrünung.....	30
5.2.	Fassadenbegrünung.....	31
5.3.	Oberflächenmaterialien.....	32
5.4.	Straßenbäume und temporäre Verschattungsmöglichkeiten	33
6.	Zusammenfassung	34
7.	Anhang	35
7.1.	Pflanzenliste (Dachbegrünung).....	35
7.2.	Glossar	37
7.3.	Abbildungsverzeichnis	40
7.4.	Tabellenverzeichnis.....	40
7.5.	Literaturverzeichnis	41

Abkürzungsverzeichnis

%	Prozent
≤	kleiner gleich
≥	größer gleich
°C	Grad Celsius
3D	dreidimensional
AG	Auftraggeber
AN	Auftragnehmer
B-Plan	Bebauungsplan
bspw.	beispielsweise
ca.	circa
CFD	Computer Fluid Dynamics
cm	Zentimeter
d.h.	das heißt
DOM	Digitales Oberflächenmodell
DWD	Deutscher Wetterdienst
ggf.	gegebenenfalls
GIS	Geoinformationssystem
ha	Hektar
JJA	Juni, Juli, August
km	Kilometer
m	Meter
m ²	Quadratmeter
max.	maximal
mm	Millimeter
NHN	Normalhöhennull
o.ä.	oder ähnliches
PET	Physiological Equivalent Temperature
PR	Planungsraum
s	Sekunde
sog.	sogenannt/e
SW	Südwest
SsW	Süd-südwest
u.a.	unter anderem
ü.G.	über Grund
UTCI	Universal Thermal Climate Index
vgl.	vergleiche
W	Watt
z.B.	zum Beispiel

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 soll im Zuge der Umnutzung eines aufgegebenen Sportplatzes im innerstädtischen Bereich der Stadt Seligenstadt ein klimatisches Gutachten erstellt werden. Die klimatischen Auswirkungen des in Aufstellung befindlichen zuständigen Bebauungsplans Nr. 87 „Alter Stadtwaag“, der auf einem von der Stadtverordnetenversammlung beschlossenen städtebaulichen Konzept aufbaut, wird in dem Gutachten geprüft, analysiert und bewertet.

Der B-Plan sieht eine teilweise Bebauung und Umnutzung der betroffenen Fläche vor. Mit dem Ziel, Freizeit- und Freiraumkonzepte zu entwickeln, wird diese im städtebaulichen Rahmenplan weiterhin als markante Gliederung der Gesamtstadt durch Grünflächen dargestellt.

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 thermischen Aspekte, der Be- und Durchlüftung sowie der bioklimatischen Situation. 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

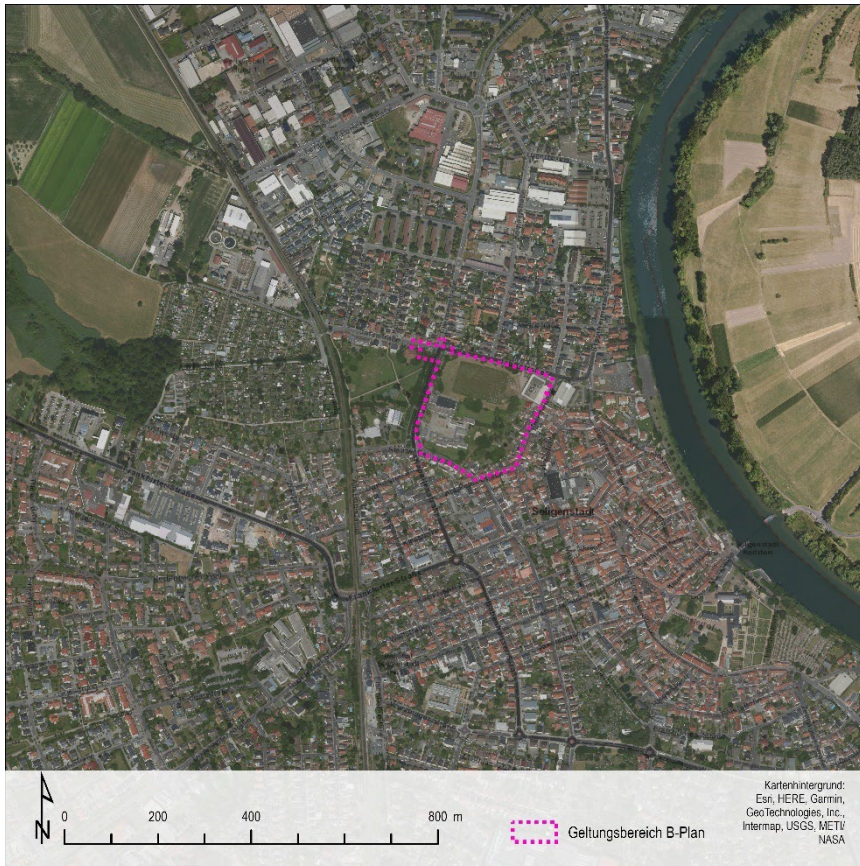


Abbildung 1 Lage des Planungsraums (Markierung) in der Stadt Seligenstadt

Der Planungsraum befindet sich auf der westlichen Seite des Mains im innerstädtischen Bereich der Stadt Seligenstadt. Der PR wird im Norden durch die „Jahnstraße“, im Westen durch die „Kapellenstraße“, südwestlich durch den „Steinweg“, im Süden durch die „Abt-Peter-Straße“ und im Osten durch die „Grabenstraße“ eingeschlossen. An der östlichen und südlichen Grenze des PRs befindet sich eine Reihe mehrerer Gebäude, die

den PR von seinem städtischen Umfeld abgrenzt. Dieses gliedert sich in südlicher, östlicher und nördlicher Richtung in Wohnbau- und gemischte Gebiete und solche des Gemeinbedarfs, deren Blockbauweise mit teils anliegenden privaten Grünflächen ihr Umfeld charakterisieren.

Über die Kapellenstraße hinweg liegt der PR in westlicher Richtung an eine innerstädtische Freifläche an, deren nördlicher Teil in Reihe und südlicher Teil durch einzelne freistehende Gebäude bebaut ist. Topographisch / orographisch liegt der PR leicht unterhalb der durchschnittlichen städtischen Höhenamplitude. Diese ist besonders im Südwesten Seligenstadts stärker ausgeprägt; das in diese Richtung ansteigende Gelände erreicht im Durchschnitt ca. 121 m über Normalnull. Der Main beschreibt mit ca. 97 m über Normalnull den im Betrachtungsraum geringsten Höhenwert. Der PR liegt gegenüber seinem bebauten Umfeld (speziell im Süden) mit ca. 121 m über Normalnull in einer sehr seichten Tallage, welche sich weiter in Richtung Nordwest erstreckt.

Vor dem Hintergrund der Lage des PRs im Stadtraum ist nicht nur zu erfassen, inwieweit das geplante Vorhaben mikroklimatische Auswirkungen auf die lokale Situation hat, sondern auch welche Auswirkungen auf den städtischen Wärmeinseleffekt (im weiteren Umfeld zum eigentlichen Planvorhaben) zu erwarten sind.

2.2. Simulationsumgriff und Vegetationserfassung

Der Simulationsumgriff (siehe Abbildung 2) beschreibt die für das Gutachten berücksichtigte Umgebung. Dabei ändert sich der Raumbezug entsprechend der für das Gutachten relevanten Rahmen- / Einflussfaktoren. Nachfolgend in Abbildung 2 wird der ungefähre Simulationsumgriff beschrieben, der für die klimatische Untersuchung des „B-Plan Nr.87“ herangezogen wird.

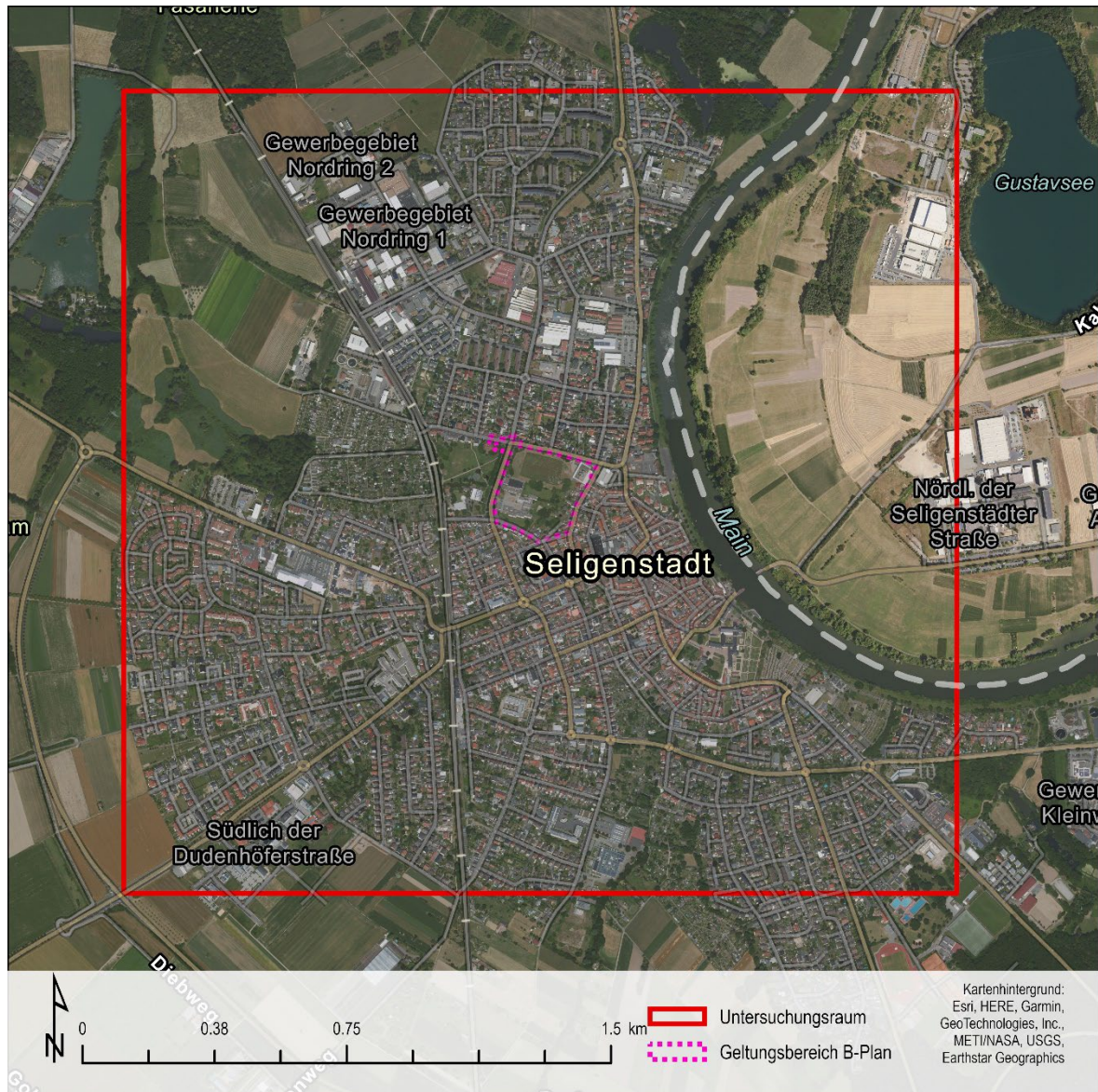


Abbildung 2 Übersichtsbild zum weiteren Untersuchungsraum (rote Markierung) sowie zum Planungsraum (Geltungsbereich des B-Plans)

In der Vegetationserfassung über die Falschfarbenaufnahmen (siehe Abbildung 3) sind die lokalen Vegetationsstrukturen deutlich erkennbar. Diese werden in den weiteren Analyseschritten großräumig (entsprechend Abbildung 2) extrahiert und so für die weitere Untersuchung nutzbar gemacht.



Abbildung 3 Falschfarben Nahinfrarotausschnitt zur Erfassung des urbanen Durchgrünungsanteils (links), sowie Darstellung von Vegetationshöhen (> 5 m) auf Grundlage des Digitalen Oberflächenmodells (DOM) (rechts)

2.2.1. Klimatische Einordnung – Wind

Im direkten Umfeld des Planungsraums / der Stadt Seligenstadt ist keine DWD Wetterstation mit länger zurückgreifenden Messungen (klimatische Messreihen umfassen i.d.R. Zeitreihen von 30 Jahren) vorhanden, auf deren Datengrundlage die lokal- / regionaltypischen Wind-/ Anströmungscharakteristika abgeleitet werden kann. Die in der Nähe von Seligenstadt gelegene DWD Wetterstation Kahl/Main (Nr.2480) wurde für Windmessungen erst im Jahr 2004 in Betrieb genommen und steht deshalb für langzeitliche Auswertung nicht zur Verfügung. 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 Seligenstadt beschrieben werden kann.

Aus diesem Grund wurde eine Referenzstationen aus Frankfurt am Main (Nr. 1420) (siehe Abbildung 4) und Offenbach (Nr. 7341) (siehe Abbildung 5) für die langjährige Auswertung der Windstärke in Abhängigkeit der Windrichtung hinzugezogen. Hierbei muss beachtet werden, dass die Daten der Frankfurter sowie der Offenbacher DWD-Station natürlich nicht im gleichen Maße auf Seligenstadt übertragbar sind. Durch die räumlich exponierte Lage der Stationen sowie ihren verdichteten, urbanen Kontext ist 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 und Südwest dominant (siehe Abbildung 4 und Abbildung 5). Dabei stellt die verwendete Referenzstation (Frankfurt und Offenbach) eine Tendenz dar. Unter Zuhilfenahme der gemessenen Windrichtungen durch die Station Kahl/Main (siehe Abbildung 6) seit dem Jahr 2004 wird aber die typische Südwest-Anströmung für einen Sommertag bestätigt.

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 (vgl. 3.2.2). In den Sommermonaten Juni, Juli und August sind während des Tages (08:00 - 18:00 Uhr) die regionaltypischen Anströmungen aus SsW und SW dominant; diese Tendenz ist aufgrund der Lage auch auf Seligenstadt übertragbar. Am seltensten (>5 %) tritt der Wind dagegen aus südöstlicher Richtung auf – wenn doch, dann nur mit reduzierten Windgeschwindigkeiten von < 2 – 4 m/s.

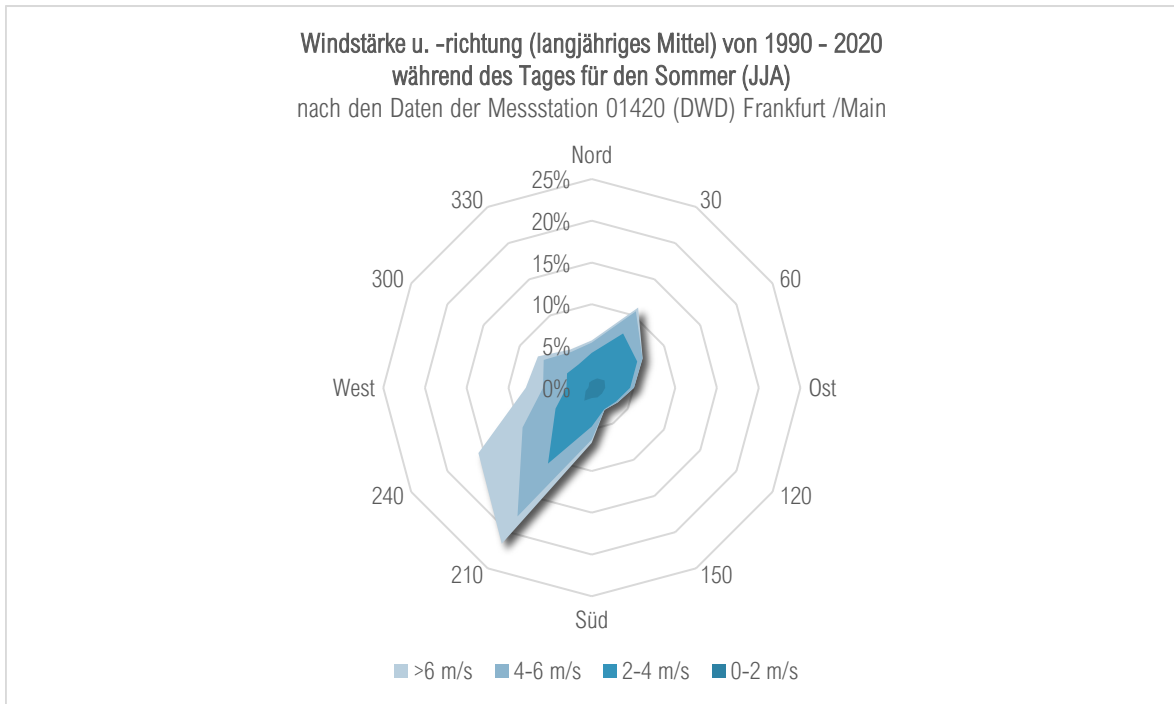


Abbildung 4 Windrose mit Darstellung der Windgeschwindigkeit und Windrichtung für die Sommermonate Juni, Juli, August im langjährigen Mittel über einen Zeitraum von 30 Jahren für die DWD Station 01420 Frankfurt am Main. Darstellung der Tagessituation (08:00 Uhr bis 18:00 Uhr)

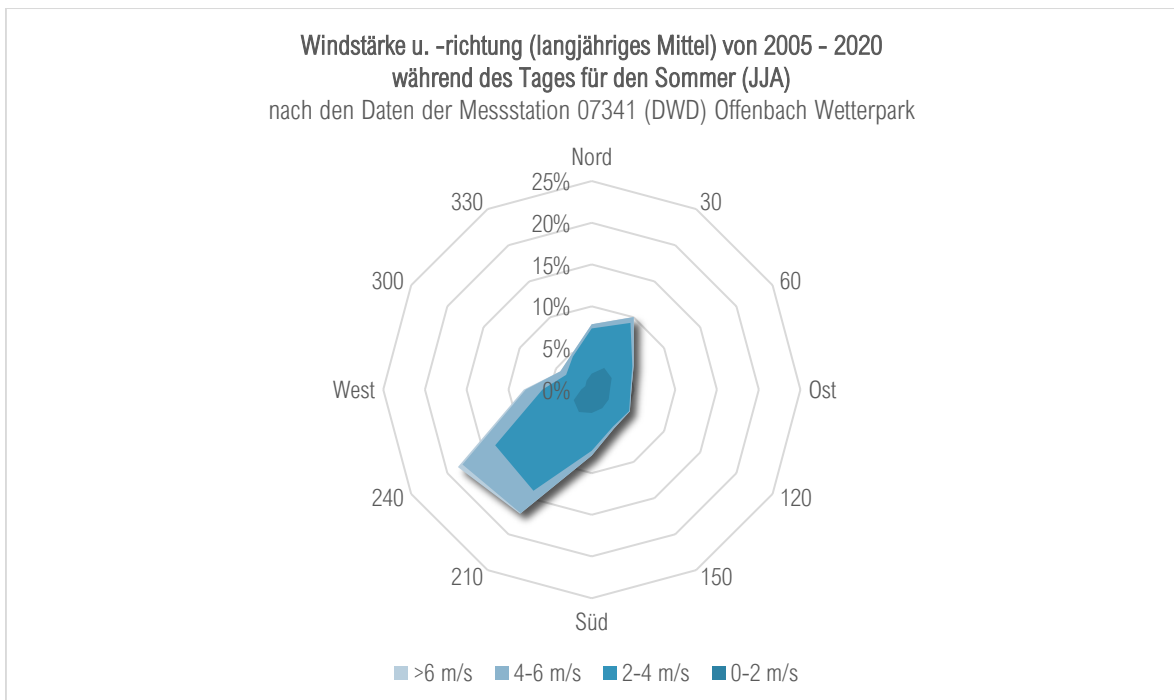


Abbildung 5 Windrose mit Darstellung der Windgeschwindigkeit und Windrichtung für die Sommermonate Juni, Juli, August im langjährigen Mittel über einen Zeitraum von 30 Jahren für die DWD Station 04341 Offenbach. Darstellung der Tagessituation (08:00 Uhr bis 18:00 Uhr)

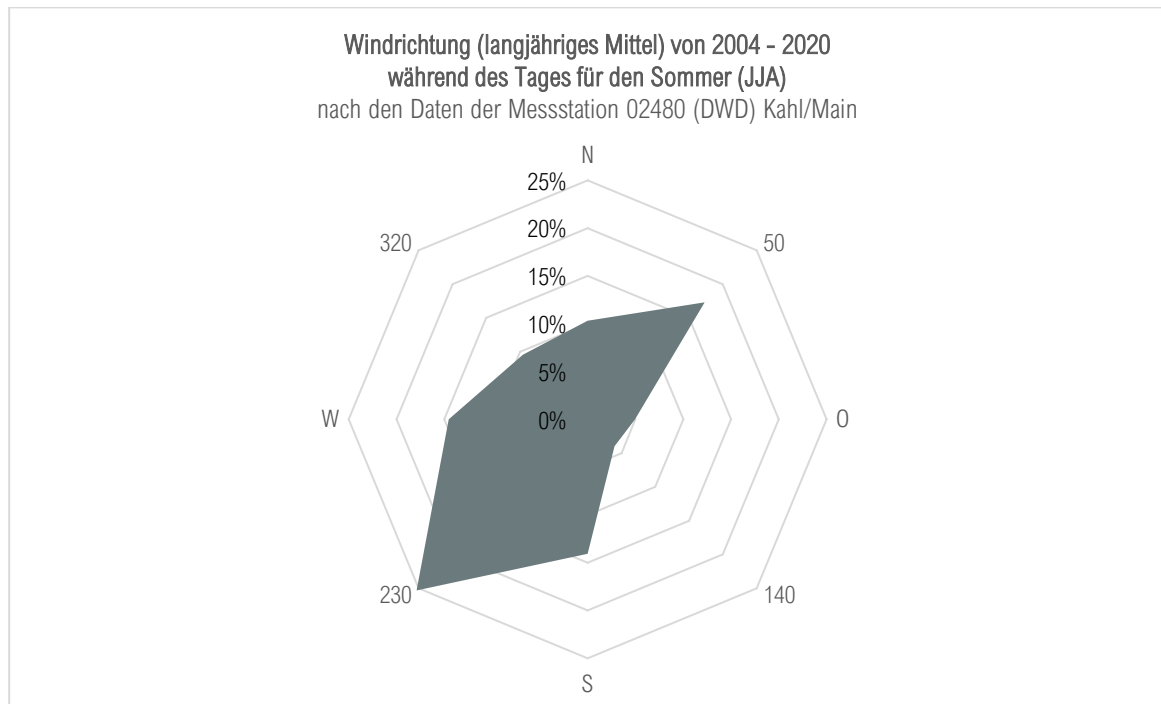


Abbildung 6 Windrose mit Darstellung der Windrichtung in Abhängigkeit von der Häufigkeit des Auftretens (Prozentskala) für die Sommermonate Juni, Juli, August im langjährigen Mittel von 2004 bis 2020 für die DWD Station Kahl/Main 02480. Darstellung der Tagessituation.

2.3. IST-Situation (Nullfall)



Abbildung 7 Übersichtsbild der aktuellen Bestandssituation (Nullfall) mit Geltungsbereich des Bebauungsplan Nr. 87 „Alter Stadtwaag“ (roter Rahmen) in Seligenstadt

Bei dem Planungsraum (siehe Abbildung 7) handelt es sich um eine größtenteils unbebaute Fläche von rund 5,6ha, die im innerstädtischen Bereich der Stadt Seligenstadt liegt. Das Areal umfasst die große, brachliegende Freifläche des ehemaligen Sportplatzes („Jahnsportplatz“) und die Bestandsbebauungen im östlichen Randbereich des PR. Der ehemalige Sportplatz ist mehrheitlich unversiegelt und primär mit bodenbedeckenden Vegetationsbestände (Rasen) besetzt. Höhere Vegetationsanteile finden sich in Form von Bäumen an der „Kapellenstraße“ im Westen, im Übergangsbereich zur südlich liegenden „Konrad-Adenauer-Schule“ sowie in den Gartenbereichen der o.g. bestehenden Wohnbebauung entlang der „Grabenstraße“. Mit Ausnahme der Südseite wird der Planungsraum allseitig komplett von Straßen umgeben. Rund 250 m weiter östlich verläuft der Fluss „Main“ in Nord-Süd-Ausrichtung, welcher aber durch die bestehende städtische Bebauung vom PR getrennt liegt. In westlicher Richtung schließt, nach der „Kapellenstraße“, eine weitere größere Freifläche an, die zwar nicht in den Planungsraum des B-Plans fällt, aber bei der Entwicklung des Städtebaulichen Konzepts (siehe Abbildung 10) miteinbezogen wurde.

2.4. PLAN-Situation (Planfall)

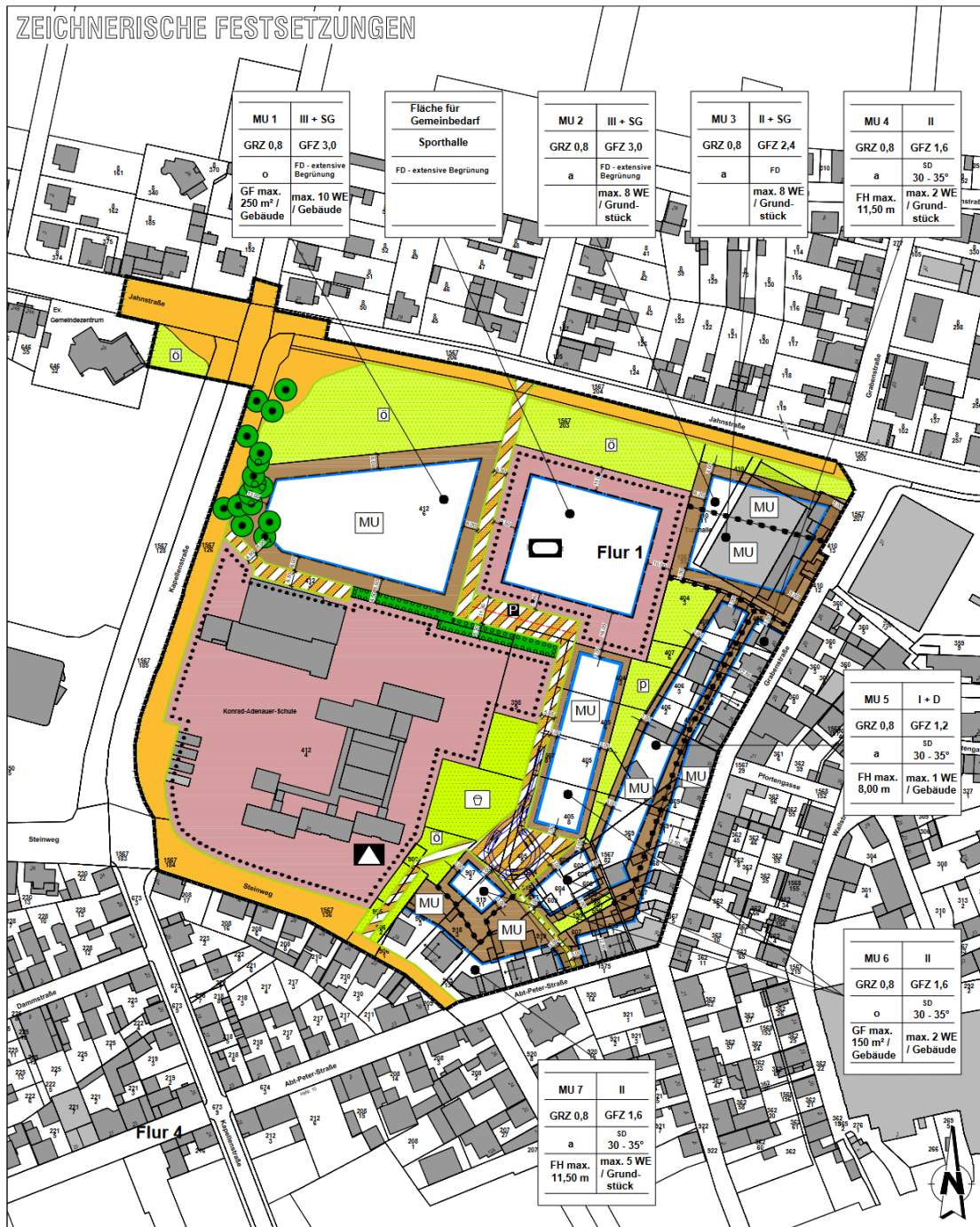


Abbildung 8 Zeichnerische Festsetzung des Bebauungsplan Nr. 87 „Alter Stadtwaag“ (Stand 07/2021) als Grundlage für die 3D-Modellierung des Planfalls.

Der Bebauungsplan Nr. 87 "Alter Stadtwaag" sieht vor, den PR teilweise zu bebauen und neu zu nutzen. Auf dem Sportplatzgelände soll eine neue Sporthalle mit Dachbegrünung das ältere Bestandsgebäude - etwas in westlicher Richtung ersetzen. An der Stelle der alten Sporthalle soll ein weiteres Wohngebäude mit extensiver Begrünung und eine Kindertagesstätte errichtet werden. Östlich an der „Kapellenstraße“ sowie auf der Grünfläche zwischen dem Schulkomplex und der östlich an die Grabenstraße grenzende Gebäudereihe sind weitere Baumaßnahmen vorgesehen. Hier sollen einzelne freistehende Gebäude errichtet und die Flächen zwischen ihnen begrünt werden. Die Wohnhäuser werden durch eine neue Verkehrsfläche mit eigens spezifizierten Zweckbestimmungen (einseitiger Fußweg, Mischfläche, Fuß- und

Radweg) an die „Jahnstraße“ im Norden und den „Steinweg“ im Süden angebunden. Im Süden der Sporthalle entstehen an dieser Verkehrsfläche neue Parkplätze. Die neue Verkehrsfläche soll von neugepflanzten Bäumen flankiert werden, die u.a. den Schulkomplex von den neuen Gebäudegruppen abgrenzen. Ein Teil der Baumreihe zur „Kapellenstraße“ hin soll erhalten bleiben; zwischen den Neubauten sind weiterhin vereinzelte Bäume angedacht. Die Baufelder und die Geschosshöhen für die Nachverdichtung sind dem B-Plan (siehe Abbildung 8), die Positionierung und Ausformung der geplanten Gebäude dem Städtebaulichen Konzept (siehe Abbildung 10) zu entnehmen. Der im Städtebaulichen Konzept dargestellte und bereits genehmigte Mensa-Neubau wurde ebenfalls in das Planmodell integriert.



Abbildung 9 Planfall des Bebauungsplans Nr. 87 "Alter Stadtwaag" 3D modelliert mit geplanter Mensa (orange) und geplanter Bebauung (rot) sowie mit Besatz von Bäumen (in Anlehnung an das Städtebauliche Konzept)

Im Norden des PRs sollen die Flächen zwischen der „Jahnstraße“ und den Neubauten zu öffentlichen Freiflächen ausgewiesen werden, die unter Berücksichtigung des städtebaulichen Entwicklungskonzepts („blaues Band“) den bestehenden öffentlichen Park („Bleiche“) westlich der „Kapellenstraße“ mit dem PR verbinden sollen. Hierbei ist geplant, im Bereich der „Bleiche“, den Bachlauf teilfreizulegen und dies konzeptionell im Bereich des PR (östlich der Kapellenstraße) mit entsprechenden Pflanzungen

fortzusetzen. Zusätzlich wird das Wegenetz der öffentlichen Freiflächen unter Berücksichtigung der Baumbestände neugestaltet und u.a. für den PR zugänglicher gemacht.

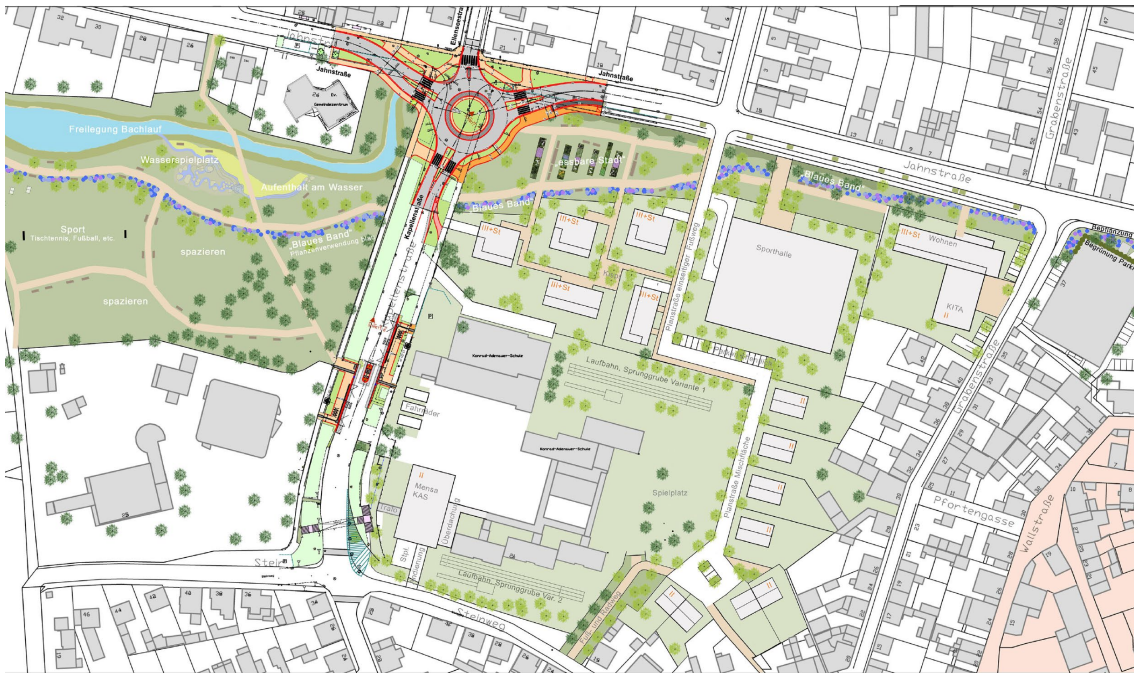


Abbildung 10 Städtebauliches Konzept für das Areal des B-Plans Nr. 87 sowie die westlich anschließende Freifläche („Bleiche“) (Stand 12/2019)

D

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 Fluidynamik, 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).

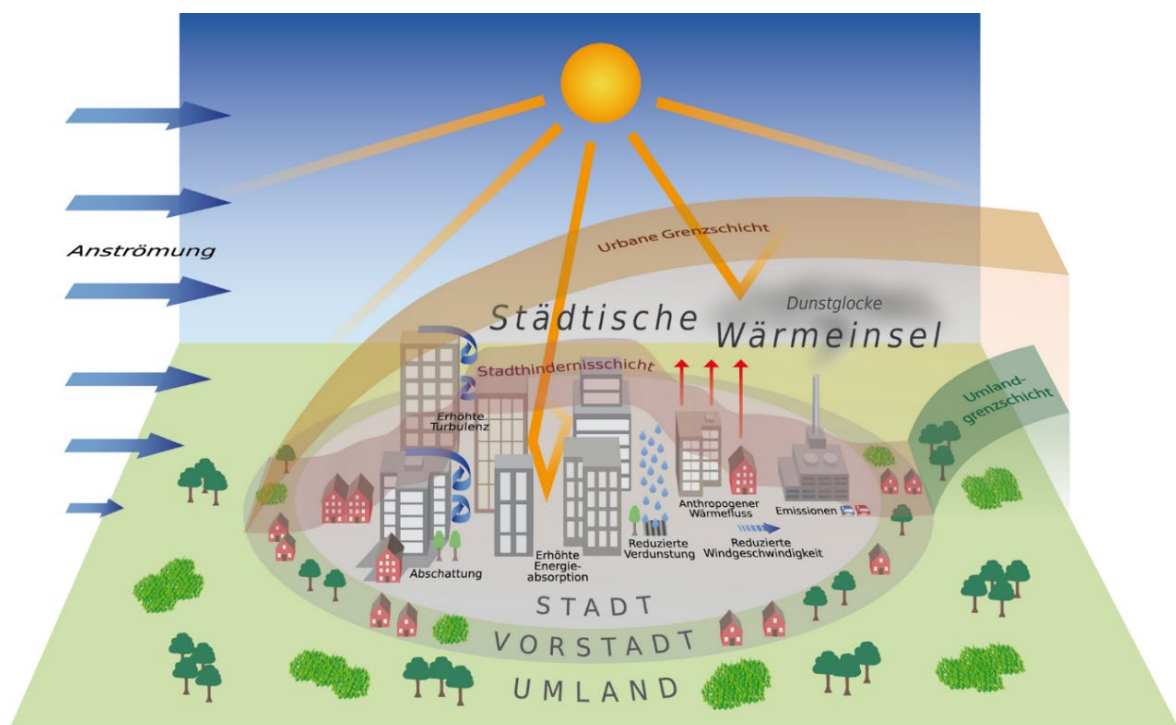


Abbildung 11 Schematische Darstellung unterschiedlicher temperaturrelevanter Faktoren und Effekte im urbanen Raum, die zur Ausprägung der städtischen Wärmeinsel beitragen (DWD 2022)

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 (siehe Abbildung 11). 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. Thermischer Komfort / Thermische Indizes

Im mikroklimatischen Bereich steht das menschliche Wohlbefinden im Mittelpunkt klimatischer Betrachtungen. Das Empfinden des Menschen auf verschiedene äußere klimatische Einflüsse nennt sich „Thermischer Komfort“. Dieser beschreibt konkret den Grad der thermischen Belastung, die im Innen- oder Außenraum auf den Menschen einwirkt. Zur Abbildung dieser Belastungssituation können unterschiedliche Indizes (sog. thermische Indizes) genutzt werden, von denen der thermische Index der „gefühlten Temperatur“ mitunter am bekanntesten ist. Er stellt die einfachste Beschreibung des thermischen Komforts dar und wird mit Hilfe der Lufttemperatur und des Windes berechnet. Bei den thermischen Indizes steht stets der Gedanke im Vordergrund, die von außen auf den Menschen einwirkenden (klimatischen) Einflüsse wie die solare Einstrahlung, Windverhältnisse, Luftfeuchte und Lufttemperatur zu bilanzieren und diese wechselwirkend in Abhängigkeit der körpereigenen Charakteristiken wie z.B. Alter, Größe, Gewicht, Geschlecht, Kleidung und Tätigkeit mit dem menschlichen Energiehaushalt zu betrachten (siehe Abbildung 12). Der sogenannte thermische Wirkkomplex ist somit die Grundlage für die verschiedenen thermischen Indizes und wird regulär durch eine mathematische Formel für die Bilanzierung des menschlichen Energiehaushalts ermittelt. Da jeder Mensch allerdings individuelle körpereigene Charakteristiken aufweist, werden für die Berechnung des thermischen Komforts Standardwerte herangezogen, mit denen der „Durchschnittsmensch“ beschrieben wird.

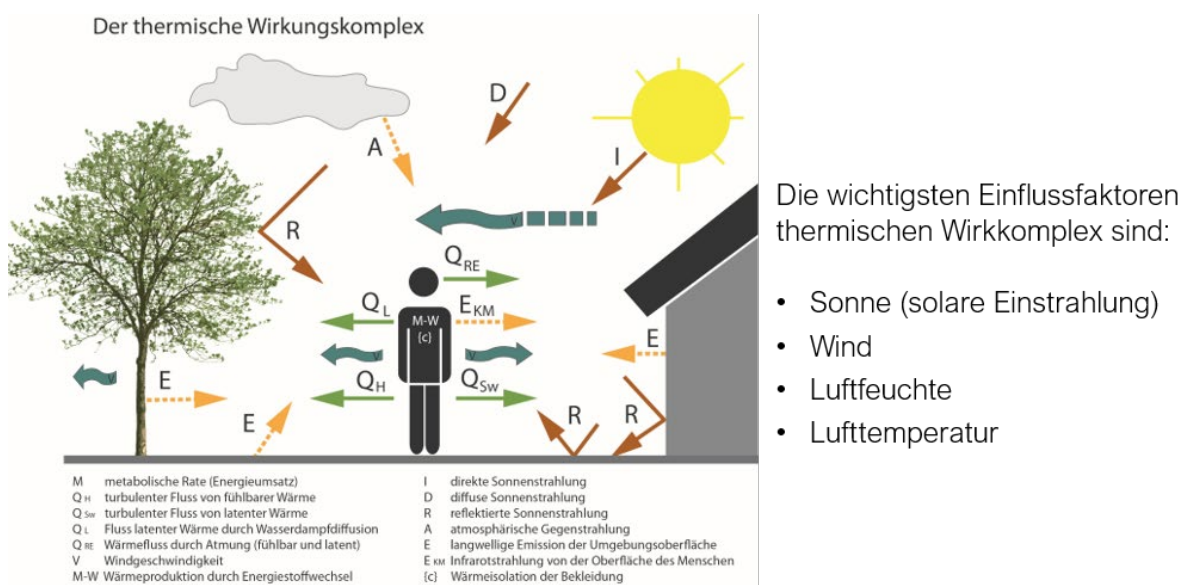


Abbildung 12 Der thermische Wirkkomplex des Menschen (ergänzt nach VDI 3787, 2008)

Bei diesem Durchschnittsmenschen handelt es sich um eine männliche, gesunde Person im Alter von 35 Jahren, einer Größe von 175 cm und einem Gewicht von 75 kg. Ergänzend werden eine leichte Bekleidung und eine einfache Tätigkeit im Stehen definiert. Entsprechend dieser Standardisierung bedeutet dies, dass die Aussagen zum thermischen Komfort immer auch relativiert im Kontext der jeweiligen Personengruppe betrachtet werden muss, da insbesondere ältere Menschen gegenüber klimatischen Einflüssen körperlich eine höhere Vulnerabilität (Verletzlichkeit) aufweisen als der angenommene Durchschnittsmensch.

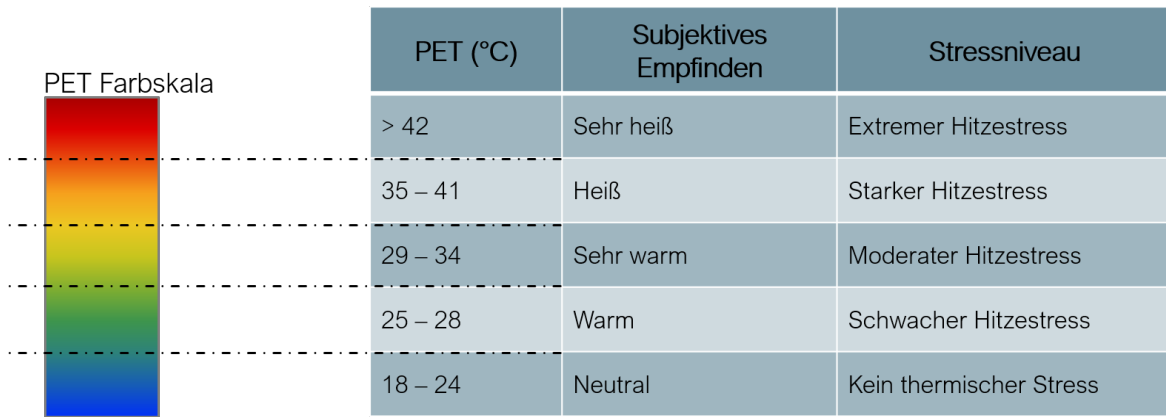


Abbildung 13 Darstellung des typischen Wertebereiches des thermischen Komforts

In Deutschland und Europa ist der thermische Index in Form der „Physiological Equivalent Temperature“ Index (PET) in der Anwendung am weitesten verbreitet. Dieser wird mit Hilfe einer Temperaturskala in Grad Celsius (°C) angegeben (siehe Abbildung 13). Da die Lufttemperatur aber nur eine Einflusskomponente für den PET-Index darstellt, muss beachtet werden, dass in Darstellungen des PET-Indexes anstelle der Lufttemperatur der PET-Wert in °C angezeigt wird.

3.2.3. Wind und städtischer Luftstrom

Die Windsituation des Untersuchungsraums ist nicht zuletzt ein wesentlicher Einflussfaktor auf das klimatische Wohlbefinden des Menschen, welches sich in das subjektive und ein physiologisches-funktionales Wohlbefinden unterteilen lässt. Während die subjektive Wahrnehmung das individuelle Empfinden widerspiegelt (es ist „zu warm“ oder „zu kalt“), kann der menschliche Körper nur in einem bestimmten Temperaturbereich optimal funktionieren. Für die stadteigenen Charakteristika der Windverhältnisse sind hauptsächlich die morphologischen und thermischen Ausprägungen des urbanen Raums (Windgeschwindigkeit, Windrichtung) im Vergleich zu ihrem unbebauten Umfeld ausschlaggebend (siehe Abbildung 14).

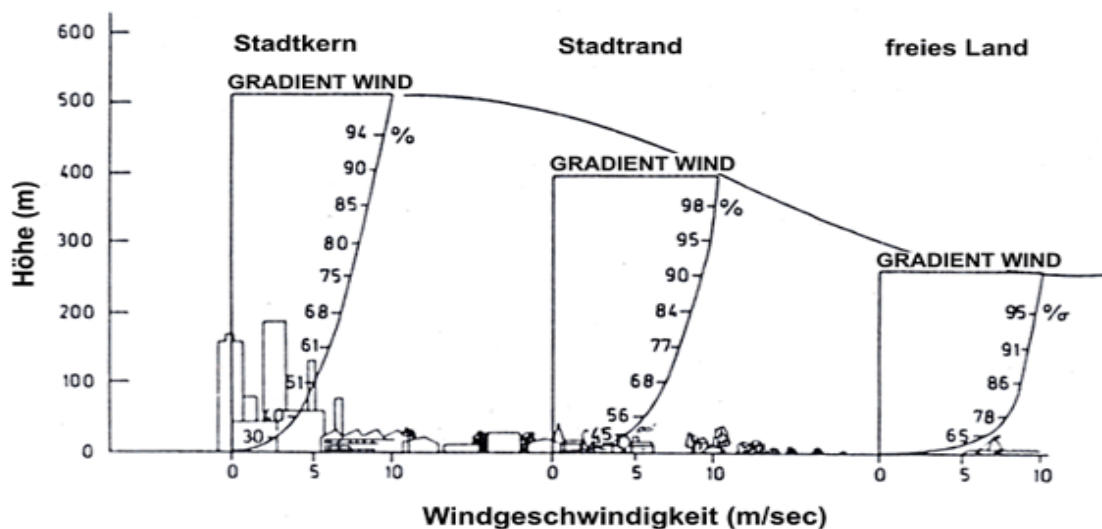


Abbildung 14 Vertikales Windprofil über dem Stadtkern, dem Stadtrand dem freien Land (Robel et al., 1978)

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).

3.3. Simulationsparameter

Die in diesem Gutachten durchgeführten Simulationen sind tabellarisch in der nachfolgenden Tabelle 1 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 1 Verwendete Simulationsparameter im Rahmen der Analysen zur Lufttemperatur, der Durchlüftung (Wind) sowie des Thermischen Komfort

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 Wärmeineffektes 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_03	Thermischer Komfort	ArcGIS Pro	Thermischer Komfort im bodennahen Bereich (1,7 m über Grund) um 16:00 Uhr	1 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).

Der in Abbildung 15 dargestellte Nullfall zeigt, dass sich die Offenheit des Geländes nach Westen und die Nähe zum Main sowie des anschließenden Offenlandes im Osten in Kombination mit dem vorhandenen Vegetationsstrukturen einen leicht positiven Effekt auf die bodennahe Lufttemperatur in der Nacht darstellt. Gleichzeitig wird der Planungsraum auch negativ durch die bestehenden Siedlungsstrukturen (insbesondere im Süden) beeinflusst. Damit stellt der Planungsraum einen Übergangsbereich zwischen dem am stärksten überwärmten südlich gelegenen Siedlungsraum und den grün und offenlanddominierten Umgebungsraum dar. Dabei wird der Planungsraum selbst primär durch Frei- / Rasenflächen dominiert. Dichtere Baumstrukturen treten größtenteils im Nordwesten (entlang der „Kapellenstraße“) und im Südosten auf.

Der Planfall (Abbildung 16) stellt eine Nachverdichtung auf einer freien Fläche dar, wodurch per se mehr Energie aufgenommen und bis in die Nacht hinein gespeichert werden kann. In der Betrachtung des Planfalls sind in der Temperaturverteilung nur marginal, was wiederum im direkten Zusammenhang mit dem starken Erhalt und Zuwachs von Grünflächen und Grünvolumen steht. Damit wirkt der geplante hohe Vegetationsanteil dem Effekt der zusätzlichen Energieaufnahme und Speicherung entgegen. Durch den Planfall ist eine lokal begrenzte Veränderung der bodennahen Lufttemperatur von max. 0,12 °C während der Nachstunden (um 04:00 Uhr) zu erwarten.

Auf Grundlage der zu geringen Auswirkungen auf die potentiellen Veränderungen der Lufttemperatur / des städtischen Wärmeinseleffektes wird auf eine Differenzdarstellung zwischen Null- und Planfall verzichtet (vgl. Planeinschätzung nachfolgend).

Planungseinschätzung / Planungsempfehlung

Vor dem Hintergrund der Bewertung der Situation / der Gefahr der zunehmenden städtischen Überwärmung durch den untersuchten Planfall können Auswirkungen auf einen größeren Wirkraum über das eigentliche Planvorhaben hinaus ausgeschlossen werden. Die Auswirkungen sind klimatisch nicht planungsrelevant. Um diese im positiven Sinne geringe Wirkung zu erzielen, sollte ein Großteil der Dachflächen mit einer hochaufwachsenden Dachbegrünung versehen werden (wie bereits in der Planung vorgesehen und in der Simulation berücksichtigt). Dabei liegt der Fokus nicht auf einer intensiven Pflege, sondern vielmehr auf einer ausreichend dicken Substratauflage (min. 15 cm, besser ab 20 cm) in Kombination mit hochwachsenden Gräsern und Stauden. Diese ermöglichen ein hohes Potential der Eigenverschattung der Substratschicht, um so der Austrocknung durch die direkte Sonneneinstrahlung vorzubeugen. Eine erweiterbare Liste mit potentiellen Pflanzen findet sich im Anhang (vgl. 7.1).

Ausprägung der städtischen Überwärmung (in °C Lufttemperatur) im Nullfall um 04:00 Uhr nachts, bei Annahme eines heißen Sommertages (max. 30 °C) und einer nächtlichen Minimaltemperatur von 15 °C

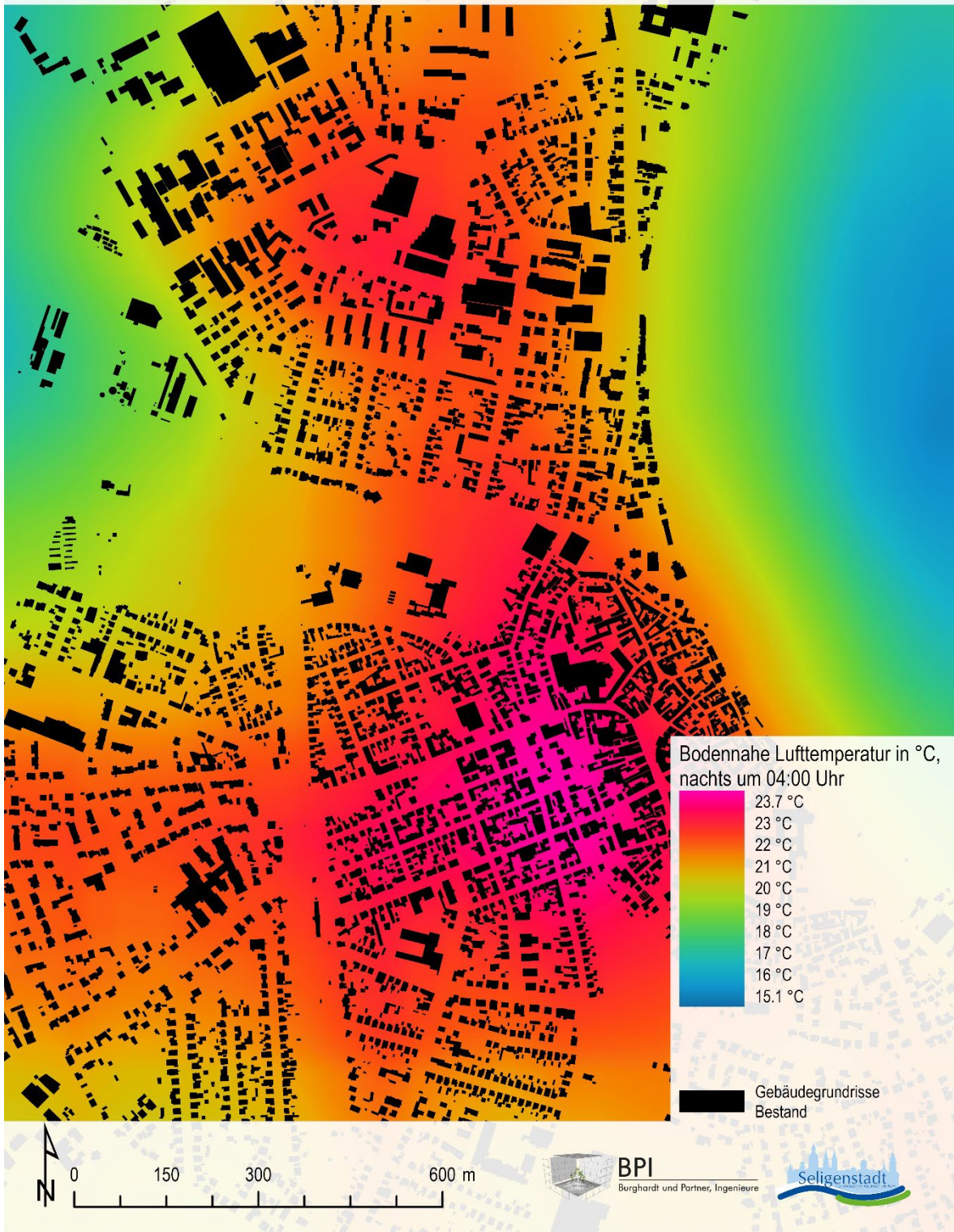


Abbildung 15 Darstellung der Lufttemperatur (bodennah) im Nullfall, nachts um 04:00 Uhr

Ausprägung der städtischen Überwärmung (in °C Lufttemperatur) im Planfall um 04:00 Uhr nachts, bei Annahme eines heißen Sommertages (max. 30 °C) und einer nächtlichen Minimaltemperatur von 15 °C

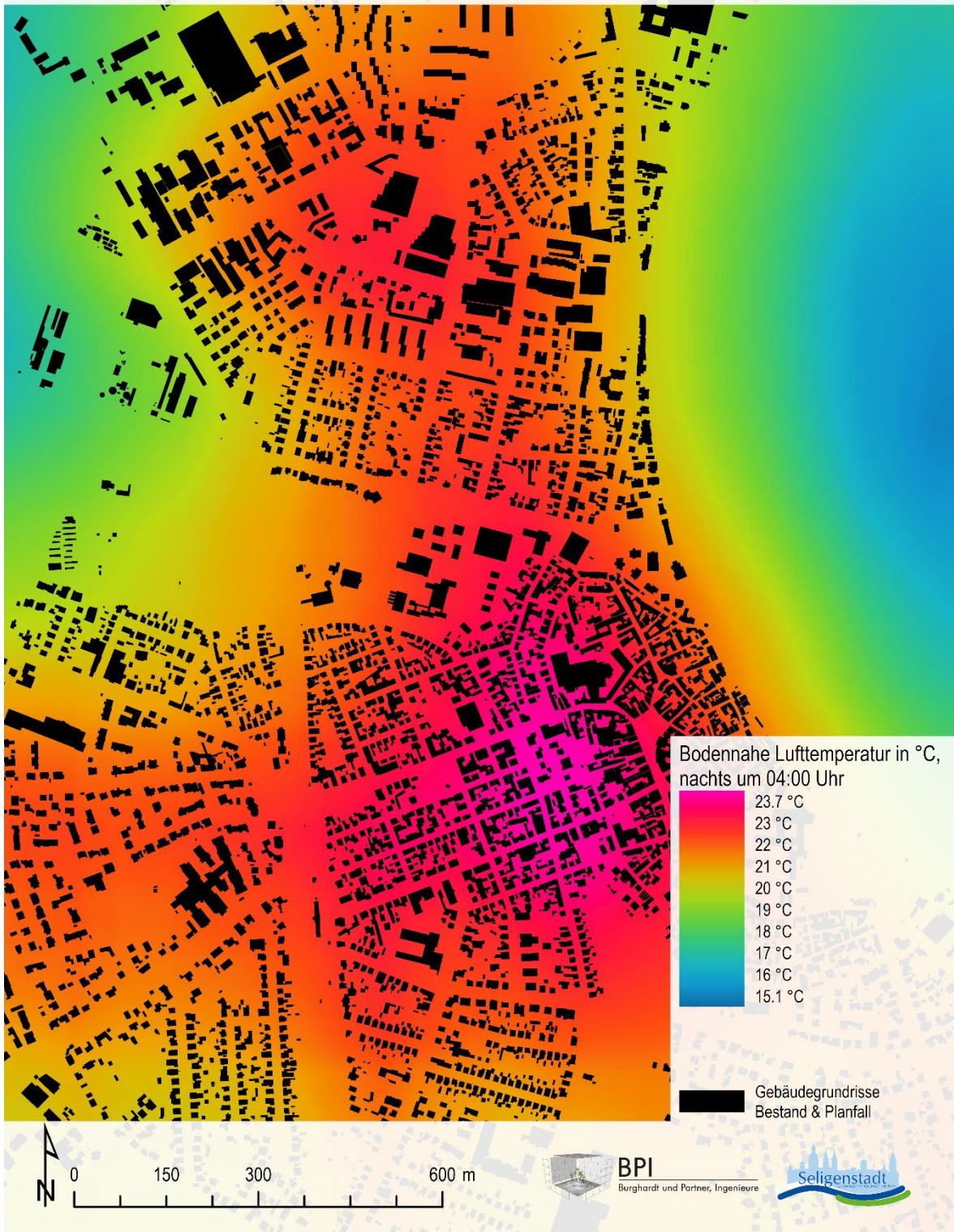


Abbildung 16 Darstellung der Lufttemperatur (bodennah) im Planfall, nachts um 04:00 Uhr

4.2. Wind (Durchlüftung im bodennahen Bereich)

Direkt durch die Topographie und bauliche Gestaltung des urbanen Raums bedingt, handelt es sich beim Wind um einen bedeutenden Einflussfaktor hinsichtlich des thermischen Wohlbefindens des Menschen (vgl. 3.2.2; 3.2.3). Die Durchlüftung des urbanen Raums hat demnach keine unmittelbare Auswirkung auf die tatsächlich vorherrschende Lufttemperatur, bestimmt aber auf mikroklimatischer Ebene, wie diese von den Bewohnern wahrgenommen wird. Aus diesem Grund wird das Windfeld im Folgenden im 3-dimensionalen Raum simuliert, aber nur in Bodennähe betrachtet.

Die Windfeldsimulation des Nullfalls (Abbildung 17) verdeutlicht den Effekt von Freiflächen im Siedlungsraum auf die Durchlüftung, in Form der Zunahme der mittleren (bodennahen) Windgeschwindigkeit. Durch das Ausbleiben von Strömungshindernissen steigt die mittlere bodennahe Windgeschwindigkeit nördlich und nordöstlich des Schulkomplexes leicht an. Der Strömungswiderstand der Baumkronen hat auf den bodennahen Bereich geringere Auswirkungen, wird jedoch bei dichteren Baumgruppen sichtbar und spürbar.

Die geplante Bebauung (Abbildung 18) bedeutet in erster Linie eine Erhöhung der lokalen Strömungswiderstandes. Bei typischer Anströmung aus Südwest zeigt sich jedoch das der Versatz der Gebäude (Bestandsgebäude des Schulkomplexes sowie Gebäude des Planfalls) Durchlüftungskorridore auf dem Planungsraum entstehen lässt, wodurch eine homogene Stagnation / Reduzierung der mittleren bodennahen Windgeschwindigkeit verhindert wird.

In der Differenzbetrachtung (Abbildung 19) zwischen Planfall und Nullfall wird das heterogene Gesamtbild der bodennahen Durchlüftungssituation deutlich. Zum einen entstehen durch die geplanten Gebäude Räume mit einer herabgesetzten Durchlüftung und teils ausgeprägten Windverschattungseffekten (Gebäude westlich der geplanten Sporthalle), zum anderen führt die Umströmung der Sporthalle zu der bereits angesprochenen Steigerung der bodennahen Durchlüftung. Dies wird durch den Freiraum, bedingt durch die von Nord nach Süd verlaufende Straße, unterstützt. Insgesamt zeigt sich eine stärkere Heterogenisierung der mittleren Windgeschwindigkeit im bodennahen Bereich. Dabei bleiben jedoch negative wie positive Effekte räumlich stark begrenzt.

Planungseinschätzung / Planungsempfehlung

Die Berechnung des Windfeldes im 3-dimensionalen Raum hat gezeigt, dass es durch die Einbringung zusätzlicher baulicher Strukturen (Planfall) zu einer Umströmung dieser Hindernisse kommt, bei gleichzeitiger Zunahme der Reibungsverluste. Die Effekte sind jedoch lokal stark begrenzt, was unter anderem auf die Form und Ausrichtung der geplanten Gebäude zurückzuführen ist. Eine für Innenstädte typische Blockrandbebauung hätte bei gleichem Bauvolumen mit hoher Wahrscheinlichkeit einen größeren negativen Effekt auf das Durchlüftungspotential im bodennahen Bereich. Dementsprechend sind die geplanten Gebäude in ihrer „lockeren“ Anordnung einer geschlossenen Riegelverbauung vorzuziehen, da diese die Windsituation stärker beeinträchtigen würde. Im Kontext der Durchlüftung sind keine zwingenden Entwurfsanpassungen erforderlich, jedoch könnte eine „Entzerrung“ des Gebäudeensembles westlich der Sporthalle zu einer lokal besser durchlüfteten Situation beitragen. Möglich wäre die Gebäudestaffelung nach Norden zu strecken, um so die Umströmungssituation zu unterstützen. Eine Reduzierung des Abstands der Gebäude und der Sporthalle sollte vermieden werden.

Mittlere Windgeschwindigkeit im bodennahem (1,7 m ü.G.) Bereich für den Nullfall bei Anströmung aus Südwest (225 °) und einer Anströmgeschwindigkeit von 4 m/s auf 10 m über Grund

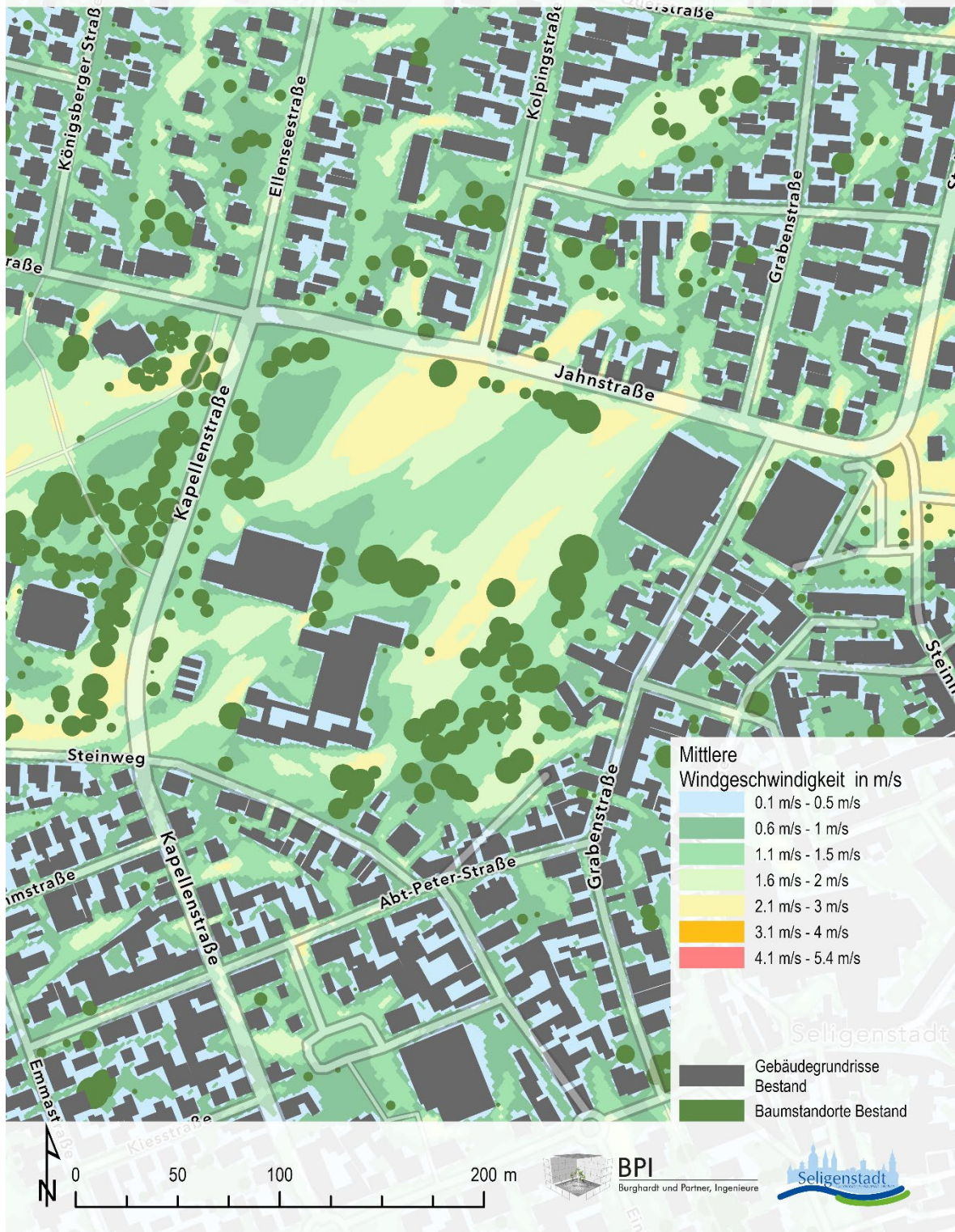


Abbildung 17 Bodennahes Windfeld des Nullfalls bei Anströmung Südwest auf 1,7 m über Grund

Mittlere Windgeschwindigkeit im bodennahem (1,7 m ü.G.) Bereich für den Planfall bei Anströmung aus Südwest (225 °) und einer Anströmgeschwindigkeit von 4 m/s auf 10 m über Grund

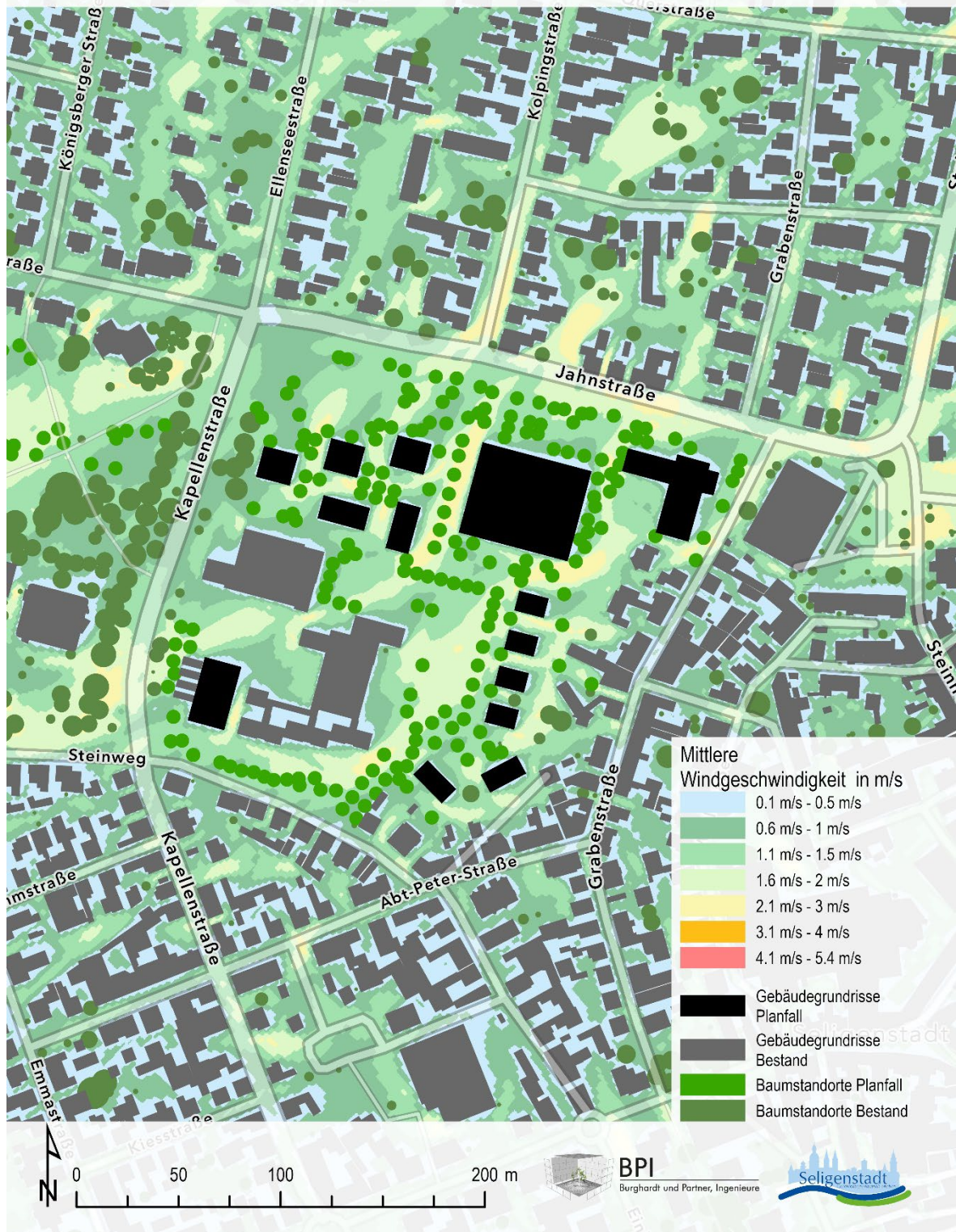


Abbildung 18 Bodennahes Windfeld des Planfalls bei Anströmung aus Südwest auf 1,7 m über Grund

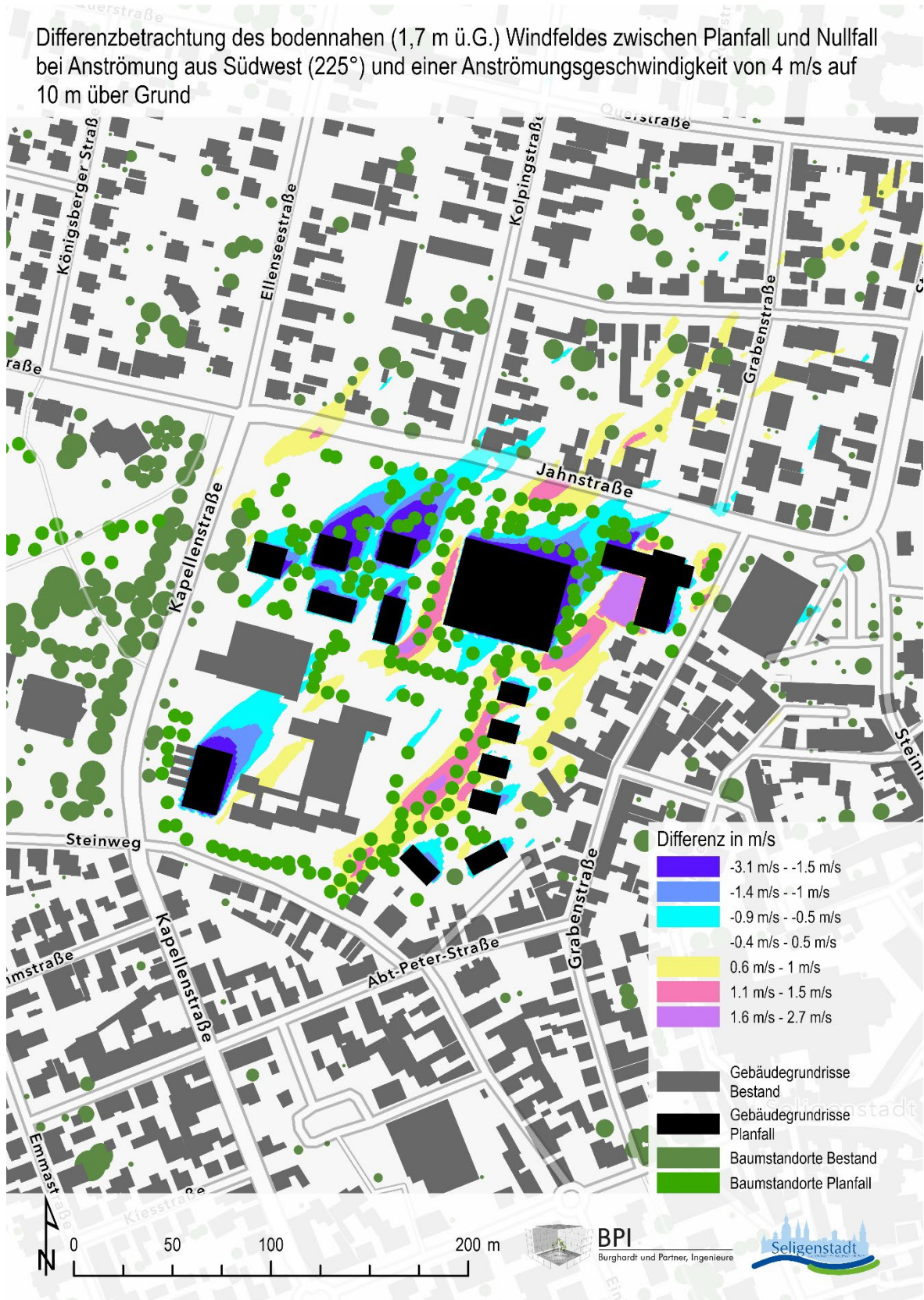


Abbildung 19 Differenzdarstellung des bodennahen Windfeldes zwischen Null- und Planfall bei Anströmung aus Südwest auf 1,7 m über Grund

4.3. Thermischer Komfort

Der Thermische Komfort beschreibt im Nullfall (Abbildung 20) sowie im Planfall (Abbildung 21) das thermische Befinden / die thermische Belastungssituation auf den Menschen. Bei der Berechnung wurde ein heißer Sommertag mit einem Temperaturmaximum von 30 °C sowie einer regionaltypischen Anströmung aus Südwest (225 °) mit 4 m/s auf 10 m ü.G. angenommen.

Die in Abbildung 19 dargestellte Bestandssituation (Nullfall) zeigt die Bedeutung im Zusammenspiel von Oberfläche, Wind und Verschattung auf den thermischen Komfort. So bleibt der PET auf den Grünflächen, trotz teils fehlender Verschattung, aufgrund der besseren Durchlüftung und der Vegetationsschicht auf einem Wert von unter 30 °C PET. Gleichzeitig entstehen auf den Verkehrs- und Aufenthaltsflächen in Kombination durch Versiegelung schlechterer Durchlüftung und fehlender Verschattung klimatische Ungunsträume mit einer teils hohen thermischen Belastung. So können an den Stichprobenpunkten im Nullfall Werte zwischen 25,1 °C PET und 38,4 °C PET ermittelt werden.

Im Planfall (Abbildung 19) führt speziell die in einigen Bereichen reduzierte Durchlüftung im bodennahen Bereich zu einem Anstieg der thermischen Belastungssituation. So steigt der PET im Bereich des Schulhofs, bedingt durch die veränderte Strömungssituation durch den Mensabau, an den Stichprobenpunkten um 0,1 °C PET und um 0,6 °C PET. Gleichzeitig führt die Einbringungen zusätzlicher Bäume im Planungsraum zu einer weiteren Verschattung, und einer Reduzierung der thermischen Belastungssituation. Exemplarisch reduziert sich der PET am Stichprobenpunkt westlich der neu geplanten Sporthalle von 33,1 °C PET auf 27,1 °C PET, was zum einen auf die zusätzliche Verschattung und zum anderen auf die gesteigerte Durchlüftung in diesem Bereich zurückzuführen ist. Durch die Kombination von Gebäudestellung mit geplantem Baumbestand entstehen im Freiraum des westlichen Gebäudeensembles Gunsträume mit nur geringen thermischen Belastungssituationen.

Planungseinschätzung / Planungsempfehlung

Im Kontext des thermischen Komforts können für die Freiräume um die geplanten Gebäude keine planungsrelevanten Ungunsträume identifiziert werden. Der hohe Verschattungsanteil in Kombination mit dem grundsätzlichen Erhalt des Durchlüftungspotentials wirken sich positiv auf die mikroklimatische thermische Belastungssituation aus. Die Berücksichtigung des Planungshinweises in Kapitel 4.2 („Entzerrung der Gebäudestellung“ – d.h. der Planungsraum besitzt eine ausreichende Flächengröße, im Kontext der geplanten Bebauung, um die Gebäudestrukturen in größerer Entfernung zueinander zu platzieren, ohne dass sich zusätzliche mikroklimatische Ungunsträume ergeben.) als optionale Maßnahme stellt keine Beeinträchtigung des thermischen Komforts auf mikroklimatischer Ebene dar.

Vor dem Hintergrund des thermischen Komforts ist die Aufwertung des Schulhofes von klimatisch planerischer Bedeutung, da das geplante Mensagebäude, zwar per se keine flächendeckende Verschlechterung der thermischen Belastungssituation verursacht, jedoch der defizitäre Bereich / Ungunstraum im südöstlichen Bereich der Schulhoffreifläche vergrößert wird. Hier kann der Einsatz von zusätzlichen hochwachsenden Bäumen (2 Stück) oder der Einsatz von temporären (textilen) Verschattungsmaßnahmen in den Sommermonaten eine ausreichende mikroklimatische Entlastung bewirken.

Thermischer Komfort (in °C PET) im bodennahen (1,7 m ü.G.) Bereich für den Nullfall um 16:00 Uhr, bei Annahme eines heißen Sommertages (max. 30 °C) und Anströmung aus Südwest (225°) mit 4 m/s auf 10 m ü.G.

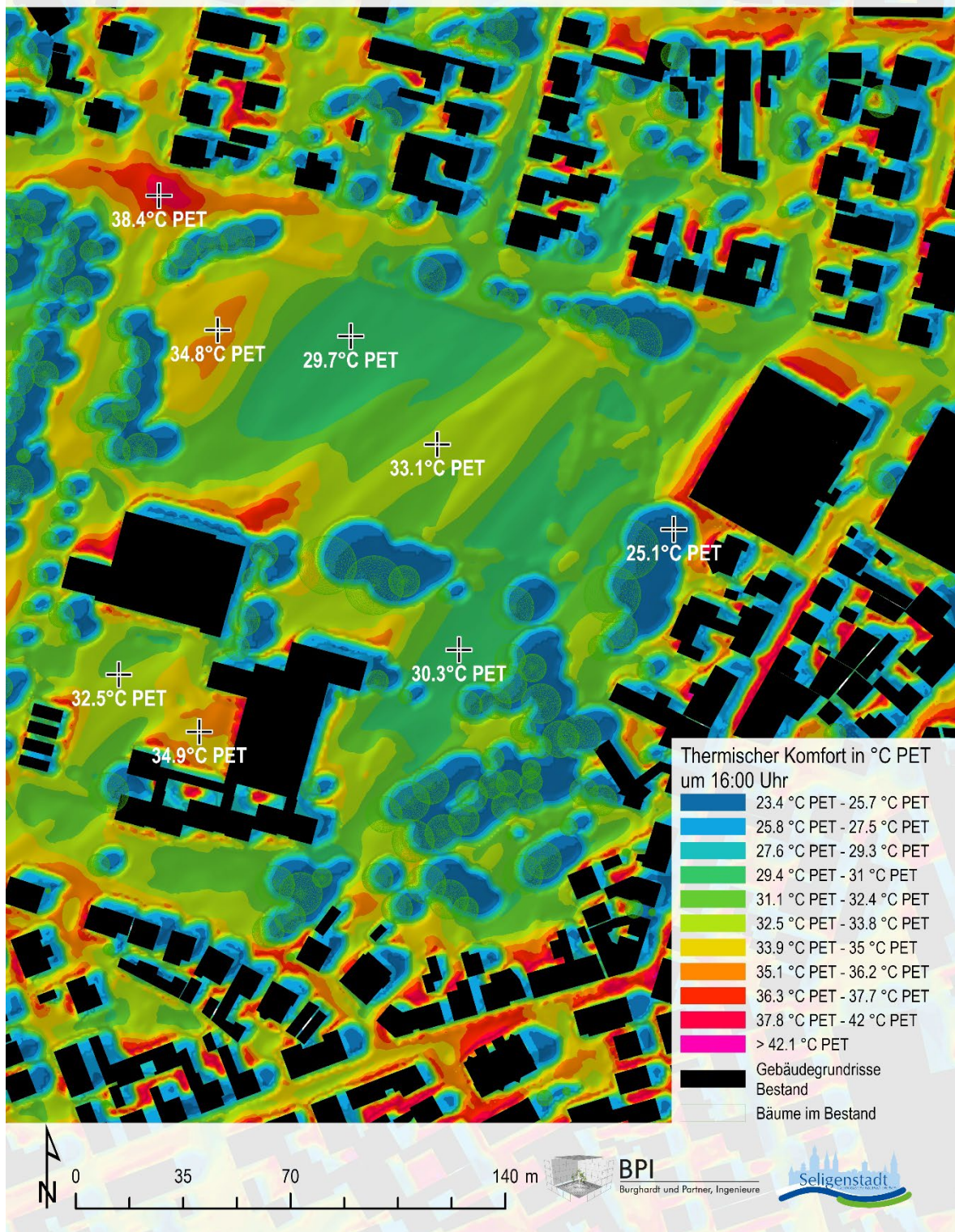


Abbildung 20 Thermischer Komfort (in °C PET) im Nullfall an einen warmen Sommertag um 16:00 Uhr

Thermischer Komfort (in °C PET) im bodennahen (1,7 m ü.G.) Bereich für den Planfall um 16:00 Uhr, bei Annahme eines heißen Sommertages (max. 30 °C) und Anströmung aus Südwest (225°) mit 4 m/s auf 10 m ü.G.

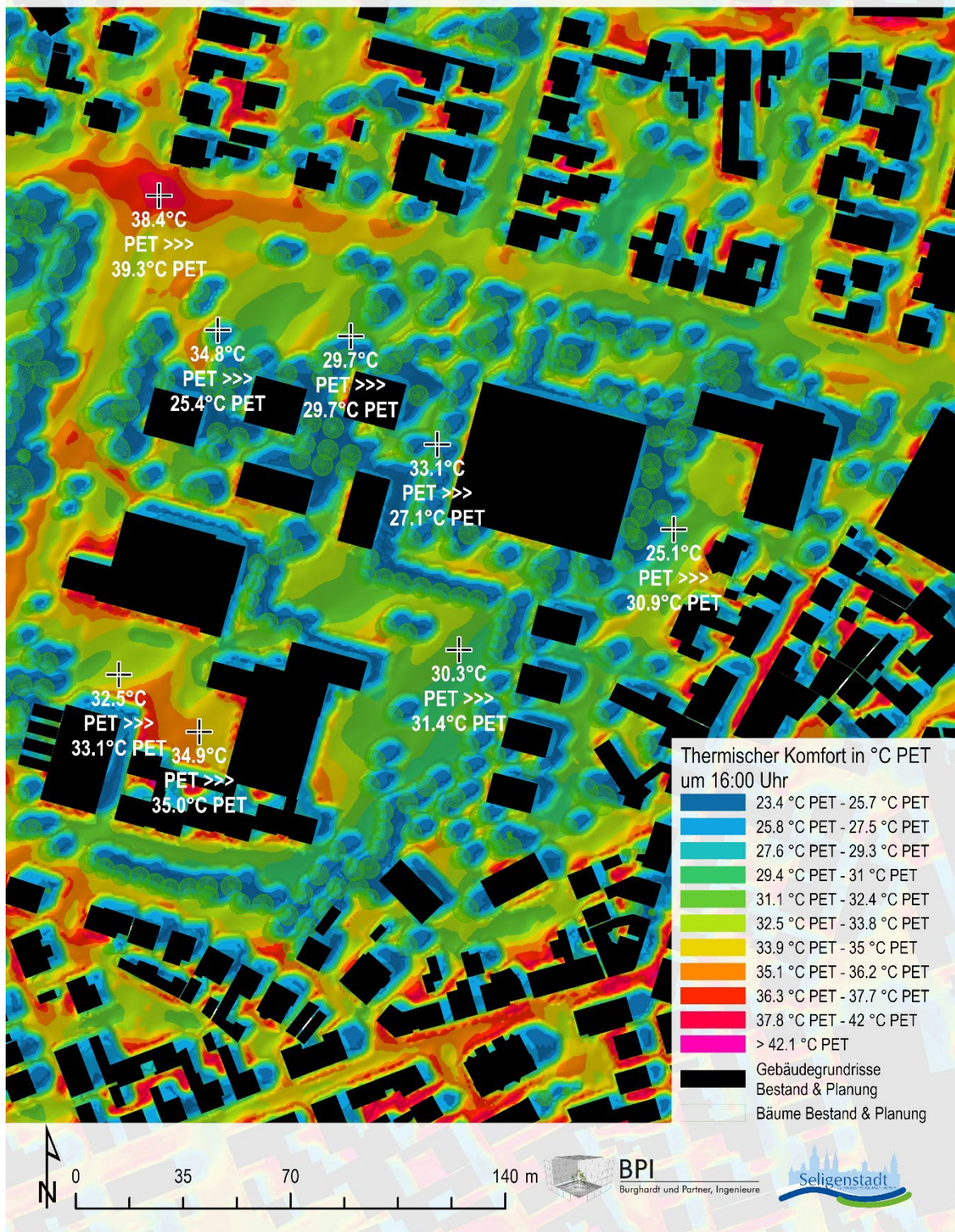


Abbildung 21 Thermischer Komfort (in °C PET) im Planfall an einen warmen Sommertag um 16:00 Uhr

5. Hinweise für die Planung / den Entwurf

Die Schaffung von Räumen mit unterschiedlichen klimatischen Charakteristika wird immer auch durch die geplante bzw. angedachte funktionale Nutzung geprägt. Transit- oder Aufenthaltsraum bestimmen im hohen Maße die klimatischen Ansprüche an den Raum. Gleichzeitig müssen an die primären (und sekundären) klimatischen Rahmenparameter vor Ort angepasste Maßnahmen in Abhängigkeit mit der Nutzung entwickelt werden. So stellen bspw. zusätzliche Bäume oder andere bauliche Maßnahmen in einer bereits schlecht durchlüfteten Straße einen Risikofaktor hinsichtlich der Schadstoffanreicherung der Luft durch Autoabgase dar, und könnten insbesondere aus lufthygienischen Aspekten kontraproduktiv sein. Handelt es sich bei demselben Straßenzug jedoch um einen verkehrsfreien Raum, können Aspekte der Lufthygiene ggf. vernachlässigt werden.

Bei Begrünungsmaßnahmen der Dach- und Fassadenflächen sind grundsätzlich nachfolgende Aspekte zu berücksichtigen, die universell für das Vorhaben bedeutsam sind.

5.1. 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 (siehe Anhang Kapitel 7.1). 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 / Gräsern 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 im Anhang befindlichen Auflistung (Kapitel 7.1) 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.

5.2. Fassadenbegrünung

Fassadenbegrünungsmaßnahmen dienen in erster Linie den Aspekten der Luftreinhaltung (z.B. Filterwirkung von Schwermetallen). Die klimatische Wirksamkeit hinsichtlich des thermischen Komforts im Außenbereich ist räumlich begrenzt, jedoch kann eine intakte und vitale Grünfassade einen Beitrag für die energetische Situation des Gebäudes liefern, da die Vegetationsdecke im Sommer eine isolierende Funktion übernimmt und das Gebäude vor übermäßiger Sonneneinstrahlung schützen kann. Vor dem Hintergrund des zukunftsgerechten und nachhaltigen Umgangs mit Rohstoffen sollten Fassadenbegrünungssysteme möglichst bodengebunden sein und ohne externe Bewässerung auskommen. Sollte eine externe Bewässerung notwendig sein, so ist diese nicht über die Trinkwasserversorgung zu realisieren, sondern z.B. durch die Nutzung von Zisternen umzusetzen. Zusätzlich kann eine gesunde Grünfassade einen Beitrag zur Lufthygiene leisten. Untersuchungen zur Filterwirkung hinsichtlich Schwermetalle bei Grünfassaden haben, insbesondere im bodennahen Raum, eine hohe Filterwirkung nachgewiesen (Thoennessen 2002). Für Gebiete mit hoher Gebäudedichte und starkem Verkehrsaufkommen, wo außerdem Straßenbäume nicht möglich oder nicht sinnvoll sind (z.B. Reduktion Belüftungspotential), kann die Fassadenbegrünung gerade im belebten Niveau der Straße zu einer Reduktion der Luftschadstoffbelastung beitragen.

Die **bodengebundene Begrünung** einer Fassade setzt eine direkte Verbindung zum Erdreich oder einen /mehrere Pflanzbehälter voraus, in dem die Pflanzen wurzeln können. Für diese Art der Begrünung sind stark rankende Pflanzen notwendig. Klassisch finden unterschiedliche Arten des Efeus oder des Weins Verwendung.

Tabelle 2 Beispiele von geeigneten Kletterpflanzen für bodengebundene Begrünung.

Pflanzenart	Charakteristika	Höhe in 4 Jahren
Chinesischer Blauregen <i>Wisteria sinensis</i>	- schnell wachsend - sehr guter Wuchs über die gesamte Höhe - starke Befestigungen nötig	10 m
Kolomikta Strahlengriffel <i>Actinidia kolomikta</i>	- langsam wachsend - empfindlich bei Trockenheit	3 m
Große Trompetenblume <i>Campsis tagliabuana</i>	- moderat wachsend bei geschütztem Stand - attraktive Blüten	4-5 m
Walddreben <i>Clematis paniculata</i> <i>Clematis orientalis</i> <i>Clematis tangutica</i>	- langsam wachsend - empfindlich bei Insekten - professionelle Pflege	3 m
Kletter Hortensie <i>Hydrangea petiolaris</i>	- langsam wachsend - attraktive Pflanze - professionelle Pflege	3 m
Rostrote Weinrebe <i>Vitis coignetiae</i>	- langsam wachsend - attraktive Früchte - Führungselemente für den Stamm	3 m
<i>Hedera helix</i>	- ausladend - giftig	5 m
<i>Parthenocissus quinquefolia</i>	- Halt durch Haftscheiben - Haupttriebe können 10 cm Durchmesser erreichen - schnell wachsend	6 m
<i>Parthenocissus tricuspidata</i> "Veitchii"	- Haftplättchen - anspruchslos & pflegeleicht	4 m

Bei der **fassadengebundenen Begrünung** handelt es sich um ein Pflanzsystem, das dauerhaft mit der Fassade verankert wird. Meistens sind Pflanzcontainer über die gesamte Höhe der Grünfassade verteilt, wodurch kein Wurzelraum auf Straßenniveau benötigt wird. Ebenso kann eine Vielzahl von Pflanzen verwendet werden. Eine starke rankende Eigenschaft wie bei der bodengebundenen Begrünung ist nicht zwingend erforderlich. Die erhöhte Artenzahl fördert die Biodiversität (bei Pflanzen und Tieren). Das System der fassadengebundenen Begrünung erfordert allerdings ein höheres Maß an Pflege und technischer Wartung. Zudem liegen die Investitionskosten wesentlich höher als bei einer bodengebundenen Begrünung. Anforderungen an die Planung, Ausführung und Pflege von Fassadenbegrünungen werden beispielsweise in der FLL-Fassadenbegrünungsrichtlinie (2018) und dem Forschungsbericht Wandgebundene Begrünungen (2015) der Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL) beschrieben.

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 Materialexpertise 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

6. Zusammenfassung

Im Rahmen des vorliegenden klimatischen Gutachtens liegt das Planvorhaben zum Bebauungsplan Nr.87 „Alter Stadtwaag“ in Seligenstadt im Fokus. Dabei wurden die Aspekte des städtischen Wärmeinseleffektes, der Durchlüftung während einer sommertypischen Schwachwindsituation sowie der thermische Komfort im Bestand (Nullfall) und im zukünftigen Planfall simuliert und analysiert, um diese abschließend unter zu Hilfenahme von Differenzbetrachtungen zwischen Nullfall und Planfall zu bewerten.

Da der Berücksichtigung der bestehenden bzw. geplanten Vegetation eine u.a. hohe klimatische Bedeutung zukommt, wurden alle Vegetationsstrukturen im gesamten Untersuchungsraum erfasst und in den Simulationen und Analysen berücksichtigt. Vor dem Hintergrund der klimatischen Wechselwirkungen und Wirkradien von klimatisch relevanten Einflussgrößen wurde eine Fläche von insgesamt 2,4 km x 2,4 km um den Geltungsbereich des Bebauungsplan Nr.87 „Alter Stadtwaag“ herum als Untersuchungsraum definiert und für die Untersuchungen herangezogen.

Die Ergebnisse der detaillierten Betrachtungen zu den Themen Lufttemperatur (städtische Wärmeinseleffekt), Durchlüftung während einer sommerlichen Schwachwindsituation sowie des thermischen Komforts um 16:00 Uhr nachmittags zeigen alle individuellen heterogenen Ausprägungen und Charakteristika auf. Dabei zeigt sich jedoch, dass alle berechneten Auswirkungen lokal begrenzt sind, was einerseits darauf zurückzuführen ist, dass es sich zum einen um einen räumlich „begrenzten“ (240 m x 150 m) Planfall handelt und zum anderen, dass im Planfall ein hohes Grünvolumen und ein hoher Freiflächenanteil mit einer geringen baulichen Dichte kombiniert werden.

Einzig aufgrund der Offenheit des Geländes im aktuellen Bestand (Nullfall) wäre im Vorfeld der Untersuchung eine weitreichendere Beeinflussung des bodennahen Windfeldes zu erwarten gewesen. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die größten Veränderungen zwischen Planfall und Nullfall im Kontext der Durchlüftung sowie in der Ausprägung des thermischen Komforts zu finden sind. Als klimatisch planungsrelevant wurde die Schulhofsituation identifiziert. Durch die verringerte Durchlüftung (zurückzuführen auf den geplanten Mensa Bau) sind zusätzliche Verschattungsmaßnahmen notwendig, um die gestiegene thermische Belastungssituation zu kompensieren. Planungsrelevante Auswirkungen auf den städtischen Wärmeinseleffekt sind hingegen nicht zu identifizieren.

In der Gesamtbetrachtung handelt es sich im Planfall um einen Eintrag von Baumassen im urbanen Raum. Gleichzeitig wird der Wegfall der Freiflächenvegetation im Zuge der Planungen durch Dachbegrünungsmaßnahmen sowie durch die Erhöhung des Grünvolumens in Form von Bäumen kompensiert. Durch die bereits im Planfall berücksichtigte Verwendung einer Dachvegetation, kann der Eintrag / die Absorption von Energie über die Gebäudedachflächen reduziert werden. Sicherzustellen ist jedoch, dass die Dachvegetation entsprechend dem vermehrten Auftreten von Sommer- und heißen Tagen in Kombination mit längeren Trockenperioden ausreichend dimensioniert ist. Eine externe Bewässerung über das Trinkwassernetz sollte vor dem Hintergrund der Nachhaltigkeit nicht geplant werden.

Entsprechend des vorliegenden Gutachtens ist im Planfall und unter Berücksichtigung der Planungsempfehlungen nicht von einer planungsrelevanten Verschlechterung der klimatischen Gesamtsituation im näheren und weiteren Bereich, um den Geltungsbereich des Bebauungsplan Nr.87 „Alter Stadtwaag“ zu erwarten.

7. Anhang

7.1. Pflanzenliste (Dachbegrünung)

Mit Verweis auf die Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL): 2018 - Dachbegrünungsrichtlinien - Richtlinien für Planung, Bau, Instandhaltung von Dachbegrünungen erfordert eine Pflanzplanung eine separate vorhabenbezogene Fachplanung zur Abstimmung von Arten, baulichen und vegetationstechnischen Voraussetzungen und der Pflege.

Hochwachsende Arten auf 10 cm Substratschicht

Geeignete Begrünungsart gemäß geforderter Aufbaudicke: Sedum-Moos-Kraut- bzw. max. Sedum-Kraut-Gras-Begrünung auf Extensivdach (Tabelle 3; FLL Dachbegrünungsrichtlinie 2018);

Bezüglich Blattmasse und Wuchshöhe wird eine Sedum-Kraut-Gras- Begrünung präferiert. Ggf. ist eine Prüfung, in Abhängigkeit der baustatischen Situation, auf die Möglichkeit einer einfachen Intensivbegrünung durchzuführen, da diese eine klimatisch höhere Leistungsfähigkeit und einen höheren Artenerehalt aufweist.

Zusätzlich wird die Einbringung flach wachsender, „Lücken“ schließender sowie trockenheitsangepasster Vegetationsformen wie Kräuter z.B. Thymian empfohlen. Die Auswahl der Arten basiert auf Ihrem Minimalanspruch bzgl. der Substratdicke. Daher kann eine spätere Bestandsumbildung (nach mehreren Jahren) nicht ausgeschlossen werden.

Tabelle 3 Hochwachsende Arten auf mind. 10 cm Substratschicht

Name	Max. ca. Wuchshöhe in cm	Blüte
<i>Achillea millefolium</i>	50	Weiß
<i>Anthemis tinctori</i>	60	Gelb
<i>Centaurea scabiosa</i>	90	Violett
<i>Corydalis lutea</i>	40	Gelb
<i>Euphorbia cyparissias</i>	30	Gelb
<i>Inula ensifolia</i>	40	Gelb
<i>Iris tectorum</i>	45	Violett
<i>Leucanthemum vulgare</i>	60	Weiß
<i>Sanguisorba minor</i>	40	Rot
<i>Thymus vulgaris</i>	40	Rosa
Gräser		
<i>Festuca cinerea</i>	60	
<i>Carex flacca</i>	60	
<i>Melica ciliata</i>	60	
<i>Stipa tenuissima</i>	70	
<i>Festuca valesiaca</i>	30	

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 4 Hochwachsende Arten auf mind. 15 cm Substratschicht (zzgl. Arten ab 10 cm entsprechend Tabelle 3)

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 5 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

7.2. 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 Heizzschicht der Atmosphäre als Energiequelle für alle atmosphärischen Bewegungsvorgänge.
Aerosole	Aerosole sind (meteorologisch gesehen) Bestandteile von Beimengungen der Atmosphäre. Sie beteiligen sich wesentlich am luftchemischen Wirkungskomplex und spielen bei Strahlungsprozessen (Absorption, Streuung, Extinktion) eine wichtige Rolle.
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.
Bioklima	Gesamtheit aller atmosphärischen Einflussgrößen auf den menschlichen Organismus. Entsprechend ihrer Ausprägung und Wirkung werden sie als belastend, schonend oder als Reiz empfunden.
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 ≥ 30 °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 ≥ 25 °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 ≥ 20 °C beträgt
Urbaner Raum*	Stadtgebiet; Zweidimensionale Vorstellung einer Stadt — im Vergleich zum Stadt- raum
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>)

7.3. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Lage des Planungsraums (Markierung) in der Stadt Seligenstadt.....	6
Abbildung 2 Übersichtsbild zum weiteren Untersuchungsraum (rote Markierung) sowie zum Planungsraum (Geltungsbereich des B-Plans).....	7
Abbildung 3 Falschfarben Nahinfrarotausschnitt zur Erfassung des urbanen Durchgrünungsanteils (links), sowie Darstellung von Vegetationshöhen (> 5 m) auf Grundlage des Digitalen Oberflächenmodells (DOM) (rechts)	8
Abbildung 4 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)	9
Abbildung 5 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).....	9
Abbildung 6 Windrose mit Darstellung der Windrichtung in Abhängigkeit von der Häufigkeit des Auftretens (Prozentskala) für die Sommermonate Juni, Juli, August im langjährigen Mittel von 2004 bis 2020 für die DWD Station Kahl/Main 02480. Darstellung der Tagessituation.....	10
Abbildung 7 Übersichtsbild der aktuellen Bestandssituation (Nullfall) mit Geltungsbereich des Bebauungsplan Nr. 87 „Alter Stadtwaag“ (roter Rahmen) in Seligenstadt.....	11
Abbildung 8 Zeichnerische Festsetzung des Bebauungsplan Nr. 87 „Alter Stadtwaag“ (Stand 07/2021) als Grundlage für die 3D-Modellierung des Planfalls.	12
Abbildung 9 Planfall des Bebauungsplans Nr. 87 "Alter Stadtwaag" 3D modelliert mit geplanter Mensa (orange) und geplanter Bebauung (rot) sowie mit Besatz von Bäumen (in Anlehnung an das Städtebauliche Konzept)	13
Abbildung 10 Städtebauliches Konzept für das Areal des B-Plans Nr. 87 sowie die westlich anschließende Freifläche („Bleiche“) (Stand 12/2019).....	14
Abbildung 11 Schematische Darstellung unterschiedlicher temperaturrelevanter Faktoren und Effekte im urbanen Raum, die zur Ausprägung der städtischen Wärmeinsel beitragen (DWD 2022)	16
Abbildung 12 Der thermische Wirkkomplex des Menschen (ergänzt nach VDI 3787, 2008).....	17
Abbildung 13 Darstellung des typischen Wertebereiches des thermischen Komforts	18
Abbildung 14 Vertikales Windprofil über dem Stadtkern, dem Stadtrand dem freien Land (Robel et al., 1978)	18
Abbildung 15 Darstellung der Lufttemperatur (bodennah) im Nullfall, nachts um 04:00 Uhr.....	21
Abbildung 16 Darstellung der Lufttemperatur (bodennah) im Planfall, nachts um 04:00 Uhr	22
Abbildung 17 Bodennahes Windfeld des Nullfalls bei Anströmung Südwest auf 1,7 m über Grund.....	24
Abbildung 18 Bodennahes Windfeld des Planfalls bei Anströmung aus Südwest auf 1,7 m über Grund	25
Abbildung 19 Differenzdarstellung des bodennahen Windfeldes zwischen Null- und Planfall bei Anströmung aus Südwest auf 1,7 m über Grund	26
Abbildung 20 Thermischer Komfort (in °C PET) im Nullfall an einen warmen Sommertag um 16:00 Uhr	28
Abbildung 21 Thermischer Komfort (in °C PET) im Planfall an einen warmen Sommertag um 16:00 Uhr.....	29

7.4. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Verwendete Simulationsparameter im Rahmen der Analysen zur Lufttemperatur, der Durchlüftung (Wind) sowie des Thermischen Komfort.....	19
--	----

Tabelle 2 Beispiele von geeigneten Kletterpflanzen für bodengebundene Begrünung.....	31
Tabelle 3 Hochwachsende Arten auf mind. 10 cm Substratschicht	35
Tabelle 4 Hochwachsende Arten auf mind. 15 cm Substratschicht (zzgl. Arten ab 10 cm entsprechend Tabelle 3)	36
Tabelle 5 Gehölzarten für eine einfache Intensivbegrünung	36

7.5. 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/stadtpl/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

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

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