

**KLIMAÖKOLOGISCHES
GUTACHTEN
ZUM BEBAUUNGSPLAN
NR.69-01/3 „STEINE“,
AALEN**

Anlage 9



Auftraggeber:

Stadtverwaltung Aalen

Markplatz 30
73430 Aalen

Auftragnehmer:



GEO-NET Umweltconsulting GmbH

Große Pfahlstraße 5a
30161 Hannover

Tel. (0511) 3887200

FAX (0511) 3887201

www.geo-net.de

In Zusammenarbeit mit:

Prof. Dr. G. Gross
Anerkannt beratender Meteorologe (DMG),
Öffentlich bestellter Gutachter für Immissionsfragen und
Kleinklima der IHK Hannover-Hildesheim

Hannover, April 2026, Rev.02



Inhaltsverzeichnis	2
Abbildungsverzeichnis.....	3
Tabellenverzeichnis.....	5
1. Aufgabenstellung und Einleitung	6
1.1 Untersuchungsgebiet und Bebauungsplan 69-01/3.....	8
1.2 Bewertungskarte zum Stadtklima der Stadt Aalen	11
2. Methode	12
2.1. Datengrundlage und Modellrechnung	12
2.2. Synoptische Rahmenbedingungen	15
2.3. Standardisierung des Parameters Kaltluftvolumenstrom	15
2.4. Entwicklung verschiedener meteorologischer Parameter unter dem Einfluss des Klimawandels	17
3. Ergebnisse	26
3.1 Ergebnisse Kaltlufthaushalt.....	26
3.1.2 Kaltluftströmungsfeld.....	30
3.1.3 Kaltluftvolumenstrom	34
3.2 Physiologisch Äquivalente Temperatur.....	39
4. Fazit	44
5. Zur Weiterentwicklung des städtebaulichen Konzeptes	45
5.1. Stand September 2023.....	45
5.2. Stand Dezember 2025	47
6. Planungshinweise.....	49
7. Literatur	52
8. Glossar	53



Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1: Prozessorientierte Analyse bei einer austauscharmen Hochdruckwetterlage	7
Abb. 1.2: Luftbildausschnitt mit überlagertem Stadtplan der Stadt Aalen und grün hervorgehobenem Plangebiet 69-01/3 (Datenquelle: Geodatenportal Stadt Aalen; LGL, www.lgl-bw.de).....	8
Abb. 1.3: Geländehöhe aus dem digitalen Geländemodell für das betrachtete Untersuchungsgebiet.	9
Abb. 1.4: Städtebaulicher Entwurf zum Bebauungsplan „Steine“ (Quelle: Project GmbH, 17.11.2022).	10
Abb. 1.5: Auszug aus der Planungshinweiskarte aus der Stadtklimaanalyse 2018 der Stadt Aalen.	11
Abb. 2.1: Vereinfachte Darstellung der Eingangsdatenaufbereitung durch Rasterung von Geodaten am Beispiel von Gebäudekörpern.	13
Abb. 2.2: Darstellung der für die Modellierung des Untersuchungsgebietes vergebenen Nutzungsklassen.	14
Abb. 2.3: Beurteilung des Wertenniveaus des Kaltluftvolumenstroms anhand der Abweichung von den mittleren Verhältnissen im Untersuchungsgebiet.	16
Abb. 2.4: Anthropogener Strahlungsantrieb der verschiedenen IPCC-Klimaszenarien (die schwarze Linie repräsentiert Messwerte; Cubasch et al. 2013)	18
Abb. 2.5: Zeitlicher Verlauf der jährlichen mittleren Lufttemperatur in Baden-Württemberg als Abweichung zum Vieljährigen Mittel (1971-2000) von 1881 bis heute und als zukünftige Projektion des jeweiligen RCP-Szenarios (Quelle: DWD, Deutscher Klimaatlas).	19
Abb. 2.6: Zeitlicher Verlauf der jährlich in Baden-Württemberg auftretenden Anzahl „Sommertage“ ($T_{\text{Luft}} > 25^{\circ}\text{C}$) als Abweichung zum Vieljährigen Mittel (1971-2000) von 1881 bis heute und als zukünftige Projektion des jeweiligen RCP-Szenarios (Quelle: DWD, Deutscher Klimaatlas).	20
Abb. 2.7: Zeitlicher Verlauf der jährlich in Baden-Württemberg auftretenden Anzahl „heiße Tage“ ($T_{\text{Luft}} > 30^{\circ}\text{C}$) als Abweichung zum Vieljährigen Mittel (1971-2000) von 1881 bis heute und als zukünftige Projektion des jeweiligen RCP-Szenarios (Quelle: DWD, Deutscher Klimaatlas).	21
Abb. 2.8: Zeitlicher Verlauf der jährlich in Baden-Württemberg auftretenden Anzahl „Tropennächte“ ($T_{\text{Luft}} > 20^{\circ}\text{C}$ nachts) als Abweichung zum Vieljährigen Mittel (1971-2000) von 1881 bis heute und als zukünftige Projektion des jeweiligen RCP-Szenarios (Quelle: DWD, Deutscher Klimaatlas).	22
Abb. 2.9: Zeitlicher Verlauf der jährlich in Baden-Württemberg auftretenden Niederschlagsmengen als Abweichung zum Vieljährigen Mittel (1971-2000) von 1881 bis heute und als zukünftige Projektion des jeweiligen RCP-Szenarios (Quelle: DWD, Deutscher Klimaatlas).	23
Abb. 2.10: Zeitlicher Verlauf der saisonal in Baden-Württemberg auftretenden Niederschlagsmengen als Abweichung zum Vieljährigen Mittel (1971-2000) von 1881 bis heute und als zukünftige Projektion des RCP4.5-Szenarios (Quelle: DWD, Deutscher Klimaatlas).	24
Abb. 3.1: Nächtliches Temperaturfeld zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens für den Istzustand (oben), den Planfall (mittig) und als Differenzenfeld zwischen Plan- und Istzustand (unten).	29
Abb. 3.2: Prinzipskizze Flurwind (Quelle: DWD)	30
Abb. 3.3: Bodennahes Windfeld zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens für den Istzustand (oben), den Planfall (mittig) und als Differenzenfeld zwischen Plan- und Istzustand (unten).	33



Abb. 3.4: Prinzipskizze Kaltluftvolumenstrom	34
Abb. 3.5: Kaltluftvolumenstromdichte und bodennahes Strömungsfeld zum Zeitpunkt 04Uhr morgens für den Istzustand (oben), den Planfall (mittig) und der relativen Differenz der KVSD zwischen Plan- und Istzustand (unten).	37
Abb. 3.6: Ausprägung der Kaltluftvolumenstromdichte als Abweichung von den mittleren Verhältnissen im Untersuchungsraum und bodennahes Strömungsfeld zum Zeitpunkt 04Uhr morgens für den Istzustand (oben), den Planfall (mittig) und der relativen Differenz des Kaltluftvolumensstroms zwischen Plan- und Istzustand (unten).	38
Abb. 3.7: Physiologisch äquivalente Temperatur (PET) zum Zeitpunkt 14 Uhr für den Istzustand, den Planfall und als Differenzenfeld zwischen Plan- und Istzustand.	42
Abb. 5.1.1: Aktualisierter städtebaulicher Entwurf zum Bebauungsplan „Steine“ (Quelle: Project GmbH, 29.09.2023) mit farblich hervorgehobenen, von Anpassungen betroffenen Gebieten „1“ bis „4“	46
Abb. 5.2.1: Aktualisierter städtebaulicher Entwurf zum Bebauungsplan „Steine“ (Quelle: Stadtplanungsamt Aalen, 10.12.2025) mit farblicher Hervorhebung der von Anpassungen betroffenen Gebiete.	47



Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Zuordnung von Schwellenwerten für den Bewertungsindex PET während der Tagesstunden (nach VDI-RL 3787)	39
--	----



1. Aufgabenstellung und Einleitung

Das Wohlbefinden und die Gesundheit der Menschen sind nicht zuletzt abhängig von den meteorologischen Verhältnissen in ihrem Lebensumfeld. Dabei wirkt sich die Gestaltung dieses Lebensumfeldes, also vornehmlich die des Siedlungsraumes, direkt auf die in ihm auftretenden Wärme- und Luftbelastungen aus. Klimatische und lufthygienische Aspekte sind somit durch den Menschen beeinflussbar und daher feste Bestandteile der räumlichen Planung. Das Schutzgut „Klima“ ist ein wichtiger Aspekt der räumlichen Planung und vor dem Hintergrund konkurrierender Planungsziele sind flächenbezogene Fachinformationen ein wichtiges Hilfsmittel zu dessen sachgerechter Beurteilung. Aus der Kenntnis des in einer Stadt vorherrschenden Lokalklimas, der dadurch mitbestimmten lufthygienischen Situation und den klimatischen Funktionszusammenhängen lassen sich Schutz- und Entwicklungsmaßnahmen ableiten, die der Erhaltung günstiger bioklimatischer Verhältnisse dienen bzw. auf eine Verbesserung des Stadtklimas in ungünstig bewerteten Teilräumen abzielen. Um diesen Leitgedanken langfristig verfolgen zu können, ist es zudem erforderlich, die Auswirkungen des Klimawandels zu berücksichtigen.

Mit dem *Gesetz zur Förderung des Klimaschutzes bei der Entwicklung in den Städten und Gemeinden* im Jahr 2011 sind die Belange von Klimaschutz und Klimaanpassung in der Bauleitplanung gestärkt (Novellierung des Baugesetzbuchs (BauGB)) und nun ausdrücklich zu einer Aufgabe der Bauleitplanung nach § 1 (5) BauGB erklärt worden: „Die Bauleitpläne sollen [...] dazu beitragen, eine menschenwürdige Umwelt zu sichern, die natürlichen Lebensgrundlagen zu schützen und zu entwickeln sowie den **Klimaschutz und die Klimaanpassung**, insbesondere auch in der Stadtentwicklung, zu fördern [...].“ Zusätzlich heißt es in § 1a (5) BauGB: „Den Erfordernissen des Klimaschutzes soll sowohl durch Maßnahmen, die dem **Klimawandel** entgegenwirken, als auch durch solche, die der **Anpassung an den Klimawandel** dienen, Rechnung getragen werden.“

Im Auftrag der Stadt Aalen wurde vom Büro GEO-NET Umweltconsulting GmbH in Kooperation mit Prof. Dr. G. Groß (Universität Hannover) eine modellgestützte Analyse zu den klimaökologischen Auswirkungen der im Rahmen des Bebauungsplans Nr. 69-01/3, „Steine“, vorgesehenen Flächennutzungsänderungen durchgeführt. Für die planerische Berücksichtigung der Schutzgüter Klima und Luft ist es bedeutsam, sich auf eine differenzierte Bewertung der kleinräumig variablen klimatischen Bedingungen einschließlich ihrer komplexen Wechselwirkungen stützen zu können. Die zu klärenden Fragen, die im Mittelpunkt der Untersuchung stehen, beziehen sich auf das nähere Umfeld des geplanten Bauvorhabens:

- Welche Belüftungssituation liegt in der Umgebung der Vorhabenfläche vor?
- Wie ist die bioklimatische Situation zu beurteilen, auch mit Blick auf den Klimawandel?
- Wie wird sich das Bebauungsvorhaben voraussichtlich auf die klimaökologische Situation, besonders im Hinblick auf die Luftaustauschprozesse, auswirken?

Diese Studie soll klimaökologische Rahmendaten in einer hohen räumlichen Auflösung liefern, um eine sachgerechte Beurteilung der Schutzgüter Klima/Luft innerhalb des Planungsprozesses zu gewährleisten. Dabei wird das Hauptaugenmerk auf die Beeinflussung des Kaltlufthaushaltes innerhalb des Planungsgeländes sowie dessen Auswirkungen auf die Umgebung gelegt. Ausgangspunkt für die Ermittlung dieser Zusammenhänge ist eine austauscharme, sommerliche Hochdruckwetterlage, die häufig mit einer überdurchschnittlich hohen Wärmebelastung in den Siedlungsräumen sowie lufthygienischen Belastungen einhergeht. Während bei einer windstarken „Normallage“ der Siedlungsraum gut durchlüftet wird und eine Überwärmung kaum

gegeben ist, stellt die windschwache Hochdruckwetterlage mit wolkenlosem Himmel im Sommer eine „Worst Case“-Betrachtung dar.

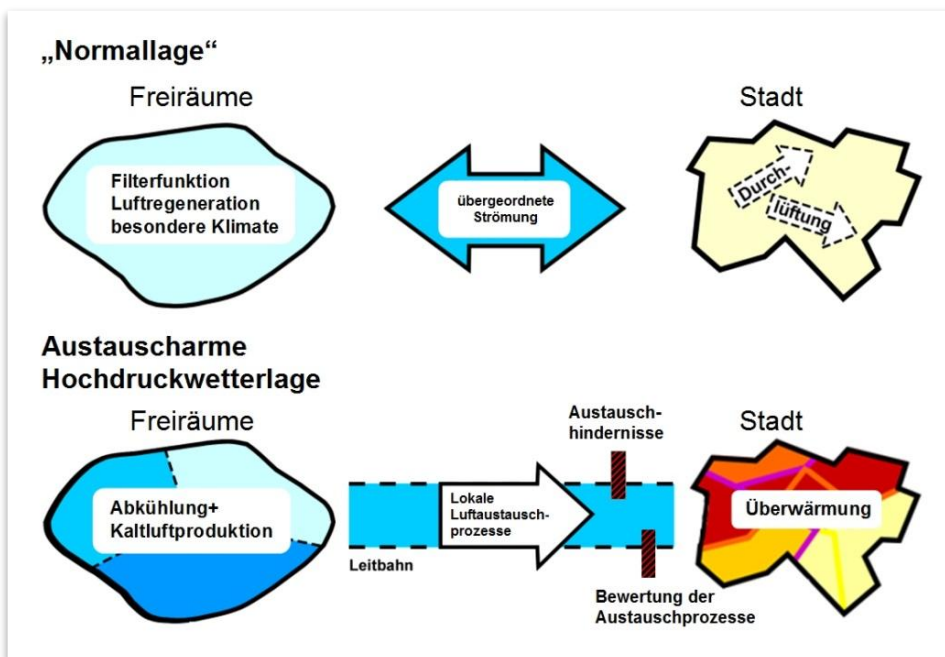


Abb. 1.1: Prozessorientierte Analyse bei einer austauscharmen Hochdruckwetterlage

Diese Wetterlage wird wegen der belastenden Wirkung auf die Gesundheit des Menschen unter besonderer Beachtung von Älteren, Kranken und Kindern zur Beurteilung der bioklimatischen Situation gemäß VDI-RL 3785 Blatt 1 herangezogen. Die Nachtsituation ist dahingehend von Relevanz, da nur dann unter den windschwachen Bedingungen eine im Vergleich zu Siedlungsflächen intensivere Abkühlung auf Freiflächen mit Vegetation erfolgt. Dabei entstehen je nach Größe unterschiedliche Mengen an Kaltluft, welche als lokale Strömungssysteme Kalt-/Frischlufte für den Siedlungsbereich liefern und dort die Wärmebelastung während sommerlicher Hitzeperioden abmildern können. Dargestellt wird eine windschwache, austauscharme sommerliche Wettersituation für die Monate Juli / August. Aus der Planungshinweiskarte im Rahmen des Stadtklimakonzeptes 2018 der Stadt Aalen geht hervor, dass der überplante Bereich als Grünfläche mit hoher bioklimatischer Bedeutung ausgewiesen ist und angrenzende Siedlungsflächen überwiegend eine günstige bioklimatische Situation (s. **Kapitel 1.2**) aufweisen.

1.1 Untersuchungsgebiet und Bebauungsplan 69-01/3

Der Geltungsbereich des Planvorhabens „Steine“ umfasst ein ca. 5,7 ha großes Areal im Stadtbezirks Fachsenfeld (**Abb. 1.2**). Das Plangebiet befindet sich innerhalb der Scherrenbergstraße und der Waiblinger Straße und grenzt im Westen an das Wohngebiet Schlossäcker. Südlich des Plangebietes befindet sich der Schlossgarten zum Schloss Fachsenfeld mit einer großen und zusammenhängend begrünten Parkanlage. Die im Untersuchungsgebiet liegenden Ortschaften Fachsenfeld und Waiblingen sind überwiegend geprägt durch Einfamilien- oder Reihenhäuser mit anliegenden Gartengrundstücken, sowie vereinzelt Gewerbeflächen. Um die Ortschaften herum erstrecken sich überwiegend landwirtschaftlich genutzte Flächen und Freiflächen, die teilweise mit Bäumen oder Baumgruppen durchgrünt sind.



Abb. 1.2: Luftbildausschnitt mit überlagertem Stadtplan der Stadt Aalen und grün hervorgehobenem Plangebiet 69-01/3 (Datenquelle: Geodatenportal Stadt Aalen; LGL, www.lgl-bw.de)

Das Untersuchungsgebiet ist durch ein recht ausgeprägtes Gelände gekennzeichnet (**Abb. 1.3**). Die höchsten Bereiche mit mehr als 470m umfassen den Großteil des südwestlichen Untersuchungsgebietes und fallen nach Norden und Osten auf unter 400m ab. Auf einer Luftlinie von 1km zwischen Plangebiet und Waiblingen fällt das Gelände von etwa 470m auf 390 m ab, das einer durchschnittlichen Hangneigung von etwa 8% entspricht. Im Plangebiet selbst beträgt die Hangneigung auf einer Länge von etwa 290m und einem Anstieg von etwa 11m von Ost nach West im Mittel etwa 3,8%.

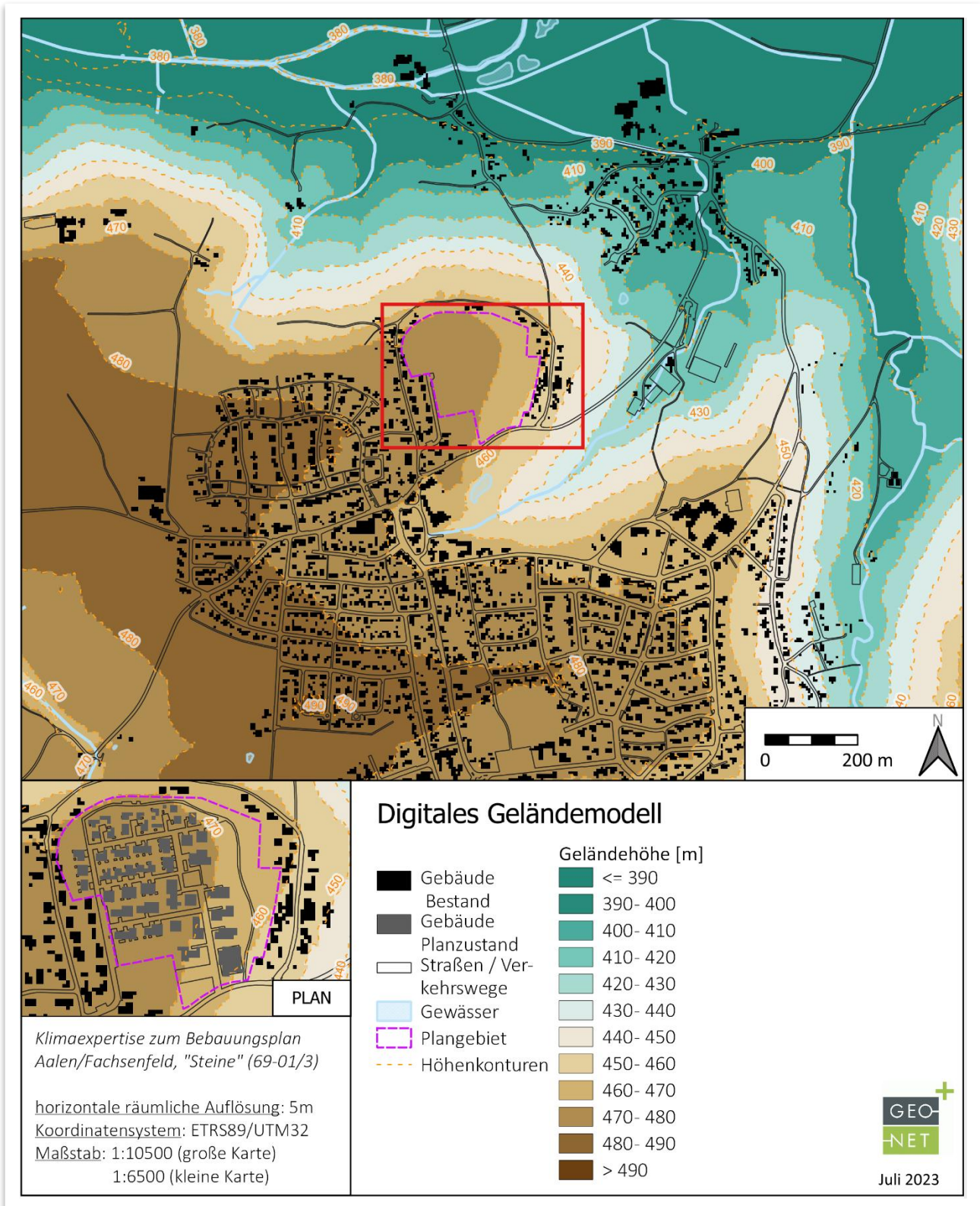


Abb. 1.3: Geländehöhe aus dem digitalen Geländemodell für das betrachtete Untersuchungsgebiet.

Die städtebauliche Strukturierung zur geplanten Nutzung des Bebauungsplans „Steine“ zeigt **Abb. 1.4**. Im zukünftigen Wohnquartier sind verschiedene Haus- und Wohnformen geplant, die neben Einfamilien-, Doppel- und Reihenhäuser ebenso Geschossbauten und Seniorenwohnen vorsieht. Die Wohnhäuser sind mit Höhen zwischen 6 und 12m entsprechend 2 bis 3 Stockwerken, teilweise mit Dachgeschoss, konzipiert. Außerdem ist ein zweigeschossiges Parkdeck mit Photovoltaikanlagen auf dem Dach im Süden des Planareals



vorgesehen. Das Plangebiet soll über einen um das Quartier führenden, begrünten Panoramaweg sowie begrünte Verkehrswege und eine größere Grünfläche mit Spielplätzen im Osten verfügen.



Abb. 1.4: Städtebaulicher Entwurf zum Bebauungsplan „Steine“ (Quelle: Project GmbH, 17.11.2022).

1.2 Bewertungskarte zum Stadtklima der Stadt Aalen

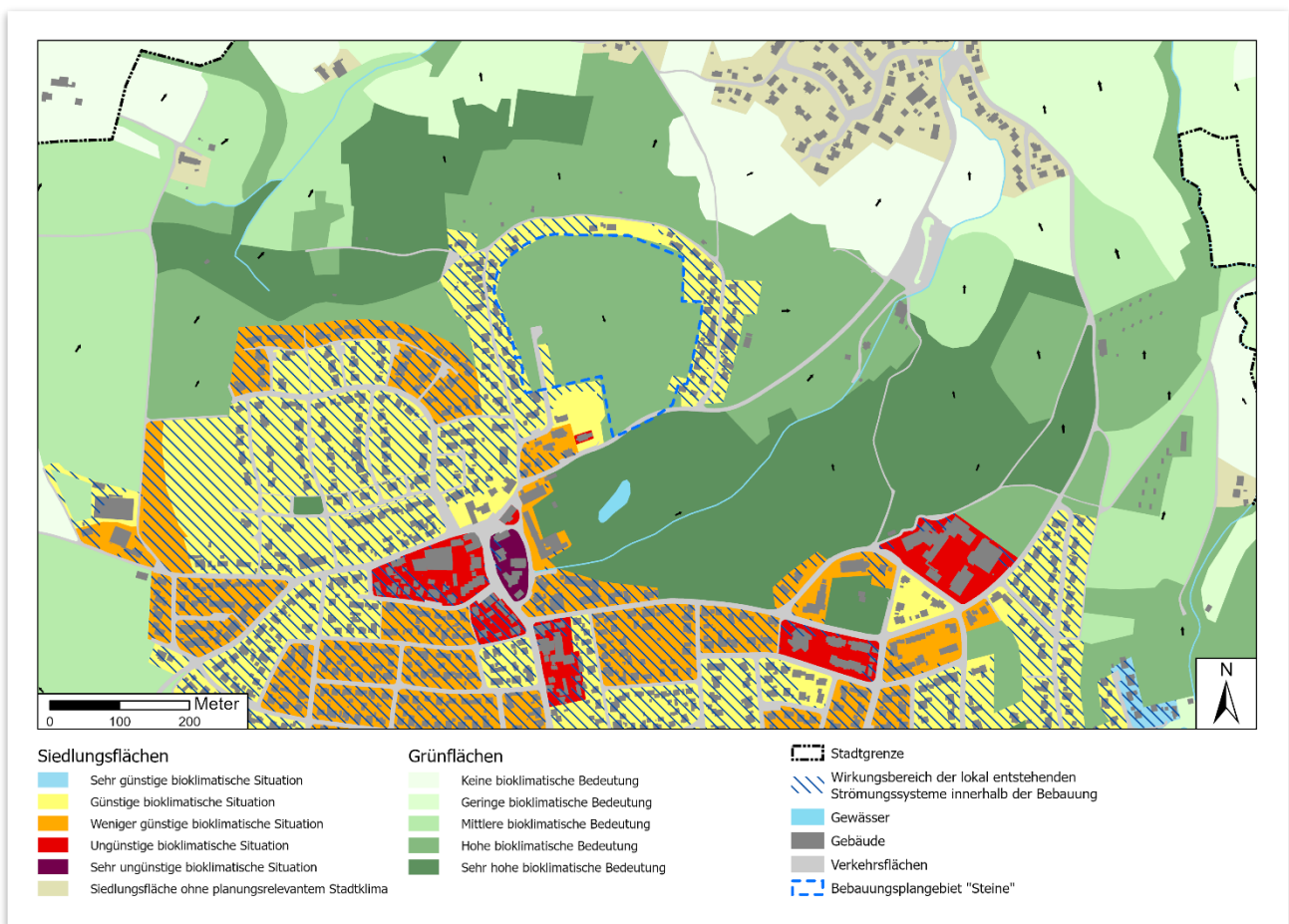


Abb. 1.5: Auszug aus der Planungshinweiskarte aus der Stadtklimaanalyse 2018 der Stadt Aalen.

Das Plangebiet in Fachsenfeld wird in der Bewertungskarte Stadtklima im Rahmen des Klimaschutzkonzeptes „Klimagerechtes Flächenmanagement“ der Stadt Aalen (GEO-NET 2018) als Grünfläche mit hoher bioklimatischer Bedeutung ausgewiesen (**Abb. 1.5**). Dabei wurden anhand von Kaltluftabflüssen und der Entfernung zu belasteten Siedlungsräumen die Klassifizierung der Grünflächen abgeleitet. An das Plangebiet angrenzend befinden sich Siedlungsflächen mit günstiger bioklimatischer Situation, sowie südlich gelegene Grünflächen mit sehr hoher bioklimatischer Bedeutung. Eine Kaltluftleitbahn befindet sich nicht im Untersuchungsgebiet des Planvorhabens, da sich das Gebiet selbst auf einer Anhöhe befindet und nicht in einem Abflussbereich liegt. Inwieweit sich bioklimatische Auswirkungen im Umfeld des B-Plangebietes ergeben, wurde mittels Modellrechnungen ermittelt und wird in Kapitel 3 näher betrachtet.



2. Methode

2.1. Datengrundlage und Modellrechnung

Die Modellrechnungen wurden mit dem Strömungs- und Klimamodell FITNAH durchgeführt. Bei einem numerischen Modell wie FITNAH müssen zur Festlegung und Bearbeitung einer Aufgabenstellung eine Reihe von Eingangsdaten zur Verfügung stehen. Nutzungsstruktur (**Abb. 2.1**) und Geländehöhe (**Abb. 1.3**) sind wichtige Eingangsdaten für die Windfeldmodellierung, da über die Oberflächengestalt, die Höhe der jeweiligen Nutzungsstrukturen sowie deren Versiegelungsgrad das Strömungs- und Temperaturfeld entscheidend beeinflusst wird.

Die Aufbereitung der Modelleingangsdaten erfolgte auf Basis aktueller Geodaten, die durch die Stadtverwaltung Aalen, Amt für Vermessung, Liegenschaften und Bauverwaltung, bereitgestellt wurden. Eine wichtige Modelleingangsgröße stellt dabei die Höhe der Baukörper und der Vegetation dar, welche einen maßgeblichen Einfluss auf das lokale Windfeld ausüben. Die vorliegenden Daten wurden anhand eines Luftbildes visuell geprüft und gegebenenfalls aktualisiert oder korrigiert. Der derzeitige Istzustand wurde um ein Planszenario mit umgesetzter Nutzungsänderung ergänzt. Dafür wurde vom Auftraggeber das städtebauliche Konzept¹ (**Abb. 1.4**), mit den jeweiligen Gebäudestandorten und -höhen, als auch Angaben zur Vegetation, zum Planvorhaben „Steine“ zur Verfügung gestellt. Bei einer horizontalen räumlichen Auflösung von 5m x 5m erfolgte die Einordnung der im Untersuchungsgebiet liegenden Rasterzellen anhand der vorliegenden Daten und mittels festgelegter Kriterien in die entsprechenden Nutzungskategorien mit den entsprechenden Strukturhöhen. Hierbei wird beispielsweise der Flächenanteil ermittelt, welche die jeweilige Nutzungskategorie (z.B. ein Gebäude) innerhalb der Rasterzelle einnimmt. Wird ein Schwellwert (z.B. 50%) überschritten, erhält die Rasterzelle die entsprechende Nutzungskategorie und die zugehörige Strukturhöhe zugewiesen (**Abb. 2.1**). Die so erfolgte Rasterung der Daten (**Abb. 2.2**) soll es einerseits ermöglichen Hindernisstrukturen weitestgehend realitätsnah zu erfassen und so den Einfluss insbesondere auf die nächtliche Strömung abzubilden, als auch den Einfluss auf den Wärmehaushalt durch die jeweiligen thermischen Eigenschaften der Nutzungskategorie zu berücksichtigen.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Klimasimulation erläutert, wobei die folgenden Abbildungen eine windschwache Sommernacht als „Worst-Case“-Situation repräsentieren.

¹ Stand zum Zeitpunkt der Datenaufbereitung: November 2022, mit nachrichtlich überarbeiteter Version vom 01.06.2023 mit folgenden Änderungen: Parkdeck im südöstlichen Plangebiet hinzugekommen, Quartiersplatz mit naturfernem Boden, zusätzliches Dachgeschoss für die GWB im südöstlichen Plangebiet.



Bericht

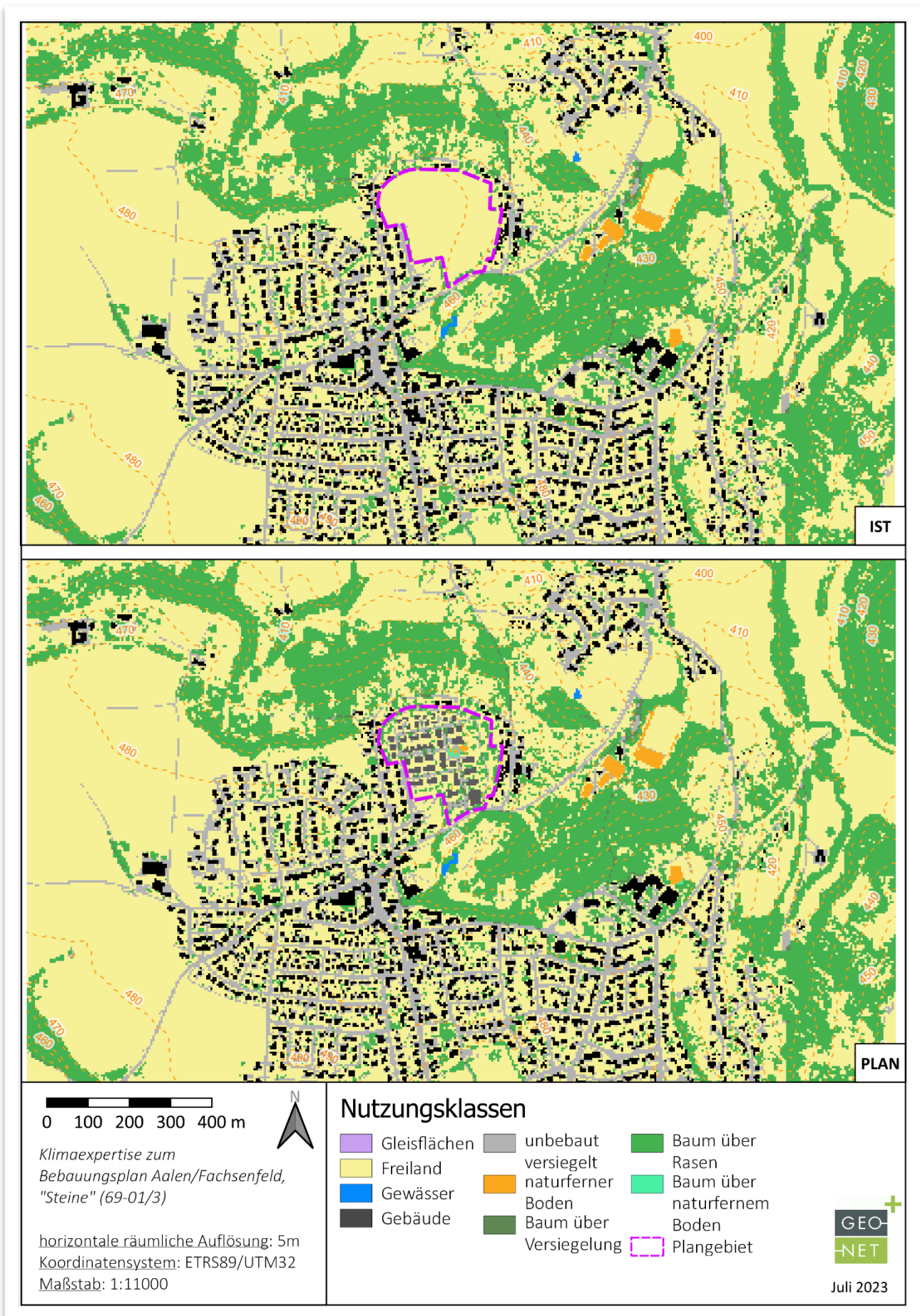


Abb. 2.2: Darstellung der für die Modellierung des Untersuchungsgebietes vergebenen Nutzungsklassen.



2.2. Synoptische Rahmenbedingungen

Während sogenannter autochthoner („eigenbürtiger“) Wetterlagen können sich die lokalklimatischen Besonderheiten in einer Stadt besonders gut ausprägen, da es nur eine geringe „übergeordnete“ Windströmung gibt. Eine solche Wetterlage wird durch wolkenlosen Himmel und einen nur sehr schwachen überlagernden synoptischen Wind gekennzeichnet. Bei den hier durchgeführten numerischen Simulationen werden die großräumigen Rahmenbedingungen entsprechend festgelegt:

- Bedeckungsgrad 0/8,
- Kein überlagernder geostrophischer Wind,
- Relative Feuchte der Luftmasse 50%.

Die vergleichsweise geringen Windgeschwindigkeiten bei einer austauscharmen Wetterlage bedingen einen herabgesetzten Luftaustausch in der bodennahen Luftschicht. Bei gleichzeitiger Wärmebelastung in den Siedlungsflächen können sich lokal bioklimatische und lufthygienische Belastungsräume ausbilden. Diese Wetter-situation stellt damit ein „Worst-Case“-Szenario dar. Charakteristisch für diese (Hochdruck-) Wetterlage ist die Entstehung eigenbürtiger Kaltluftströmungen (Flurwinde), die durch den Temperaturgradienten zwischen kühlen Freiflächen und wärmeren Siedlungsräumen angetrieben werden und zu einem Abbau der Belastungen beitragen.

2.3. Standardisierung des Parameters Kaltluftvolumenstrom

Für die qualitative Bewertung von Klimafaktoren bedarf es eines begründeten, nachvollziehbaren Maßstabes, aufgrund welcher Kriterien eine Klassifizierung in Kategorien wie „Hoch“ und „Niedrig“ oder „Günstig“ und „Ungünstig“ erfolgt ist. In der VDI-Richtlinie 3785 Blatt 1 (VDI 2008) wird daher vorgeschlagen, für eine Beurteilung das lokale oder regionale Wertenniveau einer Klimaanalyse zugrunde zu legen und die Abweichung eines Klimaparameters von den mittleren Verhältnissen im Untersuchungsraum als Bewertungsmaßstab heranzuziehen.

Wünschenswert wäre zudem, die Beurteilungskriterien sowohl mit der Ausprägung zusätzlich modellierter Variablen als auch mit den Ergebnissen anderer Untersuchungen vergleichen zu können. Um eine solche Vergleichbarkeit herzustellen, werden der Parameter Kaltluftvolumenstrom über eine z-Transformation standardisiert². Bei einer z-Transformation wird das arithmetische Gebietsmittel des Parameters zunächst gleich Null gesetzt, anschließend werden die Originalmaßeinheiten der um dieses Gebietsmittel streuenden Werte in Vielfache der Standardabweichung umgerechnet. Hieraus ergeben sich vier Bewertungskategorien, deren Abgrenzung durch den Mittelwert Null sowie die einfache positive und negative Standardabweichung von diesem Mittelwert festgelegt ist (s. **Abb. 2.3**).

² Rechnerisch wird dabei von jedem Ausgangswert der Variablen das arithmetische Gebietsmittel abgezogen und durch die Standardabweichung aller Werte geteilt

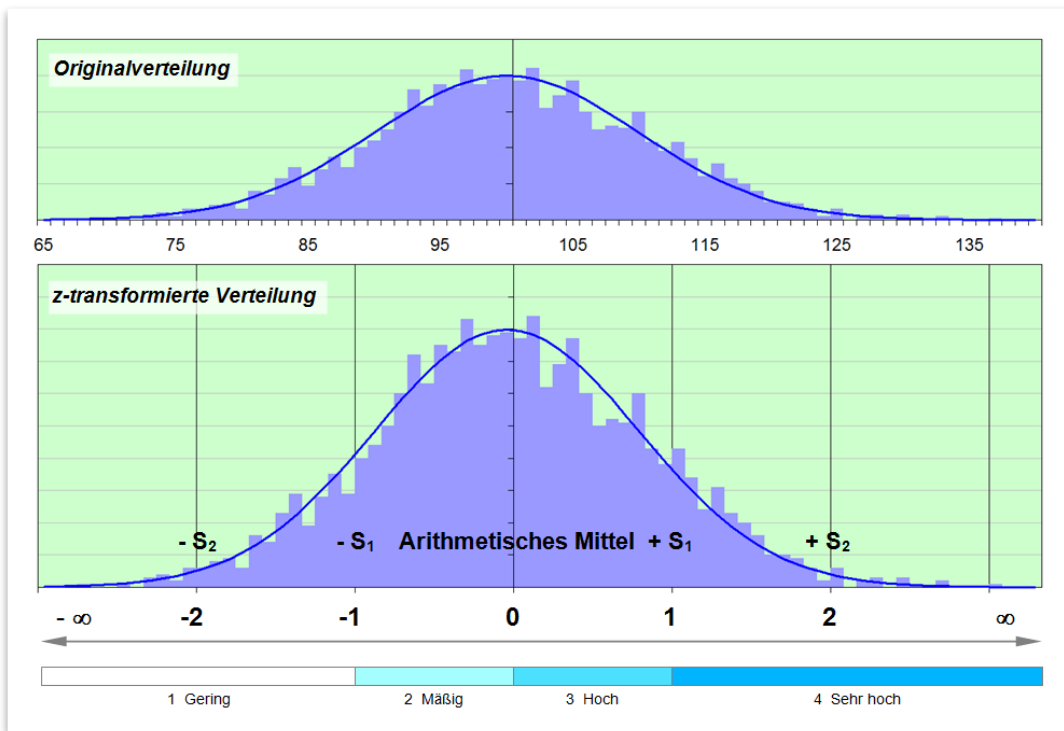


Abb. 2.3: Beurteilung des Werteniveaus des Kaltluftvolumenstroms anhand der Abweichung von den mittleren Verhältnissen im Untersuchungsgebiet.



2.4. Entwicklung verschiedener meteorologischer Parameter unter dem Einfluss des Klimawandels

Mit numerischen Klimamodellen kann das zukünftige Klima unter der Annahme verschiedener Emissionsszenarien simuliert und analysiert werden. Wie alle Modelle sind Klimamodelle keine Abbilder der Wirklichkeit und somit nicht „perfekt“. Die Ergebnisse von Klimamodellen beinhalten daher einen gewissen Anteil an Modellunsicherheit, der aus der Struktur des Modells, den verwendeten Techniken zur Modellierung der Atmosphärenphysik und der Parametrisierung bestimmter Prozesse resultiert. Aus diesem Grund ist es vorteilhaft, nicht nur die Simulationsergebnisse eines Modells, sondern mehrerer Modelle zu verwenden, ein sogenanntes Modellensemble.

Der DWD stellt die Ergebnisse solcher Ensemble-Rechnungen im „*Deutschen Klimaatlas*“ zur Verfügung (vgl. DWD 2022). Damit sollen die klimatischen Trends und Schwankungen in Deutschland und die Auswirkungen des globalen Klimawandels verdeutlicht, als auch regionale Unterschiede innerhalb Deutschlands aufgezeigt werden. Die Ensembles umfassen hierbei bis zu 21 Regionale Klimamodelle. Der Klimaatlas weist Daten für ganz Deutschland als auch auf Länderebene mit einer zeitlichen Auflösung von einem Monat bis zu einem Jahr aus und wird laufend aktualisiert. Die Ergebnisse aus den Ensembles werden als Modellvariabilität betrachtet. Für die Zukunftsprojektionen der Klimaparameter kann daher kein konkreter Wert angegeben werden. Stattdessen wird die Spannweite, der sich aus den Ensemble-Rechnungen ergebenden Ergebnisse und der Bereich zwischen den statistisch ermittelten Werten des 15. und 85. Perzentils aus den Ensemble-Ergebnissen im zeitlichen Verlauf betrachtet.

RCP-Szenarien

Hauptverantwortlich für den Anstieg der globalen Mitteltemperaturen sind anthropogen bedingte CO₂-Emissionen. Da heute noch nicht absehbar ist, wie sich die CO₂-Emissionen zukünftig entwickeln, werden diese in Klimamodellen in Form von Szenarien mit unterschiedlicher CO₂-Entwicklung über die Zeit berücksichtigt, die bis zum Ende des Jahrhunderts einen bestimmten Strahlungsantrieb hervorrufen. Für Europa stehen aktuell drei verschiedene Klimaszenarien zur Verfügung: RCP 2.6, 4.5 und 8.5 (RCP = Representative Concentration Pathways), die seit dem fünften IPCC-Bericht die SRES-Szenarien abgelöst haben (Special Report on Emissions Scenarios). Die Zahl in der Bezeichnung der Szenarien benennt den mittleren Strahlungsantrieb in W/m², der in ihrem projizierten Verlauf zum Ende des 21. Jahrhunderts erreicht wird (Moss et al. 2010; Abb. 2.4):

- Das RCP-Szenario 2.6 beschreibt einen Anstieg des anthropogenen Strahlungsantriebes bis zum Jahr 2040 auf ca. 3 W/m². Zum Ende des Jahrhunderts sinkt dieser langsam, aber stetig auf 2,6 W/m² ab. Die globale Mitteltemperatur würde in diesem Szenario das 2 °C-Ziel nicht überschreiten, sodass RCP 2.6 als „Klimaschutzszenario“ bezeichnet wird.
- RCP 4.5 zeigt einen steilen Anstieg des anthropogenen Strahlungsantriebes bis etwa zur Mitte des 21. Jahrhunderts, der danach bis ca. 2075 nur noch geringfügig steigt und in der Folge stagniert.
- Das RCP-Szenario 8.5 weist den stärksten Anstieg des Strahlungsantriebes auf, der sich bis zum Ende des Jahrhunderts nicht abschwächt und eine Zunahme der globalen Mitteltemperatur um ca. 4,8 °C gegenüber dem Zeitraum 1985 – 2005 bewirken würde. Das RCP 8.5 wird auch als „Weiter wie bisher-Szenario“ bezeichnet.

Die weltweiten CO₂-Emissionen verzeichnen seit den 1950er-Jahren einen permanenten Anstieg. Aktuell befinden wir uns, nach den Ergebnissen des Global Carbon Projektes, mit den globalen CO₂-Emissionen auf dem „Pfad“ des RCP-Szenarios 8.5 (Boden 2017, Peters et al. 2013). Selbst ein abrupter weltweiter Rückgang des CO₂-Ausstoßes würde, aufgrund der Trägheit des Klimasystems, in Kürze keine signifikante Änderung herbeiführen.

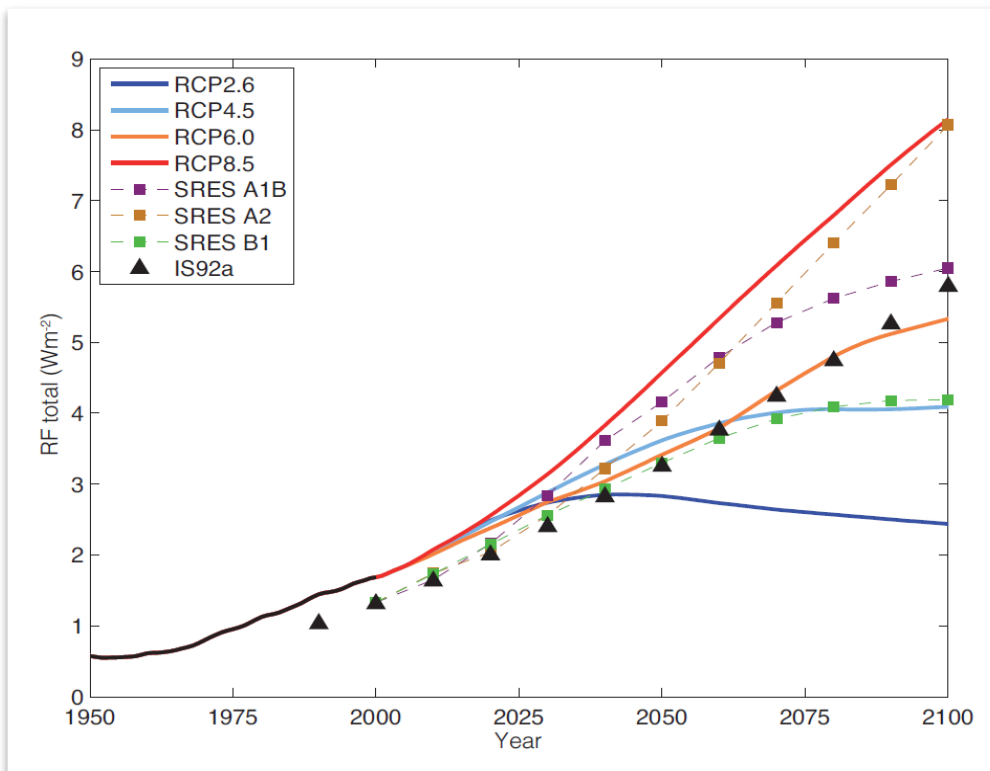


Abb. 2.4: Anthropogener Strahlungsantrieb der verschiedenen IPCC-Klimaszenarien (die schwarze Linie repräsentiert Messwerte; Cubasch et al. 2013)

Entwicklung der Jahresmitteltemperatur

Abb. 2.5 zeigt den zeitlichen Verlauf der jährlichen mittleren Lufttemperatur in Baden-Württemberg als Abweichung zum Vieljährigen Mittel (1971-2000) von 1881 bis zum Kalenderjahr 2021 und als zukünftige Projektion des jeweiligen RCP-Szenarios. Die Bandbreite zwischen dem 15. und 85. Perzentil des Modellensembles kann als Erwartungswert interpretiert werden. Besonders ab den 1980er Jahren überwiegen die positiven Abweichungen und kennzeichnen eine deutliche Zunahme der mittleren Jahrestemperatur bis 2021. Die RCP-Szenarien 4.5 und 8.5 projizieren ein weiteres deutliches Ansteigen der Jahresmitteltemperatur in Baden-Württemberg bis zum Jahr 2100, am stärksten fällt der Temperaturanstieg gegenüber dem vieljährigen Mittel insbesondere im RCP-Szenario 8.5 aus. Im RCP-Szenario 2.6 wird ein moderater Temperaturanstieg und ungefähr ab 2040 eine Stagnation erwartet, da sich dann die positiven Auswirkungen der im RCP 2.6 angenommenen globalen Klimaschutzmaßnahmen bemerkbar machen.

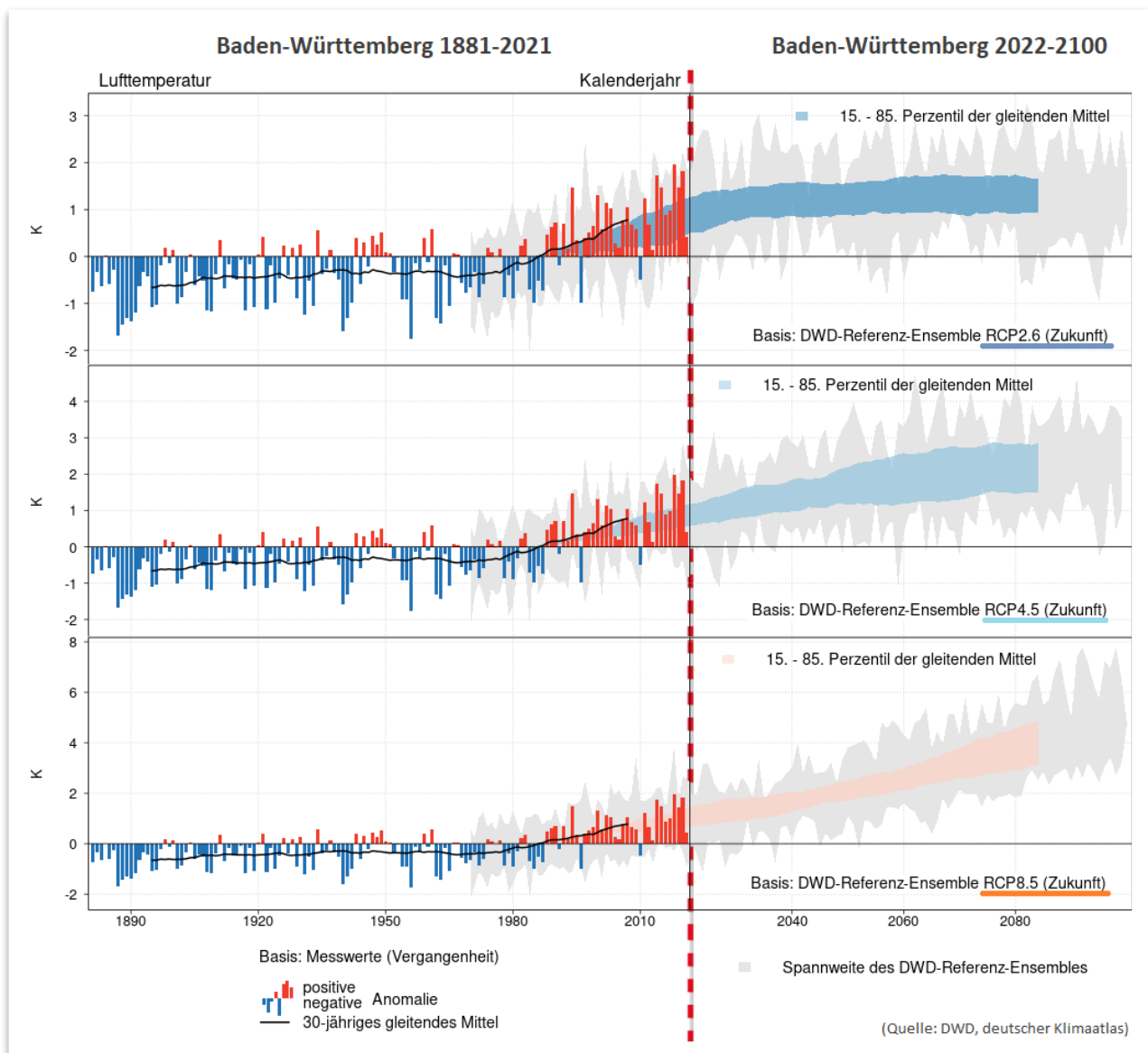


Abb. 2.5: Zeitlicher Verlauf der jährlichen mittleren Lufttemperatur in Baden-Württemberg als Abweichung zum Vieljährigen Mittel (1971-2000) von 1881 bis heute und als zukünftige Projektion des jeweiligen RCP-Szenarios (Quelle: DWD, Deutscher Klimaatlas).

Entwicklung meteorologischer Kenntage

Eine etablierte Methode zur Beschreibung von klimatischen Änderungen ist die Verwendung von Kenntagen. Dies sind z.B. die Anzahl von Sommertagen oder Tropennächten innerhalb eines zu benennenden Zeitraumes (oftmals jährlich). Die Bestimmung dieser Kenntage erfolgt anhand von Schwellenwerten wie bspw. $T_{max} \geq 25^{\circ}\text{C}$ für Sommertage. Die **Abb. 2.6**, **Abb. 2.7** und **Abb. 2.8** zeigen jeweils die Entwicklung von Sommer- und Hitzetagen sowie die Anzahl der Tropennächte als Abweichung zum vieljährigen Mittel (1971-2000) von 1881 bis zum Kalenderjahr 2021 in absoluten Werten und bis zum Jahr 2100 als Projektion aus den Ensemble-Ergebnissen. Dabei tritt deutlich eine Zunahme für alle Kenntage ab etwa der Jahrtausendwende auf, die für die RCP-Szenarien 4.5 und 8.5 eine weitere Zunahme berechnet, für das RCP2.6 hingegen zu einer Stagnation auf etwa dem aktuellen Niveau, hinausläuft.

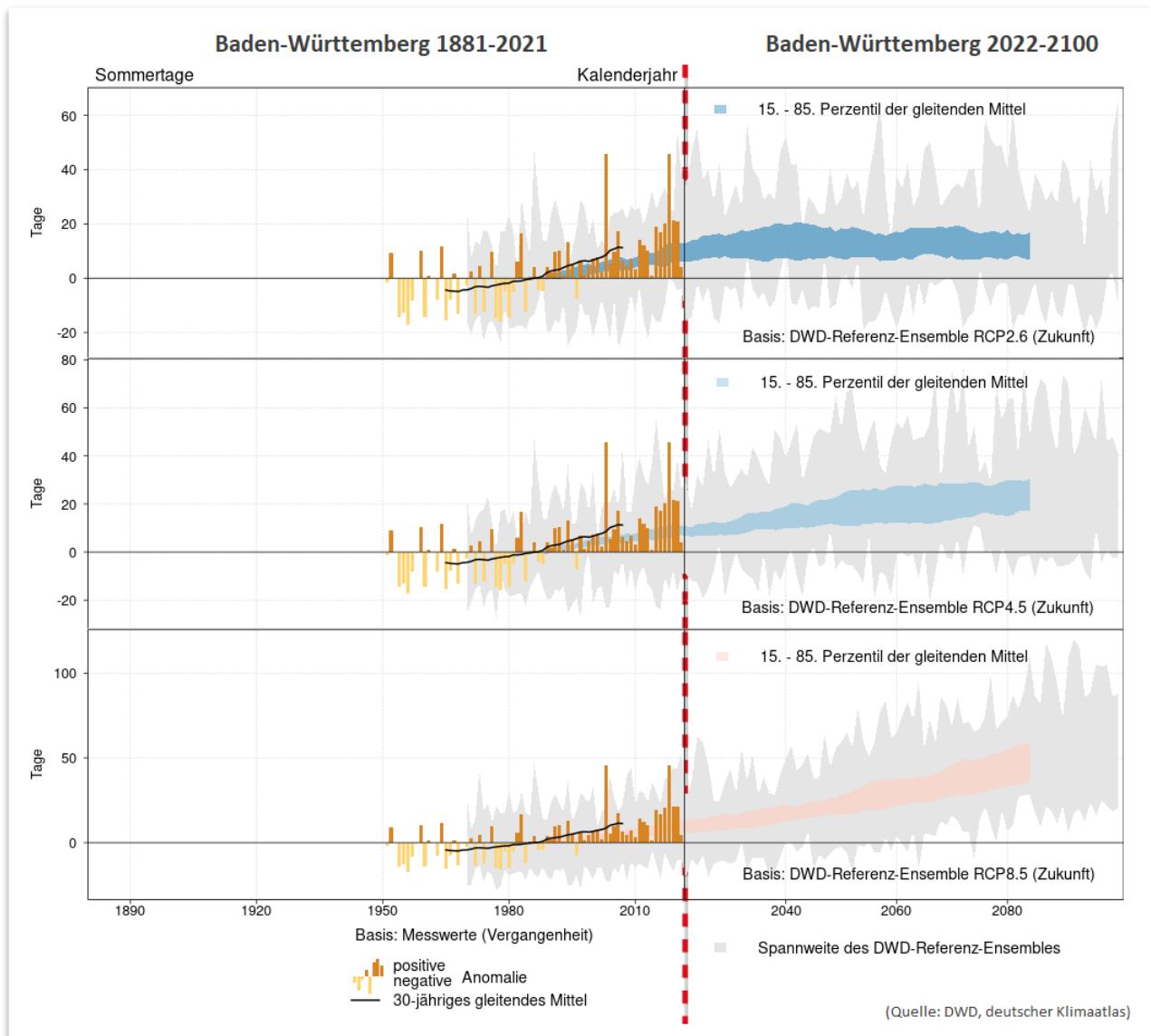


Abb. 2.6: Zeitlicher Verlauf der jährlich in Baden-Württemberg auftretenden Anzahl „Sommertage“ ($T_{\text{Luft}} > 25^{\circ}\text{C}$) als Abweichung zum Vieljährigen Mittel (1971-2000) von 1881 bis heute und als zukünftige Projektion des jeweiligen RCP-Szenarios (Quelle: DWD, Deutscher Klimaatlas).

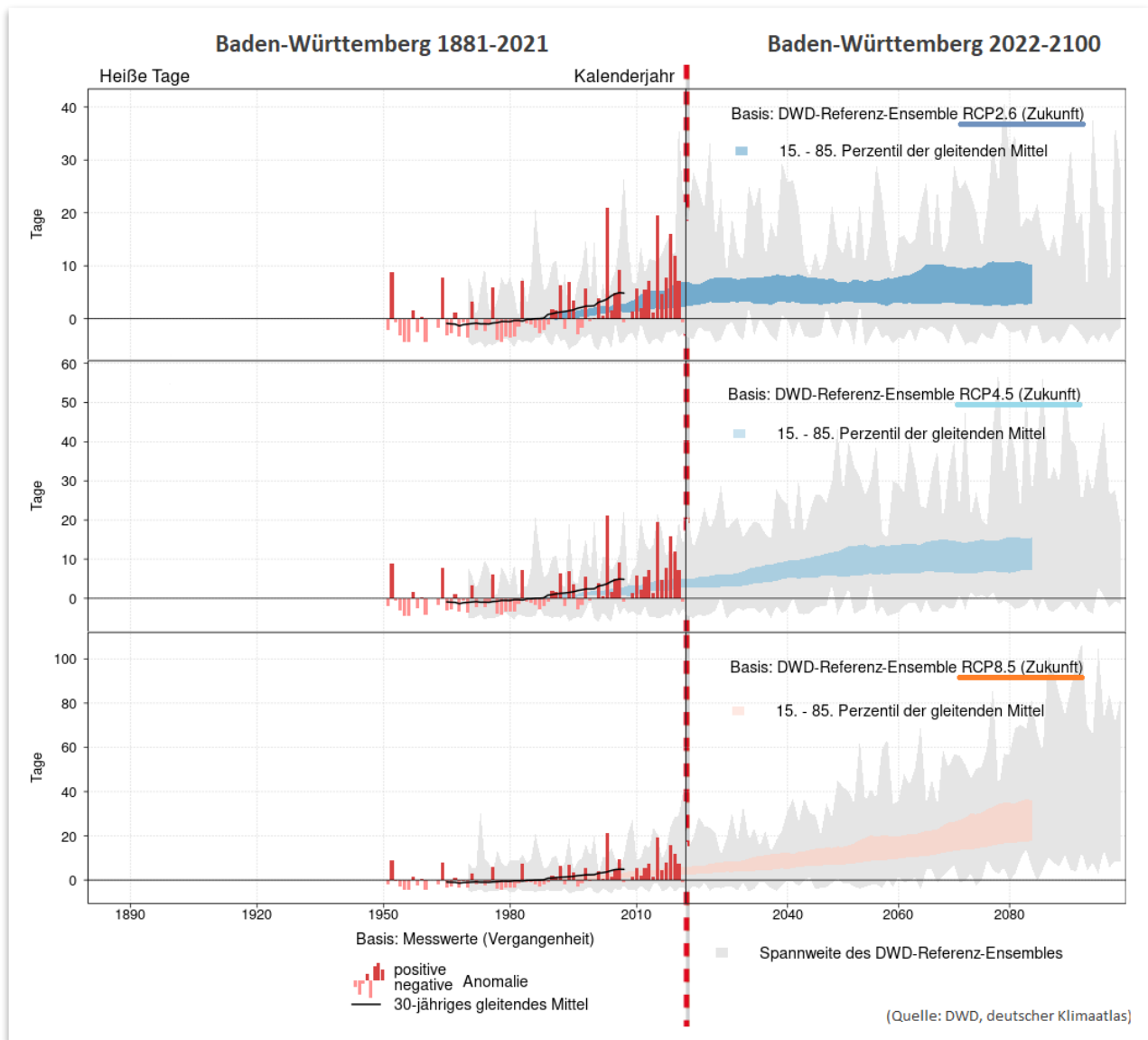


Abb. 2.7: Zeitlicher Verlauf der jährlich in Baden-Württemberg auftretenden Anzahl „heißer Tage“ ($T_{\text{Luft}} > 30^{\circ}\text{C}$) als Abweichung zum Vieljährigen Mittel (1971-2000) von 1881 bis heute und als zukünftige Projektion des jeweiligen RCP-Szenarios (Quelle: DWD, Deutscher Klimaatlas).

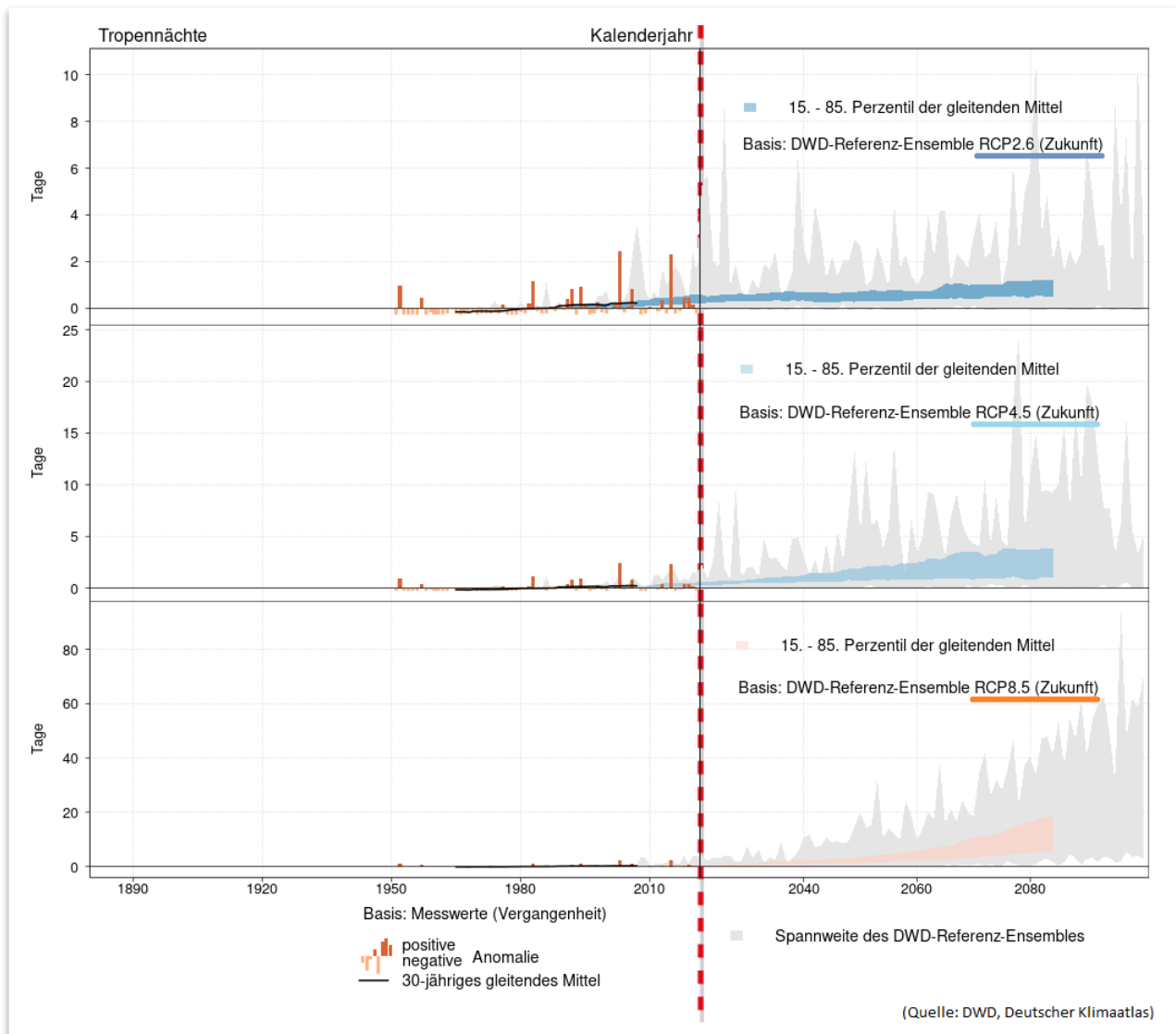


Abb. 2.8: Zeitlicher Verlauf der jährlich in Baden-Württemberg auftretenden Anzahl „Tropennächte“ ($T_{\text{Luft}} > 20^\circ\text{C}$ nachts) als Abweichung zum Vieljährigen Mittel (1971-2000) von 1881 bis heute und als zukünftige Projektion des jeweiligen RCP-Szenarios (Quelle: DWD, Deutscher Klimaatlas).

Entwicklung des Jahresniederschlags

Die Jahresniederschlagswerte lassen deutliche Variationen erkennen (**Abb. 2.9**). In den drei Jahrzehnten vor 2000 lässt sich eine leichte Häufung positiver Abweichungen zum vieljährigen Mittel der Jahre 1971-2000 erkennen, seitdem häufen sich „trockenere“ Jahre. Die RCP-Szenarien 4.5 und 8.5 signalisieren einen leichten Anstieg des mittleren Jahresniederschlags in Baden-Württemberg bis zum Jahr 2100. Im RCP-Szenario 2.6 pendeln die Ensemble-Werte um den Basiswert der Jahre 1971-2000. Über eine saisonale Betrachtung der Niederschlagswerte (**Abb. 2.10**) lässt sich tendenziell eine Verschiebung der Niederschläge in den Jahreszeiten erkennen, wobei im Sommer tendenziell ein leichter Rückgang zu verzeichnen ist, im Winter tendenziell hingegen eine leichte Zunahme, welches sich auch in der Projektion des RCP4.5 abzeichnet.

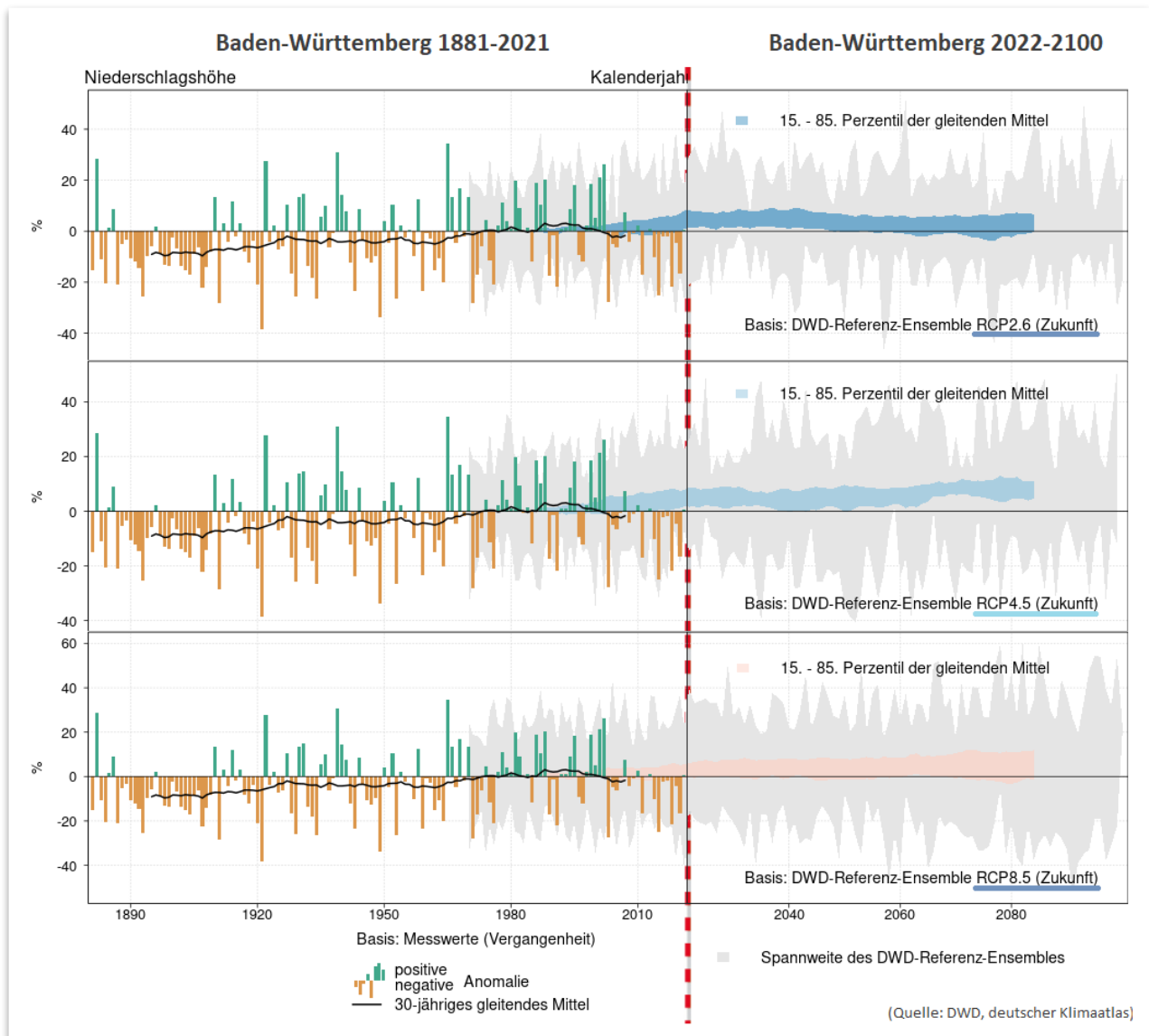


Abb. 2.9: Zeitlicher Verlauf der jährlich in Baden-Württemberg auftretenden Niederschlagsmengen als Abweichung zum Vieljährigen Mittel (1971-2000) von 1881 bis heute und als zukünftige Projektion des jeweiligen RCP-Szenarios (Quelle: DWD, Deutscher Klimaatlas).

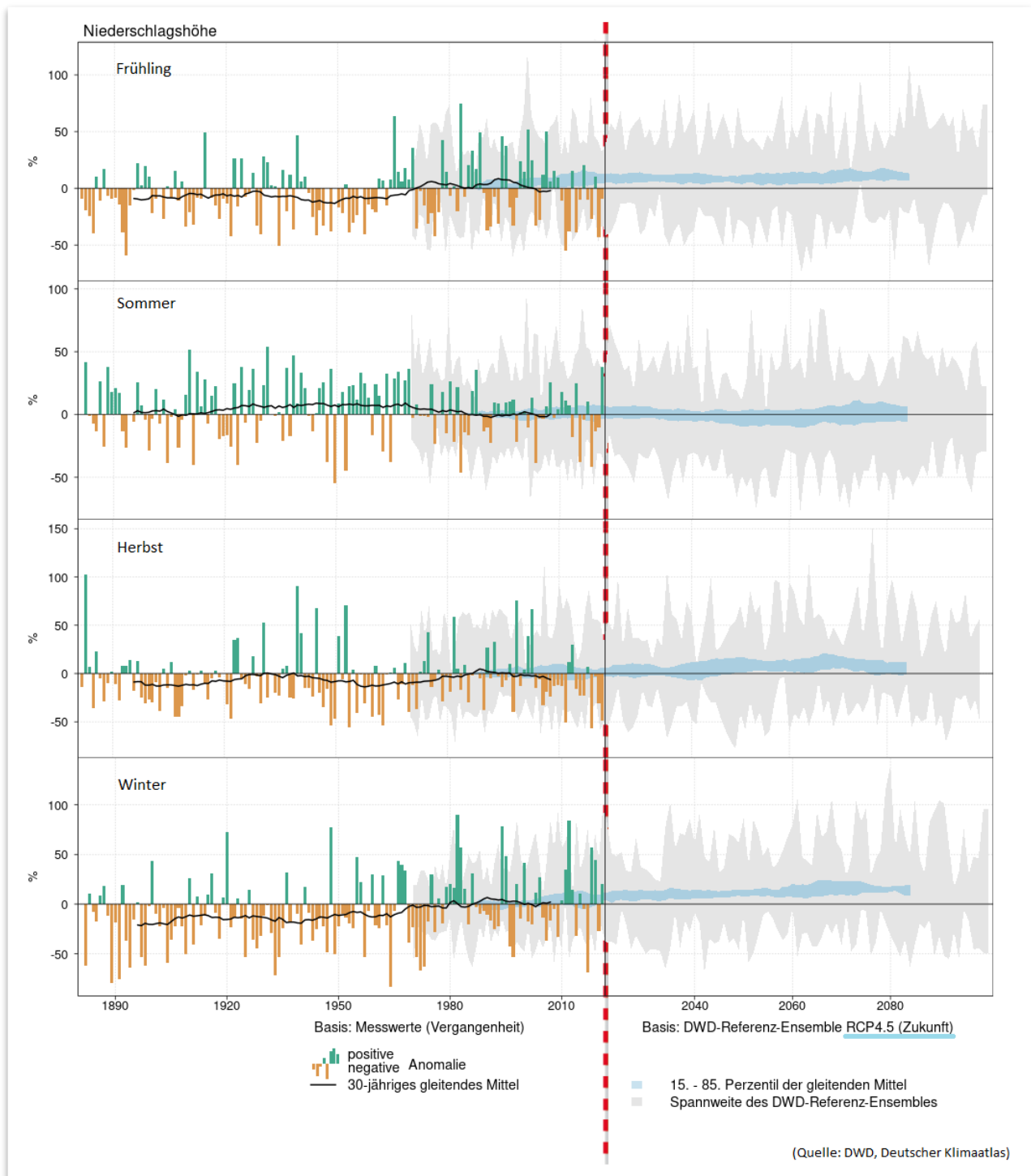


Abb. 2.10: Zeitlicher Verlauf der saisonal in Baden-Württemberg auftretenden Niederschlagsmengen als Abweichung zum Vieljährigen Mittel (1971-2000) von 1881 bis heute und als zukünftige Projektion des RCP4.5-Szenarios (Quelle: DWD, Deutscher Klimaatlas).

Zusammenfassung

Für die Niederschlagsentwicklung ist kein eindeutiger Trend ableitbar. Tendenziell ist mit einer saisonalen Verschiebung der Niederschlagsereignisse zu rechnen. Aus der Niederschlagshöhe lassen sich allerdings nicht lokale oder zeitliche Extreme der Niederschlagsart ableiten, sodass daraus nicht auf die Bodenfeuchte oder einer Wasserverfügbarkeit geschlossen werden kann, welche wiederum vielen Faktoren unterliegen. Mit einer allgemeinen Temperaturzunahme geht jedoch eine Zunahme in der Evapotranspiration einher. Insgesamt verdeutlichen die Projektionen jedoch, dass sich der bereits heute beobachtete Trend einer Erwärmung



in Baden-Württemberg auch zukünftig (RCP4.5, RCP8.5) fortsetzt. So werden weiterhin steigende Jahresmitteltemperaturen bis zum Ende des Jahrhunderts erwartet. Die mit dem Temperaturanstieg einhergehende Erwärmung bedingt eine Zunahme an Sommertagen, heißen Tagen und Tropennächten. Zudem gibt es Hinweise, dass mit der Zunahme der jährlich auftretenden Hitzetage auch die Länge von Hitzeperioden zunimmt. Der Umgang mit dieser klimatischen Entwicklung ist als große Herausforderung für eine nachhaltige Stadtentwicklung anzusehen.



3. Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der FITNAH-Modellierung zu den meteorologischen Parametern Lufttemperatur, Strömungsfeld und Kaltluftvolumenstrom erläutert. Die Ergebnisse werden für den Istzustand sowie der Planvariante für die zweite Nachthälfte (Kaltlufthaushalt um 4 Uhr morgens) dargestellt. Als meteorologische Rahmenbedingung wurde eine austauscharme Wetterlage zugrunde gelegt, da sich die stadtklimatischen Effekte vor allem während windschwacher Strahlungswetterlagen im Sommer entwickeln. Auslöser dieser Prozesse sind die Temperaturunterschiede zwischen den überwärmten Siedlungsräumen und den kühleren vegetationsgeprägten bzw. unbebauten Flächen. Der 4 Uhr MEZ Zeitpunkt wurde gewählt, da sich die Luftaustauschprozesse zwischen dem Umland und den Siedlungsflächen zu diesem Zeitpunkt vollständig ausgebildet haben. Die sommerliche Wärmebelastung während der Tagesstunden wird über die Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET) dargestellt und in **Kapitel 3.2** beschrieben. In Abgrenzung zur Lufttemperatur handelt es sich hierbei um die tatsächlich empfundene Temperatur. Ihre Ausprägung wird vor allem über die Intensität der Sonneneinstrahlung bestimmt.

3.1 Ergebnisse Kaltlufthaushalt

3.1.1 Lufttemperatur

A. Allgemeines

Der Tagesgang der Lufttemperatur ist direkt an die Strahlungsbilanz eines Standortes gekoppelt und zeigt daher in der Regel einen ausgeprägten Abfall während der Abend- und Nachtstunden. Dieser erreicht kurz vor Sonnenaufgang des nächsten Tages sein Maximum. Das Ausmaß der Abkühlung kann dabei – je nach den meteorologischen Verhältnissen, der Lage des Standorts und den landnutzungsabhängigen physikalischen Boden- und Oberflächeneigenschaften – große Unterschiede aufweisen, so dass sich bereits auf kleinem Raum ein differenziertes Temperaturfeld mit mehr als 8 K Temperaturabweichung zwischen den abgekühlten Grün- und Freiflächen sowie den wärmeren Siedlungsflächen einstellen kann. Besonders auffällig dabei ist das thermische Sonderklima der Siedlungsräume. Die in Städten gegenüber dem Umland modifizierten klimatischen Verhältnisse lassen sich auf einige wesentliche Faktoren zurückführen. Hierzu gehören:

- die erhöhte Wärmekapazität und Wärmeleitfähigkeit der Boden- und Oberflächeneigenschaften
- die durch die Geometrie der städtischen Baukörper vergrößerte strahlungsabsorbierende Oberfläche
- die herabgesetzte Verdunstung durch die direkte Einleitung des Niederschlagswassers in die Kanalisation oder die Vorflut
- die über die vermehrte Emission von Gasen und Aerosolen zugunsten eines langwelligen Strahlungsgewinns veränderte Strahlungsbilanz (lokaler Treibhauseffekt)
- die Wirkung der Stadt als Strömungshindernis mit hoher aerodynamischer Rauigkeit und die damit verbundene Behinderung der Durchlüftung und des Luftaustausches mit dem Umland
- die erhöhte anthropogen bedingte Wärmeproduktion.

Damit ist das Ausmaß der Temperaturabweichung im Siedlungsbereich vor allem abhängig von der Größe der Stadt und der Dichte der Überbauung. Doch auch die Luftvolumina über grüneprägten Flächen weisen untereinander keinen einheitlichen Wärmezustand auf.



Die Abkühlungsrate von natürlichen Oberflächen wird insbesondere von ihren thermischen Bodeneigenschaften (u.a. ihrer Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität) sowie von eventuell vorhandenen Oberflächenbedeckungen (Bewuchs, Laubstreu usw.) bestimmt.

Das Relief (Exposition, Geländeneigung) und die Lage im Mosaik der Nutzungen und ihrer dynamischen Luftaustauschprozesse üben einen weiteren Einfluss aus. Eine Sonderstellung nehmen Wald-, Gehölz- und Gewässerflächen ein. Der gedämpfte, insgesamt vermittelnde Tagesgang der Temperatur im Wald beruht zu einem großen Teil auf dem zweischichtigen Strahlungsumsatz zwischen Atmosphäre und Kronendach sowie zwischen Kronendach und Stammraum. Größere Waldgebiete haben eine klimatische Ausgleichsfunktion und filtern zudem Luftschadstoffe. Während tagsüber durch Verschattung und Verdunstung relativ niedrige Temperaturen bei hoher Luftfeuchtigkeit im Stammraum vorherrschen, treten nachts in 2 m Höhe, im Vergleich zu nicht mit Gehölz bestandenen Grünflächen, eher milde Temperaturen auf. Stadtnahe Wälder können daher auch am Tage kühlere Luft zugunsten des Siedlungsraumes erzeugen.

Die Ermittlung des bodennahen Temperaturfeldes ermöglicht es, überwärmte Bereiche mit potenziellen bioklimatischen Belastungen abzugrenzen, Aussagen zum Auftreten von Ausgleichsströmungen zu treffen und die räumliche Ausprägung und Wirksamkeit von Kalt- bzw. Frischluftströmungen abzuschätzen. Denn ein erholsamer Schlaf ist nur bei günstigen thermischen Bedingungen möglich, weshalb der Entlastungssituation in den Nachtstunden eine besondere Bedeutung zukommt. Da die klimatischen Verhältnisse der Wohnungen in der Nacht im Wesentlichen nur durch den Luftwechsel modifiziert werden können, ist die Temperatur der Außenluft der entscheidende Faktor bei der Bewertung der thermophysiological Belastung. Entsprechend spiegelt die Beurteilung des Bioklimas in den Nachtstunden weniger die thermische Beanspruchung des Menschen im Freien wider, als vielmehr die positive Beeinflussbarkeit des nächtlichen Innenraumklimas.

Abb. 3.1 zeigt das mit dem Klimamodell FITNAH simulierte Temperaturfeld in 2 m über Grund zum Zeitpunkt 4 Uhr für den derzeitigen Istzustand (oben), die Planvariante (mittig) und die sich aus den beiden Szenarien ergebende absolute Differenz (unten), welche üblicherweise in der Einheit Kelvin (K) angegeben wird. Das mit dem Klimamodell FITNAH simulierte Lufttemperaturfeld in 2 m über Grund zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens umfasst unter den angenommenen meteorologischen Rahmenbedingungen eine Spannweite von 7,4 Kelvin (K) im Untersuchungsraum und erreicht dabei Werte zwischen 11,8°C und 19,2°C für den Ist- als auch den Planzustand. Die mittlere Temperatur des Untersuchungsgebietes liegt für beide Szenarien bei 13,7°C.

B. Ergebnisse aus dem Istzustand

Je nach Boden- und Oberflächeneigenschaften, die sich aus der Nutzung der Flächen ergibt (z.B. bebaute -, versiegelte -, oder Grünflächen) variiert das Temperaturfeld räumlich, z.T. auch sehr lokal. Die höchsten Temperaturen bis etwa 17°C und mehr treten in den stark versiegelten Bereichen, insbesondere im Straßenraum auf, sowie auf einzelnen kleineren Gewerbeflächen oder im Wärmestau von Gebäuden und Wohnhäusern. Dort ist die nächtliche Auskühlung durch die Wärme speichernden Materialien wie Beton und Stein deutlich reduziert wird. Ein hohe Wärmespeicherkapazität führt dazu, dass die tagsüber aufgenommene Strahlungsenergie bis tief in die Nacht in Form von Wärmeenergie an die Umgebung abgeben wird. Ebenso weisen Gewässer, wie beispielsweise der Teich im Schlossgarten, aufgrund der höheren Wärmespeicherkapazität des Wassers, eine höhere Temperatur als die Umgebung auf. Das Plangebiet wiederum ist im derzeitigen Zustand als Ackerfläche ausgewiesen, wo eine intensive nächtliche Wärmeausstrahlung mit entsprechender Abkühlung der darüber lagernden Luft erfolgen kann. Über diesen Freiflächen, wie auch über den anderen derartigen Flächen (Äcker, Wiesen) ist das Temperaturniveau gegenüber den Siedlungsflächen deutlich reduziert und bewegt sich im Bereich zwischen etwa 12,1°C und 13,6°C. Mit Bäumen bestandene Grünflächen, wie beispielsweise die Parkanlage im Schlossgarten, weisen gegenüber Grünflächen ohne Baumbestand ein



höheres Temperaturfeld mit Werten zwischen 14,5°C und 15,5°C auf, da hier die Wärmeausstrahlung durch das Kronendach behindert wird. Innerhalb des Plangebietes (violett gestrichelte Linie) bewegt sich das Temperaturfeld zwischen 12,1°C und maximal 16,1°C, das Mittel liegt, begünstigt durch die große Freifläche, bei 13,0°C.

C. Ergebnisse aus dem Planszenario

Mit der Realisierung des neuen Wohnquartiers „Steine“ und der damit verbundenen Nutzungsänderung der Freiflächen sind deutliche Änderungen im nächtlichen Temperaturfeld zu erwarten. Die Versiegelung von Flächen, wie die neue Straßenführung durch das Plangebiet, tritt dabei ebenso deutlich im Temperaturfeld hervor, wie die im Zuge der Begrünungsmaßnahmen neu hinzugekommenen Bäume mit Werten von etwa 14°C bis 17°C. Insgesamt ist somit eine Erhöhung des Temperaturniveaus im Plangebiet festzustellen. Dabei haben Bereiche mit Temperaturwerten unter 13°C deutlich abgenommen. Für den Planzustand bewegt sich das allgemeine Temperaturfeld innerhalb des Plangebietes zwischen 12,4°C und 17,1°C, das Mittel liegt bei 14,1°C. Gegenüber dem Istzustand liegen die modellierten mittleren und maximalen Temperaturwerte um 1°C höher als die im Planzustand ermittelten Werte. Im Vergleich zu den umliegenden Siedlungsflächen hebt sich das Temperaturfeld jedoch nicht ab und bewegt sich auf gleichem Temperaturniveau.

D. Differenzen und Zwischenfazit

Die Abweichungen zwischen Planszenario und dem Istzustand zeigen sich im Differenzenfeld als deutliche Zunahme (rote Färbung). Dabei treten die neu hinzugekommenen Baumstandorte, sowie Verkehrsflächen mit einer positiven Änderung deutlich hervor. Abgesehen von einer kleinräumigen Temperaturabnahme bis -2,3K an der westlichen Ecke im Plangebiet aufgrund lokaler Entsiegelung, wird im Mittel eine Temperaturzunahme von 1K und eine maximale Temperaturzunahme von 4,3K innerhalb des Plangebietes berechnet. Abweichungen bis 0,5K werden dabei als wenig relevant für das thermische Empfinden eingestuft und bleiben in der Farbdarstellung unberücksichtigt. Temperaturabweichungen außerhalb des Plangebietes, besonders nördlich der Vorhabengrenze (Scherrenbergstr. 30), betreffen überwiegend unbebaute Bereiche und sind auf die Begrünungsmaßnahmen zurückzuführen.

Insgesamt zeigt sich aus der Differenz zwischen Planungs- und Istzustand, dass Versiegelungs- und Begrünungsmaßnahmen mit einer deutlichen Temperaturzunahme einhergehen. Trotz dieser überwiegend positiven Temperaturabweichungen ergeben die Modellrechnungen jedoch nur minimal bis keine negativen Auswirkungen auf angrenzende Siedlungsbereiche, welche sich im Wesentlichen auf den Bereich des Planungsvorhabens beschränken.

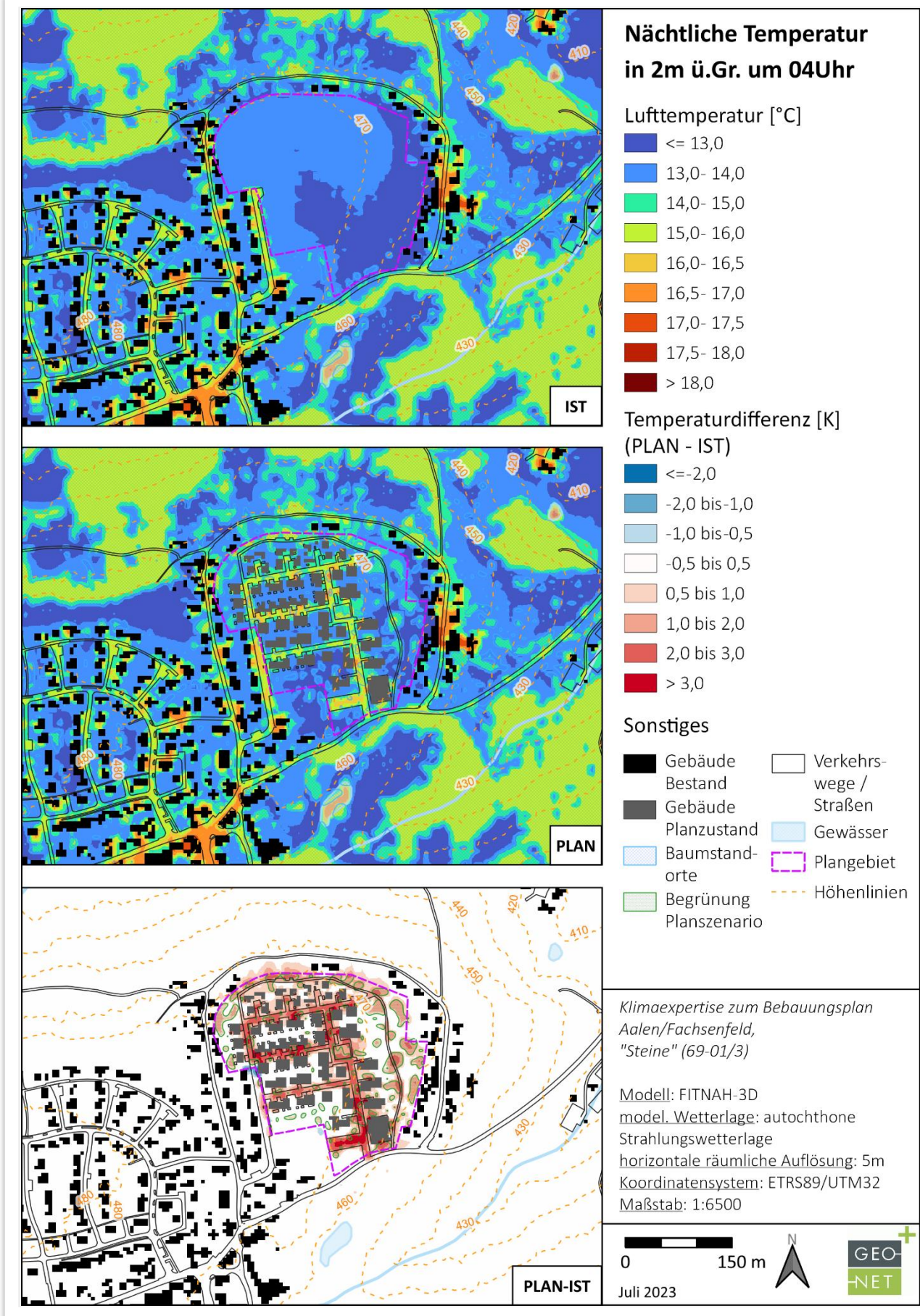


Abb. 3.1: Nächtliches Temperaturfeld zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens für den Istzustand (oben), den Planfall (mittig) und als Differenzenfeld zwischen Plan- und Istzustand (unten).

3.1.2 Kaltluftströmungsfeld

A. Allgemeines

Die bodennahe Temperaturverteilung bedingt horizontale Luftdruckunterschiede, die wiederum Auslöser für lokale thermische Windsysteme sind. Ausgangspunkt dieser Prozesse sind die nächtlichen Temperaturunterschiede, die sich zwischen Siedlungsräumen und vegetationsgeprägten Freiflächen bzw. dem Umland einstellen (**Abb. 3.2**). An den geeigneten Flächen setzt sich außerdem abgekühlte und damit schwerere Luft in Richtung zur tiefsten Stelle des Geländes in Bewegung. So können z.B. an Hängen nächtliche Kaltluftabflüsse entstehen (u.a. *Mosimann et al. 1999*).

Die Windgeschwindigkeit dieses kleinräumigen Phänomens wird in erster Linie durch das Temperaturdefizit

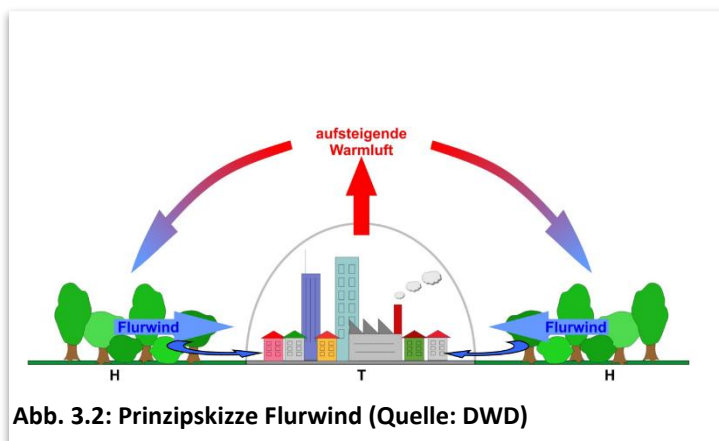


Abb. 3.2: Prinzipskizze Flurwind (Quelle: DWD)

zur umgebenden Luft bestimmt und durch eine vorhandene Neigung des Geländes $> 1^\circ$ verstärkt. Neben den durch die Geländeform bedingten Strömungen mit Kaltluftabflüssen bilden sich auch so genannte Flur-/Strukturwinde, d.h. eine direkte Ausgleichsströmung vom hohen zum tiefen Luftdruck, aus. Sie entstehen, wenn sich stark überbaute oder versiegelte Gebiete stärker erwärmen als umliegende Freiflächen, und dadurch ein thermisches Tief über den urbanen Gebieten entsteht (u.a. *Kiese et al. 1992*).

Für die Ausprägung dieser Strömungen ist es wichtig, dass die Luft über eine gewisse Strecke beschleunigt werden kann und nicht durch vorhandene Hindernisse wie dichte Baumbestände und Bauten abgebremst wird. Die Flur-/Strukturwinde sind eng begrenzte, oftmals nur schwach ausgeprägte Strömungsphänomene, die bereits durch einen schwachen überlagernden Wind (d.h. die großräumige Windströmung in der Höhe) überdeckt werden können. Die landnutzungstypischen Temperaturunterschiede beginnen sich schon kurz nach Sonnenuntergang herauszubilden und können die ganze Nacht über andauern. Dabei erweisen sich insbesondere Wiesen- und Ackerflächen als kaltluftproduktiv. Abhängig von den Oberflächeneigenschaften und Abkühlungsraten geht damit die rasche Entwicklung von Kaltluftströmungen einher, die zunächst vertikal nur von geringer Mächtigkeit (5-10 m Schichthöhe) sind und sich zwischen der Vielzahl der unterschiedlich temperierten Flächen ausbilden. Diese kleinskaligen Windsysteme werden, je nach lokalen Bedingungen, im Laufe der Nacht von horizontal und vertikal etwas mächtigeren Flur- und Hangwinden (mehrere Dekameter Mächtigkeit) überdeckt, die zwischen den großen Freiflächen und überbauten Arealen entstehen.

Die Ergebniskarten stellen das zum nächtlichen Analysezeitpunkt 04:00 Uhr ausgeprägte Kaltluftströmungsfeld in zwei Ebenen dar. Die Strömungsrichtung und Strömungsgeschwindigkeit wird über die Pfeilrichtung und Pfeillänge in Form von Vektoren abgebildet, wobei die Pfeile der Karte für eine übersichtlichere Darstellung auf 30 m aggregiert worden sind. Die unterlegten Rasterzellen stellen zudem die Windgeschwindigkeit flächenhaft in Farbstufung dar. Die Werte beziehen sich auf eine Analysehöhe von 2 m über Grund. Abgebildet sind alle Zellen des ursprünglichen Rasters mit Geschwindigkeiten von $\geq 0,1$ m/s, für die unter Berücksichtigung der gebietstypischen Ausprägung eine potenzielle klimaökologische Wirksamkeit angenommen werden kann.



Die vorliegende Untersuchung geht der Frage nach, inwieweit sich die Umsetzung des Bauvorhabens auf den lokalen Luftaustausch auswirken wird. **Abb. 3.3** zeigt die Strömungsgeschwindigkeit des modellierten Windfeldes für den Istzustand (oben), den Planzustand (mittig) und die sich aus den beiden Szenarien ergebende Differenz (unten). Die dargestellten Windfelder stellen die Strömung dar, die sich während einer sommerlichen und windstillen Strahlungswetternacht eigenbürtig ausbildet. Die Strömungsrichtung der Kaltluft wird sowohl durch den Temperaturgradienten hin zu den wärmeren Siedlungsflächen als auch durch das Relief bestimmt. Wie in **Kapitel 1.1** beschrieben, senkt sich das Gelände innerhalb des Plangebietes von West nach Ost mit ca. 3,8 % Gefälle, wodurch die Beschleunigung der Luftmassen maßgeblich durch die Hangneigung beeinflusst wird, das sich auch in den Ergebnissen widerspiegelt.

B. Ergebnisse aus dem Istzustand

Die Ergebnisse für das Windfeld zeigen, dass innerhalb des Plangebietes die Windgeschwindigkeiten nur schwach ausgeprägt sind und Werte von teils unter 0,2 m/s im südwestlichen Bereich bis maximal etwa 0,7 m/s im nördlichen Randbereich aufweisen und im Mittel etwa 0,4 m/s betragen. In den umliegenden Siedlungsbereichen im Süden und Westen strömt der Wind bedingt durch die dichtere Bebauung mit deutlich unter 0,5 m/s, überwiegend mit 0,2 m/s. Wesentlich geringere Windgeschwindigkeiten mit Werten von 0,1 m/s und weniger treten zudem im Zusammenhang mit höherer Vegetation (Bäumen) auf, die als Strömungshindernisse die Fließgeschwindigkeiten der Kaltluft massiv abbremsen, je dichter und großflächiger der Baumbestand ist. Nördlich und östlich des Plangebietes fließt die nächtliche Kaltluft mit deutlich höheren Geschwindigkeiten in die Täler, aufgrund der mit zunehmendem Gefälle größer werdenden Hangabtriebskraft. Dort erreichen die Windgeschwindigkeiten bis in die Siedlungsstrukturen hinein Werte von 0,3 m/s bis teilweise mehr als 1 m/s, was somit für ein vergleichsweise höheres Durchlüftungspotential sorgt. In den höher gelegenen Gebieten hingegen ist die Windströmung, aufgrund des nur gering ausgebildeten Reliefs, schwächer ausgeprägt, die Strömungsrichtung folgt aber dem Relief.

C. Ergebnisse aus dem Planszenario

Aufgrund der markanten Umnutzung der Flächen innerhalb des Plangebietes erfährt das Strömungsfeld eine deutliche Modifizierung. Die geplanten Neubauten und Begrünungsmaßnahmen wirken als Strömungshindernisse und führen zu einer deutlich reduzierten Durchströmung des Plangebietes. Größtenteils werden dort nur noch Geschwindigkeiten von weniger als 0,2 m/s erreicht, im nördlichen Plangebiet zwischen den Gebäudekörpern auch bis zu 0,4 m/s. Insbesondere im Südwesten des Plangebietes erreicht die Strömungsgeschwindigkeit kaum noch Werte von 0,1 m/s.

D. Differenzen und Zwischenfazit

Deutlicher zeigt sich die Beeinflussung des Strömungsfeldes durch das Planvorhaben in der Differenzabbildung zwischen Plan- und Istzustand. Hierbei kennzeichnen die roten Farbabstufungen eine Abnahme der Geschwindigkeit gegenüber dem derzeitigen Zustand, grüne Farbabstufungen eine Zunahme. Betragen die Geschwindigkeitsänderungen weniger als 0,05 m/s bleiben diese in der Farbdarstellung unberücksichtigt, da sie als unwesentlich eingestuft werden.

Im Wesentlichen zeigen die Differenzen eine Verringerung der Strömungsgeschwindigkeit. Die stärksten Abnahmen werden dabei, infolge der Neubebauung, innerhalb der Vorhabengrenzen ermittelt mit Werten bis -0,5 m/s im nördlichen und südlichen Plangebiet. Im Mittel nimmt der Wind um etwa -0,25 m/s innerhalb des Plangebietes ab. Veränderung der Strömungsverhältnisse werden auch über die Vorhabengrenze hinaus prognostiziert und erstrecken sich im Wesentlichen auf die Bereiche innerhalb der Scherrenberg- und der



Waiblinger Straße, die um das Planvorhaben herumführen. Geschwindigkeitsänderungen bis 0,05 m/s werden aber auch in einer Entfernung von bis zu 100 m von der Vorhabengrenze berechnet. Dies betrifft Bereiche im Norden, besonders zwischen Scherrenbergstraße 30 und 36, sowie im Süden im Bereich des Friedhofs.

Es kann somit festgehalten werden, dass es durch das Planvorhaben großflächig zu einer Beeinflussung des bodennahen Strömungsfeldes kommt. Im Zusammenhang mit den Ergebnissen aus Kapitel 3.1.1 sind jedoch keine negativen regionalen Auswirkungen im nächtlichen Kaltluftgeschehen in den umliegenden Siedlungsstrukturen zu erwarten, insbesondere in den im Norden und Nordosten gelegenen Siedlungsflächen (Waiblingen) zeigt das Strömungsfeld keine Auswirkungen durch die geplanten Bebauungen. Die im Planungsgebiet zu erwartenden nächtlichen Strömungsverhältnisse bewegen sich auf einem vergleichbaren Niveau, wie in den angrenzenden Siedlungsbereichen südlich und westlich des Vorhabengebietes.

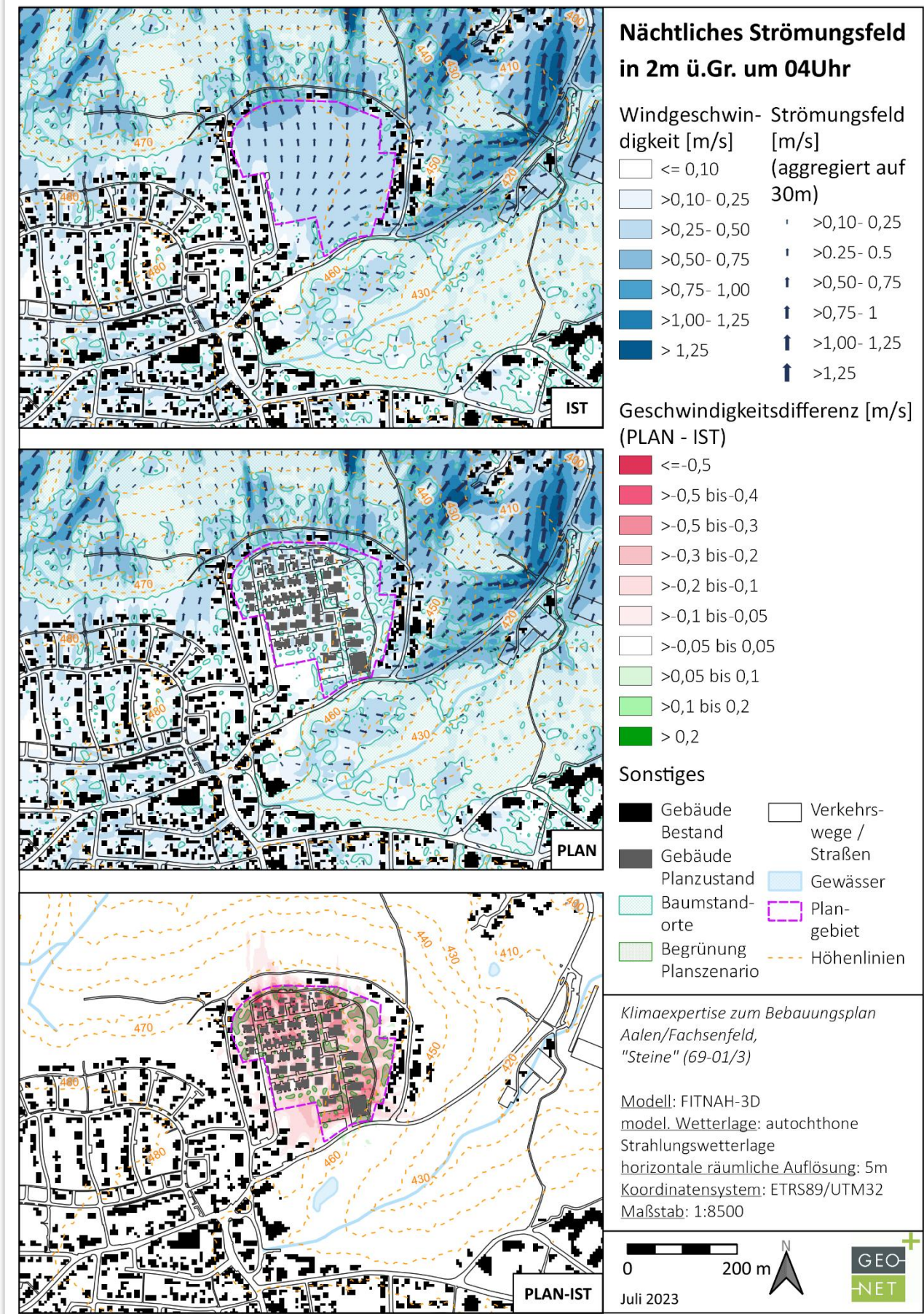


Abb. 3.3: Bodennahes Windfeld zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens für den Istzustand (oben), den Planfall (mittig) und als Differenzfeld zwischen Plan- und Istzustand (unten).

3.1.3 Kaltluftvolumenstrom

A. Allgemeines

Wie bereits im Vorkapitel zum autochthonen Windfeld eingehender erläutert, kommt den lokalen thermischen Windsystemen eine besondere Bedeutung beim Abbau von Wärme- und Schadstoffbelastungen größerer Siedlungsräume zu. Weil die potenzielle Ausgleichsleistung einer grünbestimmten Fläche nicht allein aus der Geschwindigkeit der Kaltluftströmung resultiert, sondern zu einem wesentlichen Teil durch ihre Mächtigkeit (d.h. durch die *Höhe* der Kaltluftschicht) mitbestimmt wird, wird zur Bewertung der Grünflächen ein weiterer Klimaparameter herangezogen: der sogenannte Kaltluftvolumenstrom.

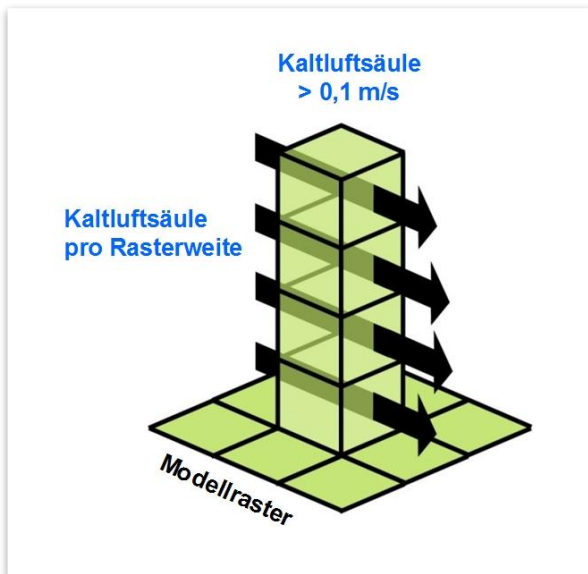


Abb. 3.4: Prinzipskizze Kaltluftvolumenstrom

Unter dem Begriff Kaltluftvolumenstrom (KVS) versteht man, vereinfacht ausgedrückt, das Produkt aus der Fließgeschwindigkeit der Kaltluft, ihrer vertikalen Ausdehnung (Schichthöhe) und der horizontalen Ausdehnung des durchflossenen Querschnitts (Durchflussbreite). Er beschreibt somit diejenige Menge an Kaltluft in der Einheit m^3 , die in jeder Sekunde durch den Querschnitt beispielsweise eines Hanges oder einer Leitbahn fließt. Für dargestellten Ergebnisse bedeutet dies folgendes: Da die Modellergebnisse nicht die Durchströmung eines natürlichen Querschnitts widerspiegeln, sondern den Strömungsdurchgang der gleichbleibenden Rasterzellenbreite (hier 5 m), ist der resultierende Parameter streng genommen nicht als Volumenstrom, sondern als rasterbasierte Volumenstromdichte aufzufassen. Diesen Wert kann

man sich veranschaulichen, indem man sich ein 5 m breites, quer zur Luftströmung hängendes Netz vorstellt, das ausgehend von der Obergrenze der Kaltluftschicht bis hinab auf die Erdoberfläche reicht. Bestimmt man nun die Menge der pro Sekunde durch das Netz strömenden Luft, erhält man die rasterbasierte Volumenstromdichte (Abb. 3.4). Der Volumenstrom ist damit ein Maß für den *Zustrom von Kaltluft* und bestimmt somit, neben der Strömungsgeschwindigkeit, die Größenordnung des Durchlüftungspotenzials.

Abb. 3.5 zeigt die Kaltluftvolumenstromdichten mit dem modellierten Strömungsfeld und Abb. 3.6 die aus der z-Transformation ermittelte Ausprägung des Kaltluftvolumenstroms als quantitative Abstufung. Abgebildet sind dabei jeweils der derzeitige Zustand (oben) und das Planszenario (mittig). Die sich aus den beiden Szenarien ergebende Differenz des Kaltluftvolumenstroms wird in Abb. 3.5 (unten) als absolute Differenz dargestellt, in Abb. 3.6 (unten) als prozentuale Abweichung gegenüber dem Istzustand.

B. Ergebnisse aus dem Istzustand

Die räumliche Ausprägung des Kaltluftvolumenstroms im Untersuchungsraum geht zum Zeitpunkt 04 Uhr morgens im Wesentlichen mit der des bodennahen Strömungsfeldes einher. Innerhalb der Ortschaft von Fachsenfeld selbst ist der Kaltluftabfluss vergleichsweise schwach ausgeprägt, mit Werten von überwiegend unter $10 \text{ m}^3/(\text{m s})$, das auf die dichtere Bebauung, als auch auf ein geringes Relief zurückzuführen ist. Die Strömungsrichtung des Windfeldes zeigt insgesamt betrachtet, von Fachsenfeld weg in Richtung der tieferliegenden Gebiete. Innerhalb des Plangebietes Steine zeigt der KVS mit Werten zwischen 10 und $20 \text{ m}^3/(\text{m s})$



zwei bis dreimal so hohe Werte im Vergleich zum Ortsinneren und strömt mit mäßiger bis hoher Ausprägung dem Gefälle folgend nach Norden und Osten. Innerhalb der Vorhabengrenzen beträgt das Minimum $9,5 \text{ m}^3/(\text{m s})$, das Maximum $23,5 \text{ m}^3/(\text{m s})$, im Mittel strömt die Kaltluft mit $16,7 \text{ m}^3/(\text{m s})$ hindurch.

C. Ergebnisse aus dem Planszenario

Die mit dem Planvorhaben einhergehenden Begrünungs- und Bebauungsmaßnahmen führen zu einer deutlichen Abnahme in der KVS innerhalb des Plangebietes. Besonders im Bereich der höheren Gebäudekörper ist mit einer Abnahme der KVS zu rechnen, auf Werte von teilweise deutlich unter $10 \text{ m}^3/(\text{m s})$. Kleinere Gebäude im Norden und Nordwesten des Plangebietes weisen eine bessere Überströmbarkeit auf, wo die KVS Werte über $10 \text{ m}^3/(\text{m s})$, entsprechend einer mäßigen bis hohen Ausprägung, erreicht. Dennoch erreicht die KVS innerhalb des Plangebietes, im Vergleich zu den mittleren Verhältnissen des Untersuchungsraumes, eine mäßige Ausprägung mit durchschnittlichen Werten von $11,2 \text{ m}^3/(\text{m s})$, die jedoch deutlich unter den mittleren Verhältnissen des Istzustandes liegen. Mit Werten von $2,6 \text{ m}^3/(\text{m s})$ und $21,2 \text{ m}^3/(\text{m s})$ liegen jeweils das Minimum und das Maximum signifikant unter den Werten des Istzustandes.

D. Differenzen und Zwischenfazit

Anders als bei Belastungen durch Luftschadstoffe oder Verkehrslärm, für die in Verordnungen konkrete Grenz- oder Richtwerte genannt werden, gibt es für die Beeinflussung des Kaltlufthaushaltes keine allgemeingültigen Bewertungsmaßstäbe. Laut der VDI-Richtlinie 3787 Blatt 5 (VDI 2003) stellt eine Reduktion der Abflussvolumina um mehr als 10 Prozent eine „hohe vorhabenbedingte Auswirkung“ dar, dies ist insbesondere für bioklimatisch belastete Siedlungsgebiete heranzuziehen. Eine Verringerung um 5 – 10 Prozent wird als „mäßige Auswirkung“ eingestuft, unterhalb von 5 Prozent wird die Auswirkung einer Volumenstromverringering als „geringfügig“ angesehen.

Die Veränderungen der KVS zwischen Ist-Zustand und Planszenario sind deutlich mit Art und Umfang der Nutzungsänderung korreliert. Baukörper stellen dabei einen undurchdringlichen Strömungswiderstand dar. Je höher, größer und dichter die Bebauung ist, desto stärker wird der Kaltluftabfluss eingeschränkt. Im Plangebiet wird dies besonders im östlichen und mittleren Bereich des Vorhabens deutlich, wo aufgrund der Baukörpergröße die Differenzen aus den beiden Szenarien Werte bis zu $-13 \text{ m}^3/(\text{m s})$ erreichen. Kleinere Baukörper, wie beispielsweise im Norden des Planareals, zeigen dagegen aufgrund der besseren Überströmbarkeit einen deutlich geringeren Einfluss mit Werten von ca. -5 bis $-7 \text{ m}^3/(\text{m s})$. Veränderungen, die ausschließlich auf Begrünungsmaßnahmen zurückzuführen sind, wie z.B. am Ostrand des Plangebietes, liegen im Bereich von etwa $-2,5$ bis $-5 \text{ m}^3/(\text{m s})$. Auch außerhalb der Vorhabengrenzen wird der Einfluss der Umnutzung des Planareals sichtbar. In den Siedlungen, die im Westen an das Plangebiet angrenzen, zeigen sich örtlich begrenzt Differenzen zwischen etwa -1 und $+1 \text{ m}^3/(\text{m s})$. Im Nordwesten des Planareals zeigen die Ergebnisse bis in einer Entfernung von 200 m negative Differenzen von weniger als $-0,5 \text{ m}^3/(\text{m s})$, im Nordosten positive Differenzen von mehr als $+0,5 \text{ m}^3/(\text{m s})$ bis etwa 250m Entfernung. Relative Änderungen der KVS bis $\pm 5\%$ und damit im Bereich der Geringfügigkeit, sind ebenso deutlich außerhalb des Planvorhabens feststellbar. Überwiegend positive Änderungen erstrecken sich hierbei bis in das angrenzende Wohngebiet Schlossacker und auch bis in die Ortschaft Waiblingen, negative Änderungen hingegen erstrecken sich überwiegend auf die unbebauten Flächen nach Nordwesten und in den Schlossgarten südlich des Vorhabens. In den Bereich der „hohen vorhabenbedingten“ Änderungen, mit einem Rückgang von mehr als 10%, fallen insbesondere die Flächen, die innerhalb der Scherrenbergstraße und Waiblinger Straße liegen, sich jedoch in einer bioklimatisch günstigen Ausgangssituation (**Abb. 1.5**) befinden. Diese betreffen insbesondere den Friedhof, der südlich an das Plangebiet angrenzt, sowie das Areal um die Scherrenbergstraße 30. In den östlich und westlich an das Plangebiet angrenzenden Flächen hingegen variieren die relativen Änderungen zwischen Abnahmen und Zunahmen der KVS, woraus kein eindeutiger Trend für diese Bereiche ableitbar ist.



Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass mit Realisierung des Planvorhaben deutliche Veränderungen in der Kaltluftvolumenstromdichte zu erwarten sind, die, bedingt durch die Bebauung und Begrünungsmaßnahmen, die stärkste Ausprägung in Form negativer Abweichungen innerhalb des Plangebietes aufweisen. Auch außerhalb der Plangrenzen zeigen sich, bei Betrachtung der relativen Änderung, teilweise hohe Auswirkungen, sowohl in negative als auch positive Richtung. Von überwiegend negativen Änderungen über 10 Prozent sind im Wesentlichen der Friedhof und das Kirchengelände im Süden des Plangebietes, sowie die Flächen um die Scherrenbergstraße 30 betroffen. In den östlich und westlich angrenzenden Bereichen lässt sich aus den Änderungen der KVS keine eindeutige Tendenz feststellen. Es kann außerdem festgehalten werden, dass sich die an das Plangebiet angrenzenden Siedlungsflächen in einer überwiegend günstigen bioklimatischen Ausgangssituation befinden und die Ergebnisse keine negativen Auswirkungen des Planvorhabens auf die nächtliche thermische Belastung (**Kapitel 3.1.1**) in den umliegenden Wohngebieten erwarten lassen.

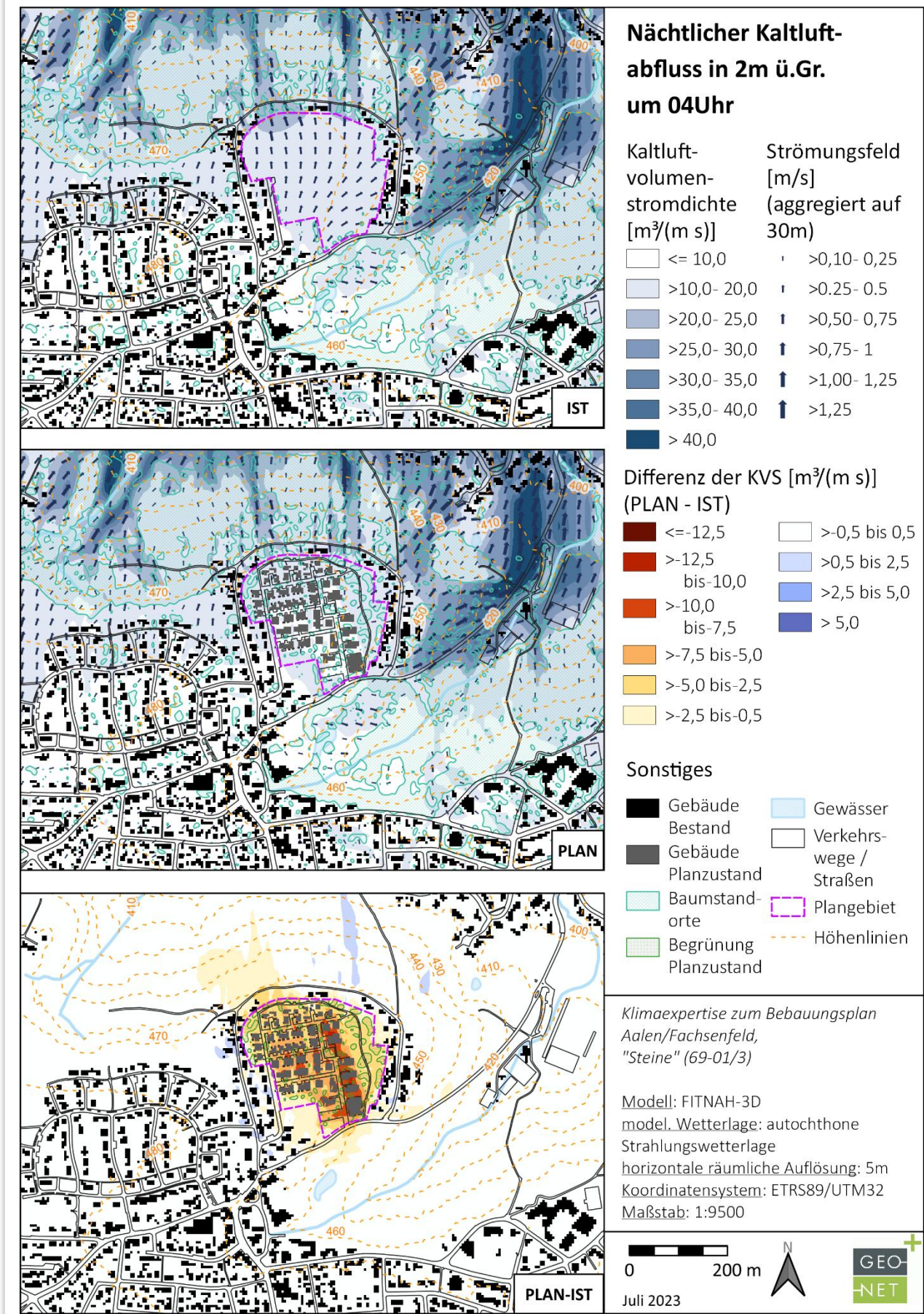


Abb. 3.5: Kaltluftvolumenstromdichte und bodennahes Strömungsfeld zum Zeitpunkt 04Uhr morgens für den Istzustand (oben), den Planfall (mittig) und der relativen Differenz der KVSD zwischen Plan- und Istzustand (unten).

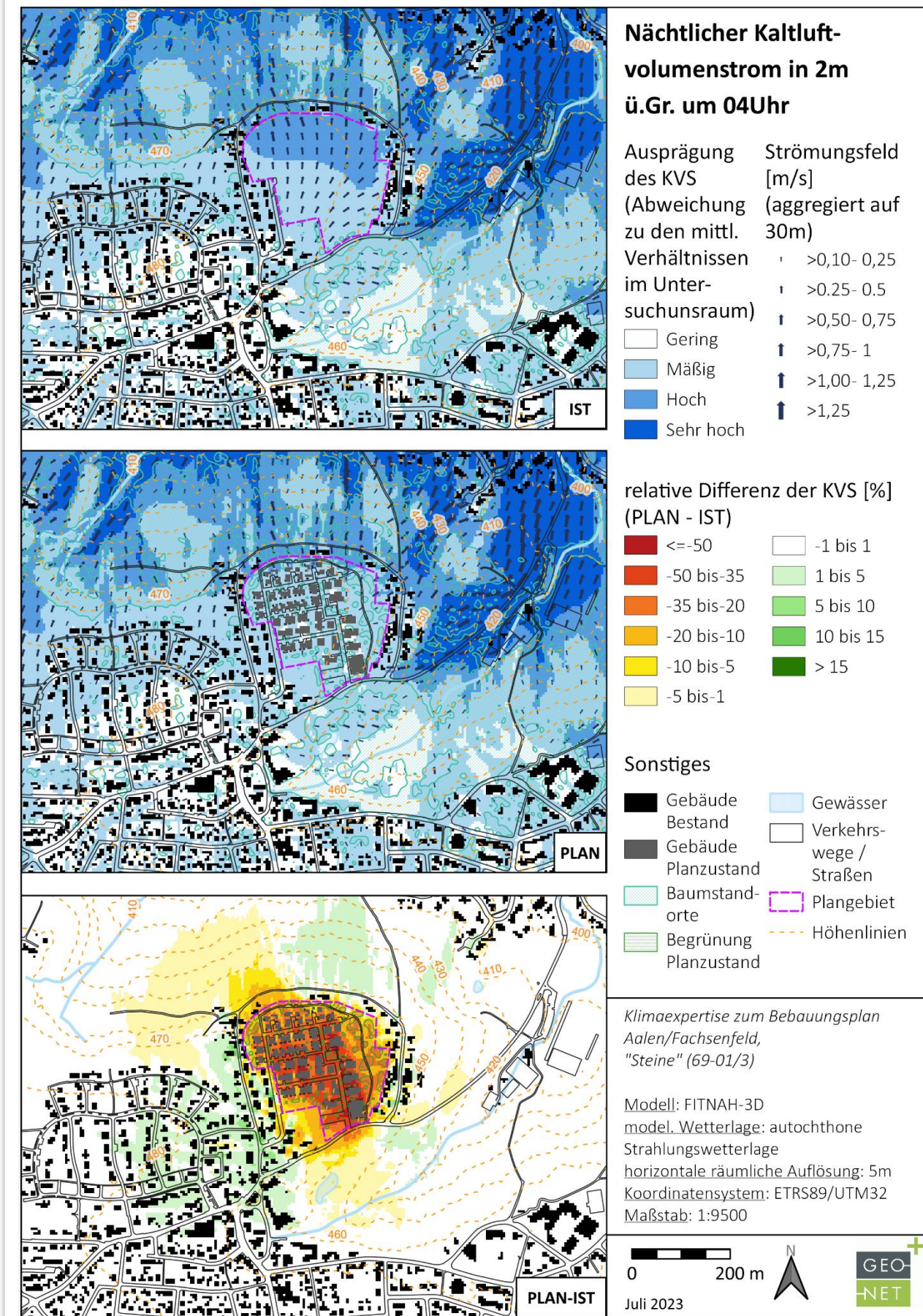


Abb. 3.6: Ausprägung der Kaltluftvolumenstromdichte als Abweichung von den mittleren Verhältnissen im Untersuchungsraum und bodennahes Strömungsfeld zum Zeitpunkt 04Uhr morgens für den Istzustand (oben), den Planfall (mittig) und der relativen Differenz des Kaltluftvolumensstroms zwischen Plan- und Istzustand (unten).



3.2 Physiologisch Äquivalente Temperatur

A. Allgemeines

Meteorologische Parameter wirken nicht unabhängig voneinander, sondern in biometeorologischen Wirkungskomplexen auf das Wohlbefinden des Menschen ein. Zur Bewertung werden Indizes verwendet (Kenngrößen), die Aussagen zur Lufttemperatur und Luftfeuchte, zur Windgeschwindigkeit sowie zu kurz- und langwelligen Strahlungsflüssen kombinieren. Wärmehaushaltsmodelle berechnen den Wärmehaushalt einer „Norm-Person“ mit seiner Umgebung und können so die Wärmebelastung eines Menschen abschätzen³. Beispiele für solche Kenngrößen sind die PET (Physiologisch Äquivalente Temperatur), der PMV-Wert (Predicted Mean Vote) und der UTCI (Universal Thermal Climate Index).

In der vorliegenden Arbeit wird zur Bewertung der Tagsituation der humanbioklimatische Index PET um 14:00 Uhr MEZ an einem wolkenlosen Sommertag herangezogen (vgl. Höppe und Mayer 1987). Gegenüber vergleichbaren Indizes hat dieser den Vorteil, aufgrund der °C-Einheit auch von Nichtfachleuten besser nachvollzogen werden zu können. Darüber hinaus handelt es sich bei der PET um eine Größe, die sich in der Fachwelt zu einer Art „Quasi-Standard“ entwickelt hat, sodass sich die Ergebnisse mit denen anderer Städte in Deutschland vergleichen lassen. Wie die übrigen humanbiometeorologischen Indizes bezieht sich die PET auf außenklimatische Bedingungen und zeigt eine starke Abhängigkeit von der Strahlungstemperatur (Kuttler 1999). Mit Blick auf die Wärmebelastung ist sie damit vor allem für die Bewertung des Aufenthalts im Freien am Tage sinnvoll einsetzbar und kann als die tatsächlich empfundene Temperatur angesehen werden.

Für die PET existiert in der VDI-Richtlinie 3787, Blatt 9 eine absolute Bewertungsskala, die das thermische Empfinden und die physiologischen Belastungsstufen quantifizieren (z.B. Starke Wärmebelastung ab PET 35 °C; Tab. 1.1; VDI 2004).

PET	Thermisches Empfinden	Physiologische Belastungsstufe
4 °C	Sehr kalt	Extreme Kältebelastung
8 °C	Kalt	Starke Kältebelastung
13 °C	Kühl	Mässige Kältebelastung
18 °C	Leicht kühl	Schwäche Kältebelastung
20 °C	Behaglich	Keine Wärmebelastung
23 °C	Leicht warm	Schwache Wärmebelastung
29 °C	Warm	Mässige Wärmebelastung
35 °C	Heiss	Starke Wärmebelastung
41 °C	Sehr heiss	Extreme Wärmebelastung

Tab. 1: Zuordnung von Schwellenwerten für den Bewertungsindex PET während der Tagesstunden (nach VDI-RL 3787)

Die Ergebnisse aus der Modellierung zur thermischen Belastung am Tage sind in **Abb. 3.7** für den Ist-Zustand (oben), den Planzustand (mittig) und der sich aus beiden Szenarien ergebenden Differenz (unten) dargestellt.

³ Energiebilanzmodelle für den menschlichen Wärmehaushalt bezogen auf das Temperaturempfinden einer Durchschnittsperson („Klima-Michel“ mit folgenden Annahmen: 1,75 m, 75 kg, 1,9 m² Körperoberfläche, männlich, etwa 35 Jahre; vgl. Jendritzky 1990).



B. Ergebnisse aus dem Istzustand

Im Istzustand zeigen sich zum Zeitpunkt 14 Uhr sehr starke Temperaturgradienten der PET. Diese zeigen sich besonders deutlich innerhalb der thermisch hoch belasteten Gebiete in den Wohnsiedlungen und den dort durch Gebäude oder Bäume verschatteten Flächen. So werden auf kleinskaligem Raum Temperaturunterschiede bis zu 16K zwischen unverschatteten und verschatteten Bereichen ermittelt. Auf den verschatteten Flächen wird maximal eine mäßige Wärmebelastung mit einer PET bis etwa 32°C erreicht. Sehr günstige Aufenthaltbedingungen ohne Wärmebelastung können für die größeren zusammenhängenden Park- oder Waldareale festgestellt werden, die sich nördlich und südlich des Planareals erstrecken. Dem gegenüber stehen die besonnten Areale, wo die Wärmebelastung mit einer PET von deutlich mehr als 35°C häufig als sehr stark (Rotorange/Rot, >35°C), über versiegelten oder bebauten Flächen z.T. auch als extrem (dunkelrot, >41°C), einzustufen ist. Das weitgehend unverschattete Vorhabengebiet kann jedoch überwiegend als mäßig bis stark belastet eingeordnet werden, da es aufgrund der Nähe zu den großen Waldarealen von einem Abkühlungseffekt profitieren kann. Im Mittel beträgt die thermische Belastung innerhalb des Plangebietes 34,8°C, Minimumwerte von 21,8°C werden in verschatteten Bereichen im südlichen Teil, maximale Werte bis 40,8°C im östlichen Teil erreicht. Im gesamten Untersuchungsraum beträgt die Spannweite der PET zwischen 15,8°C und 44,3°C und beträgt im Mittel 32,6°C.

C. Ergebnisse aus dem Planszenario

Im Planfall bietet sich aufgrund zusätzlicher Gebäudekörper und einem geänderten Baumbestand ein differenzierteres Bild, dass sich durch eine sehr unterschiedlich ausgeprägte Wärmebelastung darstellt. Besonders zwischen den Gebäudekörpern werden sehr starke Belastungsstufen erreicht. Ein deutlicher Schattenwurf durch die Neubauten zeigt sich nur im Bereich höherer Gebäudekörper. Für niedrige Gebäude kann aufgrund der Auflösung kein, zur Reduktion der thermischen Belastung beitragender Schattenwurf abgebildet werden. Straßengrün wiederum bewirkt eine merkliche Senkung der Temperaturen über den versiegelten Flächen im Vergleich zu unverschattetem Straßenraum. Aufgrund der zusätzlichen Bebauung und Versiegelung im Vergleich zum Istzustand und dem damit einhergehenden Wärmestau durch verminderte Durchlüftung, werden im Planszenario höhere Maximumwerte bis teilweise 41,7°C erreicht. Jedoch zeigen die Ergebnisse auch, dass die Begrünungsmaßnahmen innerhalb der Vorhabengrenzen wiederum zu einer Senkung des Minimumwertes der PET auf 21,2°C und einer deutlichen Verringerung der mittleren thermischen Belastung auf 31,0°C führen.

D. Differenzen und Zwischenfazit

Die Differenzenabbildung der PET zeigt positive als auch deutlich negative Temperaturabweichungen zum Istzustand, wobei Temperaturdifferenzen von +/-3K in der Farbdarstellung als geringfügige Änderung unberücksichtigt bleiben. Die Werte reichen von -14,7K bis +14,1K, im Mittel beträgt die Differenz zum Istzustand -3,8K. Im Großen und Ganzen zeigt die Differenzenabbildung, dass Änderungen der PET im Wesentlichen auf das Plangebiet begrenzt sind und sich, vor allem im östlichen Plangebiet, durch eine großflächige Abnahme gegenüber dem Istzustand, ausweisen. Diese sind vorwiegend auf die Begrünungsmaßnahmen zurückzuführen, wodurch auch umliegende Flächen von einer Abkühlung profitieren. Positive Temperaturabweichungen verorten sich hauptsächlich auf den Flächen zwischen den Häusern und betragen überwiegend etwa +4K bis +5K, punktuell werden auch mehr als +12K erreicht. Die versiegelten Flächen der Verkehrswege wiederum zeigen keine signifikanten Änderungen der PET.



Hinsichtlich der Wärmebelastung am Tage sind mit der Nutzungsänderungen im Plangebiet keine negativen Auswirkungen auf die bioklimatische Situation in den umliegenden Wohngebieten zu erwarten. Wesentliche Änderungen der PET beschränken sich auf die Flächen innerhalb des Plangebietes und sind überwiegend mit einer reduzierten Wärmebelastung gegenüber dem Istzustand verbunden, die auf die zusätzliche Begrünung zurückzuführen ist.

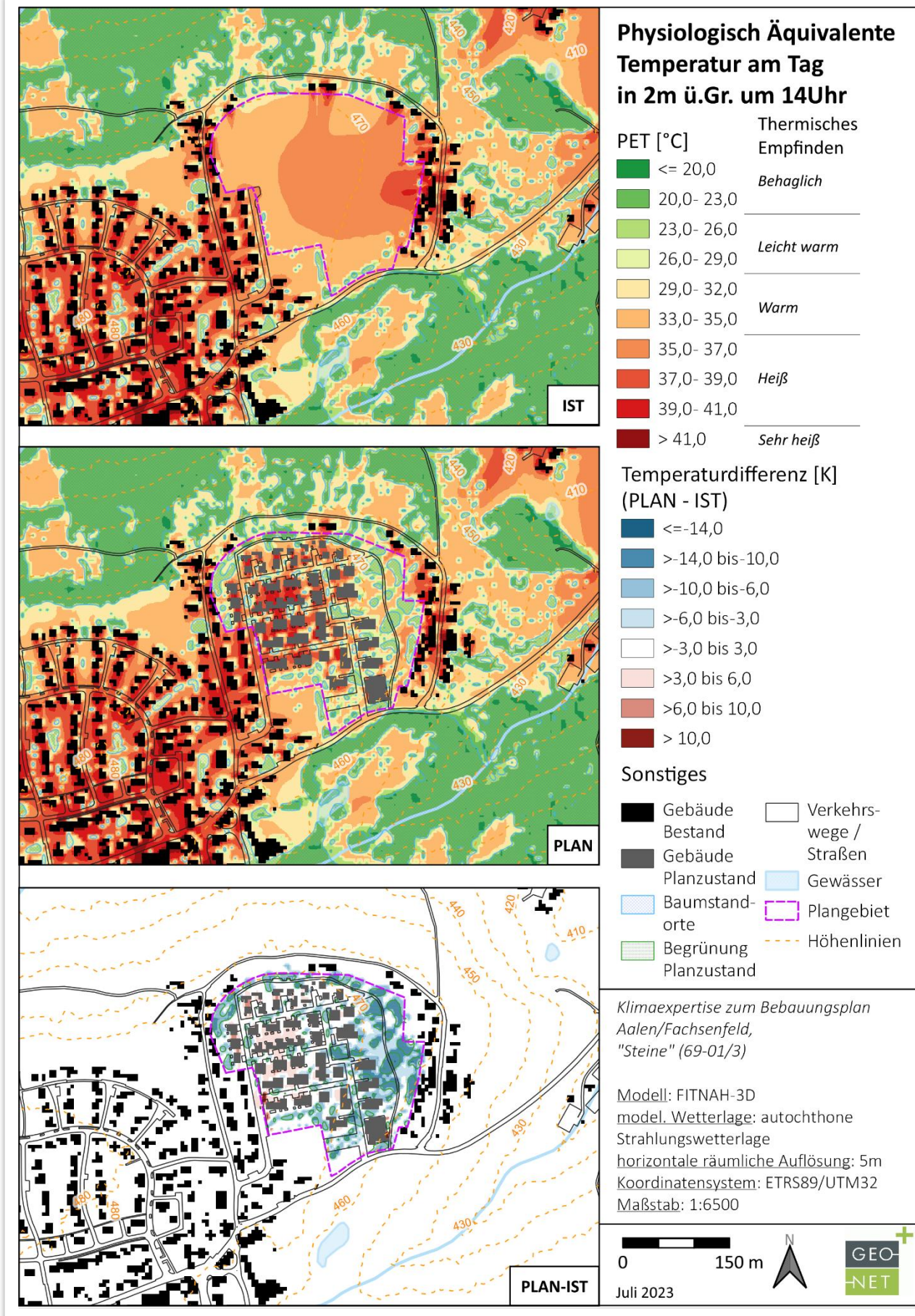


Abb. 3.7: Physiologisch äquivalente Temperatur (PET) zum Zeitpunkt 14 Uhr für den Istzustand, den Planfall und als Differenzfeld zwischen Plan- und Istzustand.





4. Fazit

Die vorliegende Untersuchung hat zum Ziel, die Auswirkungen einer Umsetzung des Planvorhabens auf den nächtlichen Kaltlufthaushalt, sowie der Wärmebelastung am Tage während austauscharmen sommerlichen Hochdruckwetterlagen mithilfe numerischer Berechnungen zu bewerten. Die aus diesen Modellrechnungen ermittelten klimaökologischen Auswirkungen fassen sich dabei wie folgt zusammen:

Plangebiet

Die sich für den nächtlichen Kaltlufthaushalt ergebenden Resultate zeigen im Vergleich zum Istzustand eine großflächige Abschwächung der Kaltluftströmung durch das geplante Bauvorhaben, deren Ausprägung von der Dichte und Art der Bebauung als auch Begrünung abhängt. Die größten Änderungen betreffen die Strömungsgeschwindigkeit und die Kaltluftvolumenstromdichte und sind dabei im nördlichen und im südlichen Plangebiet festzustellen. Die nächtliche Temperaturentwicklung zeigt besonders über den versiegelten Flächen des Straßenraumes als auch für die Baumstandorte eine deutliche Zunahme gegenüber dem Istzustand. Im Vergleich zu den umliegenden Siedlungsgebieten zeigen die Ergebnisse für das Plangebiet jedoch ein vergleichbares Temperaturniveau als auch eine vergleichbare Durchlüftungssituation.

Die Ergebnisse zur Wärmebelastung am Tage zeigen eine erheblich reduzierte Erwärmung des Vorhabengebietes im Planszenario verglichen mit dem Istzustand. Die großflächigen Begrünungsmaßnahmen leisten dabei einen signifikanten Beitrag zur Minderung der thermischen Belastung gegenüber den unverschatteten Freiflächen im Istzustand.

Umgebung

Außerhalb der Vorhabengrenzen sind vorwiegend im Nordwesten und im Süden negative Auswirkungen auf die Kaltluftströmung durch das Planvorhaben festzustellen, welche teilweise mit einer Reduktion von mehr als 10% einhergehen. Diese betreffen überwiegend die Flächen um den Friedhof und vereinzelter weiterer Gebiete innerhalb der Scherrenbergstraße und der Waiblinger Straße. Signifikante Auswirkungen auf das Temperaturgeschehen und die bioklimatische Situation in der Nacht und am Tag durch das Planvorhaben konnten jedoch nicht festgestellt werden.

In Anbetracht der Ergebnisse kann festgehalten werden, dass die geplante Nutzungsänderung im vorliegenden Fall als vertretbar einzuordnen ist. Mit Hinblick auf die ermittelten und nach Richtlinie der VDI 3787 Blatt 5 eingeordneten teilweise „hohen vorhabenbedingten“ Auswirkungen (in Bezug auf eine Reduktion des Kaltluftvolumenstroms von mehr als 10 %), konnte jedoch keine Verschlechterung der thermischen Belastung, bei gleichzeitig vorliegender günstiger bioklimatischer Situation (Vgl. Kap.1.2), für die umliegenden Gebiete festgestellt werden. Die stärksten Änderungen, die sich gegenüber dem Istzustand ergeben, begrenzen sich auf das Plangebiet.

5. Zur Weiterentwicklung des städtebaulichen Konzeptes

5.1. Stand September 2023

Nach Fertigstellung des vorliegenden klimaökologischen Gutachtens haben sich im Rahmen der Weiterentwicklung des städtebaulichen Konzeptes Änderungen im Planvorhaben ergeben. Die Änderungen gegenüber dem ursprünglichen Konzept (**Abb. 1.4**) umfassen im Wesentlichen Anpassungen von Gebäudestandorten und -anzahl, sowie der Verlagerung von Bäumen zu Baumreihen auf eine Straßenseite. Die betroffenen Gebiete wurden im städtebaulichen Konzept in **Abb. 5.1** zur Veranschaulichung farblich hervorgehoben. Dabei sind in „Gebiet 1“ zwei 2-geschossige Doppelhaushälften (DHH) hinzugekommen. In „Gebiet 2“ wurden die Standorte der Einfamilienhäuser (EFH) verlagert und die Anzahl von 13 auf 10 verringert. Im Gegenzug sind vier DHH im Osten hinzugekommen. In „Gebiet 3“ wurden zwei DHH und zwei Dreier-Reihenhäuser (RH) zu zwei Vierer-RH zusammengefasst. In „Gebiet 4“ wurden die Standorte des Parkdecks und des südlichsten Geschosswohnbaus (GWB) miteinander getauscht werden.

An dieser Stelle soll argumentativ dargelegt werden, inwieweit die Änderungen im Planvorhaben Nr.69-01/3 "Steine" Auswirkungen auf die bisher ermittelten Ergebnisse zur bioklimatischen Situation haben, da eine Neumodellierung des geänderten Planvorhabens aus gutachterlicher Sicht keine grundlegend neuen Erkenntnisse hervorbringen würde.

Generell ist festzustellen, dass sich das neue Konzept nicht maßgeblich von der ursprünglichen Planung (**Abb. 1.4**) unterscheidet. Es gibt keine größeren Änderungen in Bezug auf die Größe des Baugebietes oder der Höhe der Gebäudekörper. Wesentliche Grünflächen bleiben erhalten, ebenso wie straßenbegleitenden Begrünungsmaßnahmen, die sich nur durch Verlagerung von Baumstandorten unterscheiden. Die grundlegende städtebauliche Struktur, wie sie im ursprünglichen Planvorhaben vorgesehen ist, bleibt somit bestehen.

Die Kernaussagen aus den Ergebnissen zur Bioklimatologie besagen, dass wesentliche Temperaturänderungen, sowohl am Tage als auch in der Nacht, nur innerhalb des Plangebietes zu erwarten sind und sich hauptsächlich auf Versiegelungs- und Begrünungsmaßnahmen zurückführen lassen, sowie teilweise auf Wärmestau in Abhängigkeit von der Bebauungsdichte (**Kap. 3.1.1** und **Kap. 3.2**). Die genannten Punkte zur erwarteten Temperaturentwicklung sind ebenfalls auf das neue städtebauliche Konzept übertragbar, da sich keine gravierenden Änderungen in der Baumasse und den Gebäudeabständen zum ursprünglichen Konzept ergeben. Abgesehen davon, dass sich Temperaturextrema innerhalb des Plangebietes möglicherweise verlagern und somit auch die Differenzen etwas anders abbilden, wird das durchschnittliche Temperaturverhalten am Tage und in der Nacht keiner erheblichen Änderung gegenüber den bisher dargestellten Ergebnissen unterliegen. Ebenso wird für das Strömungsfeld keine wesentliche Änderung zwischen beiden städtebaulichen Konzepten erwartet. Grundsätzlich wirken vor allem Vegetation und Gebäude als Hindernisstrukturen auf das Windfeld und bremsen es ab. Signifikante Abnahmen gegenüber dem Istzustand zeigen sich in den Ergebnissen insbesondere innerhalb des Plangebietes und besonders im nördlichen Plangebiet, wo das Windfeld sonst aufgrund der Hangabtriebskraft stärker ausgeprägt ist, jedoch durch zusätzliche Vegetation und Gebäude stark abgebremst wird (**Abb. 3.3**). Im nächtlichen Kaltluftabfluss zeigen sich diese Differenzen gegenüber dem Istzustand nochmal deutlicher (**Abb. 3.5** und **Abb. 3.6**). Besonders im Bereich der größeren



GWB und dem Parkdeck zeigt sich der Einfluss auf das Strömungsfeld der Gebäudekörper bis in größere Höhen, wohingegen kleinere Gebäudekörper, wie Einfamilienhäuser und Doppelhaushälften, besser überströmt werden und weniger stark den Kaltluftabfluss beeinträchtigen. Durch die im aktualisierten Konzept vorgenommene Vertauschung der Gebäudestandorte von Parkdeck und dem GWB im südlichen Plangebiet („Gebiet 4“) werden sich die prognostizierten Abnahmen der Kaltluftvolumenstromdichte möglicherweise etwas stärker in Richtung Friedhof konzentrieren und etwas weniger stark in Richtung Süden ausprägen. Da ansonsten die grundsätzliche Anordnung der verschiedenen Gebäudetypen – sowohl derjenigen, die überströmt werden (EFH, DHH, RH), als auch derjenigen, die durch ihre Ausmaße stärker auf das Strömungsfeld wirken (Parkdeck, GWB) – im Wesentlichen gleich bleibt, sind keine signifikanten Änderungen der bisher ermittelten Ergebnisse, insbesondere auch im Hinblick auf die umliegenden Gebiete, zu erwarten. Die stärksten Abnahmen im Strömungsfeld im Vergleich zum Istzustand wären weiterhin im mittleren bis östlichen Plangebiet im Bereich der GWB zu erwarten.

In Anbetracht der genannten Aspekte würden die in **Kap. 4** zusammengefassten Aussagen auch für das vorliegende städtebauliche Konzept ihre Gültigkeit behalten.



Abb. 5.1: Aktualisierter städtebaulicher Entwurf zum Bebauungsplan „Steine“ (Quelle: Project GmbH, 29.09.2023) mit farblich hervorgehobenen, von Anpassungen betroffenen Gebieten „1“ bis „4“.

5.2. Stand Dezember 2025

Im Zuge weiterführender Entwicklungen wurde das städtebauliche Konzept zum Bebauungsplan 69-01/03 „Fachsenfeld Steine“ erneut überarbeitet (Vgl. **Abb. 5.2**). Mit Stand 10. Dezember 2025 ergaben sich Änderungen insbesondere im südlichen Plangebiet zwischen den geplanten Verkehrswegen „In der Steine“, „Straße A“ und „Straße B“ im Vergleich zum Entwurf von September 2023. Die hierfür im Entwurf von 2023 vorgesehenen zwei 2-stöckigen Reihenhäuser, zwei 3-stöckigen Geschosswohnbauten sowie das Parkdeck wurden ersetzt durch eine aufgelockerte Bebauung bestehend aus 14 Einfamilienhäuser inklusive hinzugekommener Zufahrtswege. Nördlich der „Straße C“ wiederum wurde das zusammenhängende Kettenhaus ersetzt durch eine leicht offenere Gebäudestruktur aus Doppelhaushälften und Reihenhäusern, wie sie bereits südlich der „Straße D“ vorgesehen sind. Zwischen „Straße A“ und dem Panoramaweg wurden die Geschosswohnbauten zugunsten einer kleineren Gebäudekubatur mit jeweils sechs Wohneinheiten, statt der vorgesehenen 11 bzw. 14 Wohneinheiten, verändert. Anstelle des Parkdecks sind nun mehr Grünflächen und Begrünungsmaßnahmen angedacht.



Abb. 5.2: Aktualisierter städtebaulicher Entwurf zum Bebauungsplan „Steine“ (Quelle: Stadtplanungsamt Aalen, 10.12.2025) mit farblicher Hervorhebung der von Anpassungen betroffenen Gebiete im Vergleich zum Entwurf mit Stand 29.09.2023.

Insgesamt lässt sich somit festhalten, dass die erneute Überarbeitung des städtebaulichen Konzeptes zugunsten einer leichten Auflockerung der Siedlungsstruktur erfolgte. Aufgrund der jedoch in überwiegendem Maße gleichartigen Bebauung innerhalb des Plangebietes sind hierbei aus fachlicher Sicht keine substantziellen Aus-



wirkungen durch die Entwurfsänderung auf die prognostizierten lokalen klimatischen Bedingungen, gegenüber dem ersten modellierten Planzustand, zu erwarten, sodass auf eine erneute Modellierung zur bioklimatischen Situation unter autochthonen Bedingungen verzichtet werden kann. Im Folgenden soll dies argumentativ begründet und dargelegt werden:

So wird im vorliegenden Fall die Temperaturentwicklung am Tage maßgeblich durch Begrünung und Schattenwurf begünstigt, sowie durch Belüftung, soweit sich eine Strömung unter den autochthonen Bedingungen einstellt. Je dichter und größer die Bebauung ist, umso eher kann sich ein Wärmestau aufgrund fehlender Durchlüftung zwischen den Gebäudekörpern bilden und lokale Temperaturmaxima begünstigen. Für die nun geplante aufgelockerte Einfamilienhausbebauung im Süden ist hingegen ein sehr ähnliches Temperaturniveau zu erwarten, wie es sich in den Modellergebnissen für das nördliche Plangebiet und dem dort angegebenen Areal aus Einfamilienhäusern ausgebildet hat (Vgl. **Abb. 3.7**). Zudem sind aufgrund veränderter Standorte von Gebäuden und Vegetation auch Verlagerungen von Temperaturschwerpunkten zu erwarten, jedoch keine wesentlichen Auswirkungen auf das allgemeine Temperaturniveau innerhalb des Plangebietes. Gleichfalls ist für die nächtliche Temperaturentwicklung im südlichen Planbereich ein Verhalten analog dem Areal im nördlichen Plangebiet anzunehmen. Das Temperaturfeld für die Nacht bewegt sich dort unter den angenommenen Bedingungen zwischen 13°C und 15°C bei annähernd gleicher Bebauungsart und -dichte (Vgl. **Abb. 3.1**). Abgesehen von den Zufahrtswegen, welche ebenso im nördlichen Plangebiet vorgesehen sind, sind keine weiteren Versiegelungsmaßnahmen geplant, welche sonst weniger stark zur nächtlichen Auskühlung der umgebenden Luftmassen beitragen.

Unter der angenommenen Schwachwindlage ist auch für die nächtliche Belüftungssituation von keiner Verschlechterung auszugehen im Vergleich zum ersten Planszenario, da die Kaltluftströmung im Untersuchungsgebiet überwiegend geländefolgend erfolgt und weder die Bebauungsdichte noch die Bebauungshöhe gravierenden Änderungen unterliegen (Vgl. **Abb. 3.3** und **Abb. 3.5**). So zeigen insbesondere Einfamilienhäuser in den Modellrechnungen bessere Bedingungen für ein Überströmen der Kaltluftmassen als mehrgeschossige Bauten. Das nächtliche Windfeld sollte somit ein annähernd gleiches Verhalten ausbilden, wobei die nächtliche Kaltluftströmung weiterhin aus Westen und Süden in das Plangebiet hineinströmt und nachfolgend nach Norden und Osten hinausfließt. Aufgrund der verringerten Gebäudekubaturen im südlichen und im südöstlichen Plangebiet und dem Wegfall des Parkdecks ist jedoch anzunehmen, dass der Kaltluftabfluss dort etwas weniger stark behindert wird.

Somit lässt sich abschließend festhalten, dass aus den dargelegten Gründen keine grundlegenden Modifikationen der lokalklimatischen Bedingungen zu erwarten sind und die Kernaussagen aus **Kap. 4** dieses Gutachtens weiterhin Bestand haben. Die Planungshinweise aus **Kap. 6** behalten auch weiterhin ihren empfehlenden Charakter, insofern Anpassungsmaßnahmen nicht bereits in der Planung berücksichtigt sind.



6. Planungshinweise

Die Empfehlungen zielen darauf ab, eine Verbesserung des Mikroklimas und des thermischen Komforts zu schaffen, soweit genügend Raum für Anpassungsmaßnahmen gegeben ist oder diese nicht bereits Bestandteil des Planvorhabens sind. Dahingehend lassen sich allgemeine Hinweise für den Geltungsbereich des vorliegenden Planvorhabens festhalten. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass insbesondere die nächtliche Frischluftzufuhr nicht in weiterem Maße beeinträchtigt wird.

Schwammstadtprinzip

Im Allgemeinen sollte auf das Schwammstadtprinzip gebaut werden, welche durch Umsetzung spezifischer Maßnahmen den Rückhalt, die Speicherung und die Nutzung von anfallendem Niederschlagswasser ermöglichen. Dabei soll sich vom Prinzip der urbane Wasserhaushalt dem eines natürlichen Wasserhaushalts annähern. Eine damit einhergehende erhöhte Wasserverfügbarkeit trägt auch zur Hitzereduktion durch Transpirationskühlung bei. Folgende Maßnahme bilden den Grundsatz für eine Schwammstadt:

- Rigolen und Versickerungsmulden auf Grünflächen
- versickerungsfähige Beläge statt Vollversiegelung
- Dach- als auch Fassadenbegrünung
- Retentionsdächer, sowie Retentionsflächen

Der Rückhalt von Niederschlagswasser, sowie ein dezentrales und zeitverzögertes Ableiten und Versickern, verhindert einerseits den Verlust von Niederschlagswasser in die Kanalisation, als auch die Überlastung der Kanalisation durch zu schnellen Oberflächenabfluss bei extremen Niederschlagsereignissen. Außerdem ermöglicht das Speichern von Wasser in Rückhaltesystemen eine Bewässerung von Grünanlagen während Trockenperioden.

Aufrechterhaltung des Luftaustauschs im Untersuchungsgebiet

Um das bodennahe Kaltluftströmungsfeld und den Kaltluftvolumenstrom so geringfügig wie möglich zu beeinträchtigen, ist es wichtig den Strömungswiderstand der Gebäude auf ein Minimum zu beschränken. Hierfür ist vor allem die Erhaltung von Baulücken zwischen den Gebäudekörpern von Bedeutung, sollten sich etwa planerische Änderungen in der Anzahl und Größe der Baukörper ergeben. Bei einer reinen Änderung in der Baukörperstellung wäre keine größere Modifikation im Kaltluftvolumenstrom zu erwarten, gegenüber einer Änderung in der Baukörpergröße oder -anzahl.

Bei der Gestaltung von Freiflächen sollte auf eine möglichst sinnvolle Abwechslung von baumbestandenen und offenen Freiflächen geachtet werden. Dadurch kann einerseits durch Verschattung und Verdunstungskälte eine hohe lokale Aufenthaltsqualität am Tage geschaffen werden, als auch andererseits die nächtliche Auskühlung gefördert werden, da dichte Baumbestände die tagsüber entstandenen warmen Luftmassen aufstauen können, als auch stärkeren Einfluss auf den Kaltlufttransport im Quartier ausüben. Dies ist im vorliegenden Planvorhaben bereits vorgesehen.

Verschattung von Gebäuden

Die Verschattung von Gebäuden und Freiflächen durch Bäume oder auch durch bautechnische Maßnahmen (Ausführungsbeispiele hierfür sind Vordächer, Vertikallamellen, Markisen und Sonnensegel) ist eine gute Maßnahme der Hitzevorsorge. Das primäre Ziel ist es, die direkte Aufheizung sowie die Wärmespeicherung der Gebäude über die Gebäudehülle (Dach, Fassade, Fenster) oder auch der befestigten Erschließungsflächen zu verringern. Sonnenexponierte Gebäudeseiten sind dabei von besonderer Bedeutung. Großkronige Laub-



bäume sind gegenüber Nadelbäumen zu bevorzugen, da sie im Winter einen vergleichsweise geringen Einfluss auf die Einstrahlung ausüben und dadurch zu einer Reduktion von Heizenergie und den damit verbundenen Heizkosten und Treibhausgasemissionen führen können.

Verschattung von Freiflächen und Straßenraum

Die Reduzierung von ruhendem Verkehr bietet Freiraum für Begrünungsmaßnahmen. Verkehrsbegleitendes Grün (Straßenbäume, Baumalleen, mobiles Grün), wie es das Planvorhaben bereits vorsieht, kann zur Hitze- und Reduktion beitragen, insbesondere in den thermisch stärker belasteten Straßenräumen. Auch sollten die Spielbereiche im Plangebietes ausreichend verschattet sein, um eine gute Aufenthaltsqualität in diesen Bereichen zu gewährleisten. Für die Begrünung sollten Trocken- und Hitzeresistente Pflanzenarten bevorzugt werden, sowie eine Vernetzung von Grünflächen angestrebt werden, die einem Austrocknen und Überhitzen belasteter Räume entgegenwirken.

Bedeutung von Dach- und Fassadenbegrünung

Die Dach- und Fassadenbegrünung zählen zu den effektiven Maßnahmen, die Erwärmung der Gebäude am Tage abzuschwächen. Sie wirkt zweifach positiv auf einen Gebäudebestand ein, da einerseits durch die Schattenspende die Wärmeeinstrahlung am Tage reduziert wird und andererseits über die Verdunstungskälte des Wassers Wärme abgeführt wird. Eine Fassadenbegrünung ist insbesondere an West- und Südfassaden wirksam, da hier die stärkste Einstrahlung stattfindet. Darüber hinaus mindert eine Begrünung die Schallreflexion und damit die Lärmbelastung und kann zu einem gewissen Grad Stäube und Luftschadstoffe binden. Die Möglichkeiten bei der Realisierung einer Fassadenbegrünung werden allerdings entscheidend von der baulichen Ausgangssituation mitbestimmt.

Bei einer Dachbegrünung wirkt die Vegetation zusammen mit dem Substrat isolierend und verringert damit das Aufheizen darunter liegenden Wohn- bzw. Aufenthaltsraums. Zudem senkt die Dachbegrünung die Oberflächentemperatur des Daches aufgrund der Verdunstung von Wasser ab und verringert die Temperatur in der oberflächennahen Luftschicht. Allerdings kommt es hier durch die Traufhöhe der höheren zu einer vertikalen Entkopplung der positiven Effekte. Weiterhin ist ein Abkühleffekt im bodennahen Bereich durch Dachbegrünung nur für relativ niedrige Gebäudehöhen (< 5m, beispielsweise Tiefgaragen) gegeben. Gründächer auf 3- und mehrgeschossigen Gebäuden zeigen in der untersten Schicht der Stadtatmosphäre (= Aufenthaltsbereich des Menschen) keinen nennenswerten positiven Temperatureffekt, jedoch profitieren die oberen Geschosse aufgrund der kühleren Luftmassen von einem verbesserten Innenraumklima. Voraussetzung für die Kühlwirkung ist allerdings immer ein ausreichendes Wasserangebot für die Vegetation. Sollte bei längeren Hitzeperioden die Vegetation austrocknen, steigen die Temperaturen wieder auf das Niveau eines normalen Daches an und können sogar darüber hinausgehen. Der Kühlungseffekt für die Innenräume bleibt dabei aber erhalten. Im Winter isoliert ein Gründach zusätzlich und kann zur Senkung des Heizbedarfes beitragen. Ein weiterer Vorteil von Dachbegrünung ist im Retentionsvermögen von Regenwasser zu sehen, wodurch die Kanalisation vor allem bei Starkregenereignissen entlastet wird.

Verringerung der Wärmebelastung im Siedlungsraum

Während am Tage die direkte, kurzweilige Strahlung der Sonne wirksam ist, geben nachts Bauwerke und versiegelte Oberflächen die tagsüber gespeicherte Energie als langwellige Wärmestrahlung wieder ab. Durch die Verringerung des Wärmeinputs am Tage wird gleichzeitig weniger Strahlungsenergie in der Baumasse gespeichert und damit in der Nacht auch weniger Wärme an die Luft abgegeben. Neben einer hohen Grün-



ausstattung lässt sich zudem durch die Verwendung von hellen Baumaterialien die Reflexion des Sonnenlichtes (Albedo) erhöhen, so dass ebenerdig versiegelte Flächen oder auch Fassaden stärker zurückstrahlen. Dadurch bleiben sie kühler und nehmen damit insgesamt weniger Wärmeenergie auf.



7. Literatur

Boden T.A., Marland G., Andres R.J. (2017): Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO₂ Emissions. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A.

Cubasch, U., D. Wuebbles, D. Chen, M.C. Facchini, D. Frame, N. Mahowald, & J.-G. Winther (2013): Introduction. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Autoren: Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

DWD – Deutscher Wetterdienst (2022): Datenbasis: Deutscher Wetterdienst, Deutscher Klimaatlas. https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaatlas/klimaatlas_node.html

GEO-NET Umweltconsulting GmbH (2018): Klimagerechtes Flächenmanagement Stadt Aalen.

Jendritzky, G. (1990): Klimatologie. Kapitel: Lokale Maßnahmen gegen den globalen Klimawandel. Hannover: Akad. für Raumforschung und Landesplanung.

Kuttler, W. (2013): Methodik zur räumlichen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen : fortgeschriebenes Klima-Michel-Modell. Paderborn: Schöningh (2. Auflage).

Mosimann, Th., P. Trute & Th. Frey (1999): Schutzgut Klima/Luft in der Landschaftsplanung. Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen, Heft 4/99.

Moss R. H., Edmonds J. A., Hibbard K. A., Manning M. R., Rose S. K., van Vuuren D. P., Carter T. R., Emori S., Kainuma M., Kram T., Meehl G. A., Mitchell J. F. B., Nakicenovic N., Riahi K., Smith S. J., Stouffer R. J., Thomson A. M., Weyant J. P., Wilbanks T. J. (2010): The next generation of scenarios for climate change research and assessment. Nature 463, 747–756.

Peters G.P., Andrew R.M., Boden T., Canadell J.G., Ciais P., Le Quéré C., Marland G., Raupach M.R., Wilson C. (2013): The challenge to keep global warming below 2 °C. Nat. Clim. Change 3, 4–6.

VDI (2003): Richtlinie VDI 3787 Blatt 5 Umweltmeteorologie – Lokale Kaltluft. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.

VDI (2004): VDI-Richtlinie 3787 Blatt 9. Umweltmeteorologie. Berücksichtigung von Klima und Lufthygiene in räumlichen Planungen. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.

VDI (2008): VDI-Richtlinie 3785 Blatt 1. Umweltmeteorologie. Methodik und Ergebnisdarstellung von Untersuchungen zum planungsrelevanten Stadtklima.



8. Glossar

Ausgleichsleistung: Durch lokalen → Luftaustausch bzw. Lufttransport zwischen → Ausgleichs- und → Wirkungsraum wird eine positive Beeinflussung der bioklimatischen bzw. lufthygienischen Verhältnisse erzielt.

Ausgleichsraum: Grüengeprägte, relativ unbelastete Freifläche, die an einen Wirkungsraum angrenzt oder mit diesem über wenig raue Strukturen (→ Leitbahnen) verbunden ist. Durch die Bildung kühlerer und frischerer Luft sowie über funktionsfähige Austauschbeziehungen trägt dieser zur Verminderung oder zum Abbau der Belastungen im Wirkungsraum bei. Mit seinen günstigen klimatischen und lufthygienischen Eigenschaften bietet er eine besondere Aufenthaltsqualität für Menschen.

Austauscharme Wetterlage: → Strahlungswetterlage

Autochthone Wetterlage: → Strahlungswetterlage

Autochthones Windfeld: Kaltluftabflüsse und Flurwinde, welche sich als eigenbürtige, landschaftsgesteuerte Luftaustauschprozesse während einer windschwachen sommerlichen → Strahlungswetterlage ausbilden.

Bioklima: Beschreibt die direkten und indirekten Einflüsse von Wetter, Witterung und Klima (=atmosphärische Umgebungsbedingungen) auf die lebenden Organismen in den verschiedenen Landschaftsteilen, insbesondere auf Menschen.

Eindringtiefe: Reichweite einer Kalt-/Frischluchtströmung in den → Wirkungsraum hinein, ausgehend vom Bebauungsrand.

Flurwind: Thermisch bedingte schwache Ausgleichsströmung, die durch horizontale Temperatur- und Druckunterschiede zwischen vegetationsgeprägten Flächen (z.B. innerhalb einer Bebauung oder auch im Umland) und (dicht) bebauten Gebieten entsteht. Er strömt vor allem in den Abend- und Nachtstunden schubweise in das Zentrum der Überwärmung (meist Innenstadt oder Stadtteilzentrum) ein.

Inversion: Wenn am Tage bei intensiver Sonneneinstrahlung der Boden und die darüber lagernde Luft aufgeheizt werden, steigt diese auf und führt zu einer guten Durchmischung der Luftschicht. Die Temperatur der Luft nimmt dabei mit der Höhe allmählich ab. Während einer nächtlichen → Strahlungswetterlage kann eine umgekehrte Situation entstehen, bei der die oberen Luftschichten wärmer sind als die im bodennahen Bereich. Der Luftaustausch mit der Höhe ist dann reduziert, da die Kaltluft aufgrund ihrer höheren Dichte am Erdboden verbleibt.

Kaltluftabfluss: An wenig rauen Hängen und Tälern mit genügendem Gefälle (theoretisch ab etwa 0,5°) setzt sich die Kaltluft aufgrund der Schwerkraft, dem Gefälle folgend, in Bewegung. Der Abfluss erfolgt schubweise. Er setzt bereits vor Sonnenuntergang ein und kann die ganze Nacht andauern.

Kaltluftvolumenstrom: Unter dem Begriff Kaltluftvolumenstrom versteht man, vereinfacht ausgedrückt, das Produkt aus der Fließgeschwindigkeit der Kaltluft, ihrer vertikalen Ausdehnung (Schichthöhe) und der horizontalen Ausdehnung des durchflossenen Querschnitts (Durchflussbreite). Er beschreibt somit diejenige Menge an Kaltluft in der Einheit m³, die in jeder Sekunde durch den Querschnitt beispielsweise eines Hanges oder einer Leitbahn fließt. Da die Modellergebnisse nicht die Durchströmung eines natürlichen Querschnitts



widerspiegeln, sondern den Strömungsdurchgang der gleichbleibenden Rasterzellenbreite, ist der resultierende Parameter streng genommen nicht als Volumenstrom, sondern als rasterbasierte Volumenstrom-*dichte* aufzufassen. Dies kann man so veranschaulichen, indem man sich ein quer zur Luftströmung hängendes Netz vorstellt, das ausgehend von der Obergrenze der Kaltluftschicht⁴ bis hinab auf die Erdoberfläche reicht. Bestimmt man nun die Menge der pro Sekunde durch das Netz strömenden Luft, erhält man den rasterbasierten Kaltluftvolumenstrom.

Kelvin (K): SI-Basiseinheit der thermodynamischen Temperatur, die zur Angabe von Temperaturdifferenzen verwendet wird. Der Wert kann in der Praxis als Abweichung in Grad Celsius (°C) interpretiert werden.

PET (Physiologisch äquivalente Temperatur): Humanbioklimatischer Index zur Kennzeichnung der Wärmebelastung des Menschen, der Aussagen zur Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit sowie kurz- und langwelligen Strahlungsflüssen kombiniert und aus einem Wärmehaushaltsmodell abgeleitet wird.

Klimafunktionen: Prozesse und Wirkungen in der Landschaft, die das örtliche Klima mitbestimmen und Belastungen von Organismen durch besondere Klimabedingungen erhöhen oder abbauen.

Klimaökologie: Analysiert den Einfluss von Klimaelementen und des Klimas auf das Landschaftsökosystem und seinen Haushalt. Untersucht wird weiterhin die Steuerung der bedeutsamen, bodennahen atmosphärischen Prozesse durch die allgemeinen landschaftlichen Strukturgrößen (Relief, Überbauung...).

Komfortraum: Vielfältig strukturierte, bewachsene Freiflächen in Nachbarschaft zum Wirkungsraum mit günstigen bioklimatischen und/oder lufthygienischen Bedingungen. Ihre wichtigsten Eigenschaften sind Immissionsarmut und Klimavielfalt, d.h. es besteht ein Mosaik aus unterschiedlichen Mikroklimaten.

Leitbahnen: Linear ausgerichtet, wenig raue Freiflächen, die den lokalen Luftaustausch fördern, insbesondere den Transport von Kalt-/Frischluft aus dem Ausgleichsraum in den Wirkungsraum. Die Leitbahneigenschaften bestimmen, in welchen Umfang eine Ausgleichsleistung erbracht wird.

Luftaustausch: Transport von Luftmassen mit bestimmten Eigenschaften durch turbulente Diffusion. Es werden austauschschwache Situationen mit Windgeschwindigkeiten $\leq 1,5$ m/s von austauschstarken mit Windgeschwindigkeiten $\geq 5,5$ m/s unterschieden.

Rauigkeit: Gibt die durch Bebauungs- und/oder Vegetationsstrukturen hervorgerufene Veränderungen des Windfeldes wieder. Als Maß der Rauigkeit fungiert der z_0 -Wert, der in Meter angegeben wird.

Strahlungswetterlage: Wetterlage mit schwacher Windströmung und ungehinderten Ein- und Ausstrahlungsbedingungen. Die meteorologische Situation in Bodennähe wird bei dieser Wetterlage vornehmlich durch den Wärme- und Strahlungshaushalt und nur in geringem Maße durch die Luftmasse geprägt. Voraussetzung für ihre Ausbildung sind eine geringe Bewölkung von weniger als 3/8 und eine mittlere Geschwindigkeit des Windes von unter 1,5 m/s.

⁴ Die Schichtgrenze wird dort angesetzt, wo die horizontale Fließgeschwindigkeit geringer als $0,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ wird



Strömungsfeld: Für den Analysezeitpunkt 04 Uhr morgens simulierte flächendeckende Strömungsfeld der Kaltluftabflüsse und Flurwinde während einer windschwachen → Strahlungswetterlage.

Ventilationsbahn: Leitbahn, die während austauschstärkerer Wetterbedingungen den Gradientwind aufnimmt und zur Be- und Entlüftung des Wirkungsraumes beiträgt.

Wärmebelastung: Durch Behinderung der Wärmeabgabe des Körpers hervorgerufenes Unbehaglichkeitsempfinden. Wärmebelastung tritt hauptsächlich bei sommerlichen, strahlungsreichen Hochdruckwetterlagen mit hoher Temperatur, hoher Feuchte und geringer Luftbewegung auf (Schwüle).

Wärmeinsel: Derjenige städtische Lebensraum, der gegenüber der Umgebung vor allem abends und nachts eine höhere Lufttemperatur aufweist. Es bilden sich i.d.R. mehrkernige Wärmeinseln in einer Stadt aus. Die Jahresmitteltemperaturen sind in diesen Räumen um 0,5 bis 1,5 Kelvin gegenüber dem Umland erhöht.

Wirkungsraum: Bebauter (oder zur Bebauung vorgesehener), bioklimatisch und/oder lufthygienisch belasteter Raum (Belastungsraum), der an einen oder mehrere Ausgleichsräume angrenzt oder über wenig raue Strukturen angebunden ist. Durch lokale Luftaustauschprozesse erfolgt eine Zufuhr von Kalt-/Frischlufte aus dem → Ausgleichsraum, die zur Verminderung oder zum Abbau der Belastungen beiträgt.



Auftrag: Klimaökologische Begleitung des Planungsprozesses
69-01/3 Aalen, Steine

Standort: Aalen
Bundesland Baden-Württemberg

Auftraggeber: Stadtverwaltung Aalen

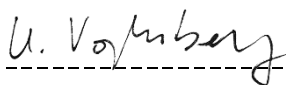
Markplatz 30
73430 Aalen

Projektnummer: 2_23_029

Berichtsnummer: 2_23_029_Aalen_Steine_rev02

Version: 02

Datum: 14.04.2026

Erstellt von: 

Diplom Meteorologin Ulrike Vogelsberg

Die Erstellung der Stellungnahme erfolgte entsprechend dem Stand der Technik nach besten Wissen und Gewissen.
Die Stellungnahme bleibt bis zur Abnahme und Bezahlung alleiniges Eigentum des Auftragnehmers.