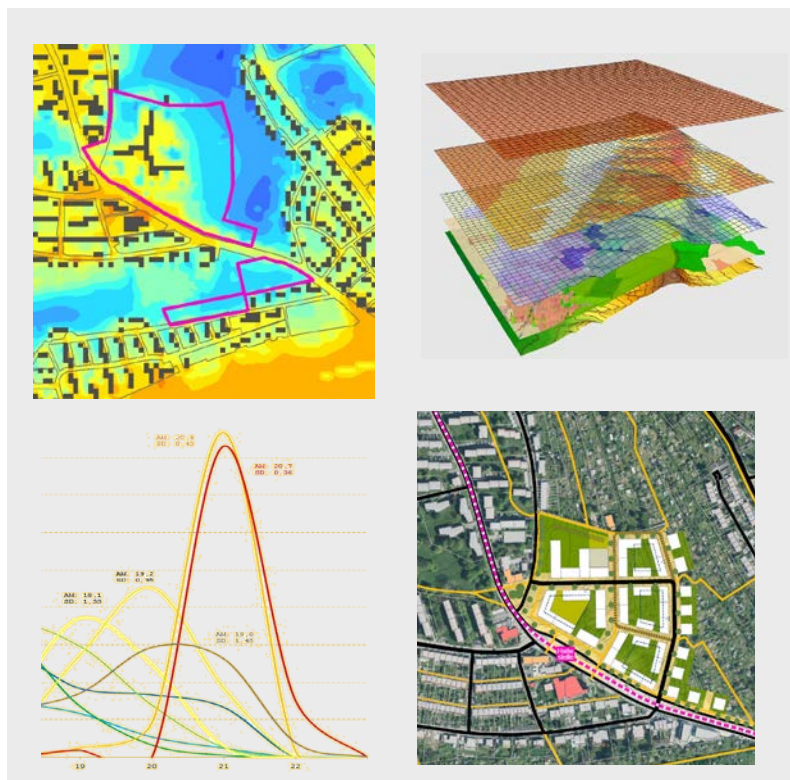


Klimaexpertise für das städtebauliche Entwicklungskonzept Mähringer Weg, Ulm

Analyse der klimaökologischen Auswirkungen von zwei Planzuständen
für das vom städtebaulichen Vorentwurf beeinflusste Gebiet



Auftraggeber:

Stadt Ulm

Hauptabteilung Stadtplanung, Umwelt, Baurecht

Abteilung Strategische Planung

Münchner Straße 2

89073 Ulm



GEO-NET Umweltconsulting GmbH

Große Pfahlstraße 5a

3 0 1 6 1 Hannover

Tel. (0511) 3887200

FAX (0511) 3887201

www.geo-net.de



Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung und Methode	3
2. Planvarianten im Untersuchungsgebiet Mähringer Weg.....	5
3. Datengrundlage.....	8
4. Modellrechnung mit dem mesoskaligen Stadtklimamodell FITNAH-3D	9
5. Ergebnisse der Klimamodellierung	12
5.1 Lufttemperatur (Nacht).....	12
5.2 Bodennahes Windfeld (Nacht)	15
5.3 Kaltluftvolumenstrom (Nacht)	20
5.4 Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET am Tag).....	24
6. Fazit.....	28
7. Zu empfehlende Maßnahmen der Klimaoptimierung	29
Literatur	32



Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Das Untersuchungsgebiet am Mähringer Weg im Ist-Zustand (Luftbild: Digitales Orthophoto Ulm 2016)	3
Abb. 2: Prozessorientierte Analyse bei einer austauscharmen Hochdruckwetterlage	5
Abb. 3: Planvariante 1 – Städtebauliches Entwicklungskonzept Mähringer Weg / Wilhelm-Geyer-Weg, Ulm (stemshorn architekten gmbh)	6
Abb. 4: Planvariante 2 – Städtebauliches Entwicklungskonzept Mähringer Weg, Ulm (stemshorn architekten gmbh)	7
Abb. 5: Temperaturverlauf und Vertikalprofil der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit verschiedener Landnutzungen	11
Abb. 6: Lufttemperatur in 2 m ü. Grund um 4 Uhr morgens, Ist-Zustand	13
Abb. 7: Änderung der Lufttemperatur in 2 m ü. Grund um 4 Uhr morgens, Plan1 - Ist-Zustand	14
Abb. 8: Änderung der Lufttemperatur in 2 m ü. Grund um 4 Uhr morgens, Plan2 - Ist-Zustand	15
Abb. 9: Bodennahes Windfeld um 4 Uhr morgens, Ist-Zustand	17
Abb. 10: Bodennahes Windfeld um 4 Uhr morgens, Plan 1- Situation	18
Abb. 11: Bodennahes Windfeld um 4 Uhr morgens, Plan 2- Situation	19
Abb. 12: Prinzipskizze Kaltluftvolumenstrom	20
Abb. 13: Kaltluftvolumenstrom um 4 Uhr morgens, Ist-Zustand (Windpfeile aus Abb. 9 übernommen) .	21
Abb. 14: Kaltluftvolumenstrom um 4 Uhr morgens, Plan 1 - Situation (Windpfeile aus Abb. 10 übernommen)	22
Abb. 15: Kaltluftvolumenstrom um 4 Uhr morgens, Plan 2 - Situation (Windpfeile aus Abb. 11 übernommen)	23
Abb. 16: Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET) in 1,1 m ü. Grund um 14 Uhr, Ist-Zustand	25
Abb. 17: Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET) in 1,1 m ü. Grund um 14 Uhr, Plan 1- Situation...	26
Abb. 18: Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET) in 1,1 m ü. Grund um 14 Uhr, Plan 2- Situation...	27

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Zuordnung von Schwellenwerten für den Bewertungsindex PET während der Tagesstunden	24
--	----

1. Einleitung und Methode

Entlang des Mähringer Weges in Ulm soll ein neues Quartierszentrum entstehen. Das entsprechende Plangebiet hat eine Größe von knapp 7 ha und gliedert sich in einen nördlichen Teil (Schulstandort mit Wohnbebauung) und einen südlichen Teil (Wohnbebauung am Wilhelm-Geyer-Weg). Der Untersuchungsraum am Mähringer Weg in seinem heutigen Zustand ist in der Abb. 1 dargestellt. Das Gebiet liegt in ca. 1,5 km nordwestlicher Entfernung der Ulmer Innenstadt. Im Norden des Untersuchungsraums (rot) befindet sich das Lehrer Tal mit einer ausgedehnten Kleingartenkolonie. Daran grenzt eine lockere Wohnbebauung mit Zeilen-, Reihen- und Einzelhäusern an. Im westlichen Teil des Untersuchungsgebiets liegt eine ähnliche Nutzungsstruktur mit Kleingärten und Wohnungsbauten vor. Im südlichen Umfeld der beiden Plangebiete (blau) befinden sich stark versiegelte Bereiche mit Gleisanlagen, Gewerbegebieten und Parkplätzen.

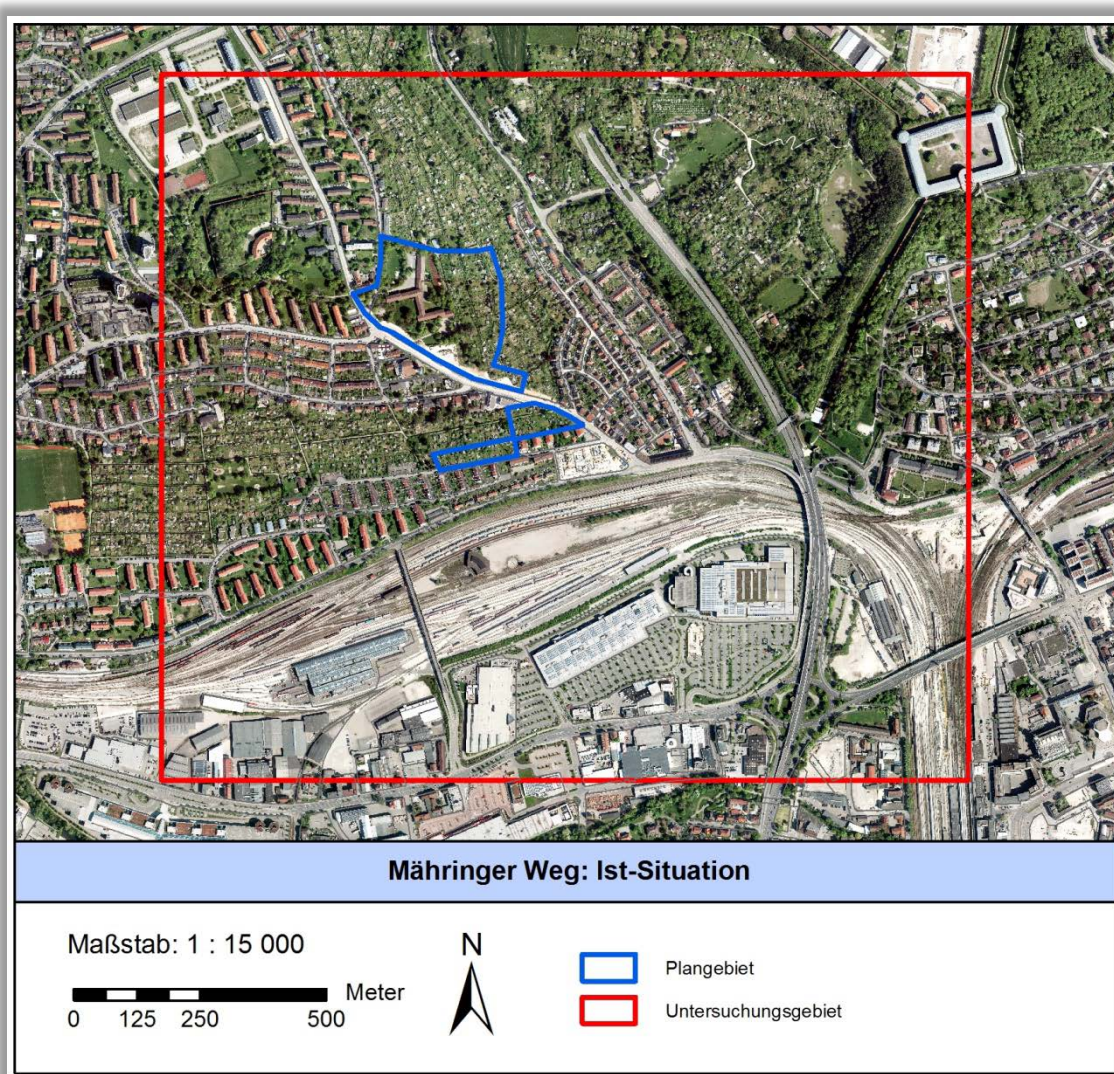


Abb. 1: Das Untersuchungsgebiet am Mähringer Weg im Ist-Zustand (Luftbild: Digitales Orthophoto Ulm 2016)



Aus der Stadtklimaanalyse Ulm (GEO-NET 2018) geht hervor, dass sich das geplante Quartier am Mähringer Weg im Bereich einer Kaltluftleitbahn befindet. Kaltluftleitbahnen verbinden Ausgleichsräume und Belastungsbereiche (Wirkungsräume) miteinander und sind elementarer Bestandteil des Luftaustausches. Das Kleingartenareal im Lehrer Tal bietet eine geeignete Oberflächenstruktur, die ein Eindringen von Kaltluft in die Bebauung erleichtert. Es stellt sich die Frage, welchen Einfluss eine Umstrukturierung des Mähringer Weges auf die Belüftungssituation der umgebenden Siedlung und das gegenwärtige Ulmer Stadtklima allgemein nimmt und wie das neue Quartier klimaökologisch optimiert werden kann.

Eine modellgestützte Analyse der klimaökologischen Prozesse und Zustände im Untersuchungsraum soll klären, welche Veränderungen der klimaökologischen Situation durch das Planvorhaben „Mähringer Weg“ zu erwarten sind. Für das städtebauliche Entwicklungskonzept Mähringer Weg liegen zwei verschiedene Planvarianten vor, welche in dieser Arbeit untersucht werden. Die klimaökologische Funktion des Untersuchungsgebietes wird anhand einer mesoskaligen Klimamodellierung mit dem Modell FITNAH-3D mit einer Rasterauflösung von 10 m ermittelt. Um die Auswirkungen der beiden Planvorhaben einschätzen zu können, wird die derzeitige Klimasituation mit den Planszenarien verglichen. Die Untersuchung betrachtet sowohl die Tag- als auch Nachtsituation und berücksichtigt Lufttemperatur, Windrichtung und -geschwindigkeit, Kaltluftvolumenstrom und die PET (Physiologisch Äquivalente Temperatur) als meteorologische Größen. Nach der Erfassung der Ist-Situation und der klimaökologischen Auswirkungen des neuen Quartierszentrums am Mähringer Weg werden Maßnahmen aufgezeigt, die zur Optimierung der Klimasituation im Untersuchungsgebiet beitragen.

Ausgangspunkt für die Ermittlung der 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. 2). Unter diesen Rahmenbedingungen können nächtliche Kalt- und Frischluftströmungen aus innerstädtischen Grün- und Brachflächen zum Abbau einer Wärmebelastung in den überwärmten Siedlungsflächen beitragen.

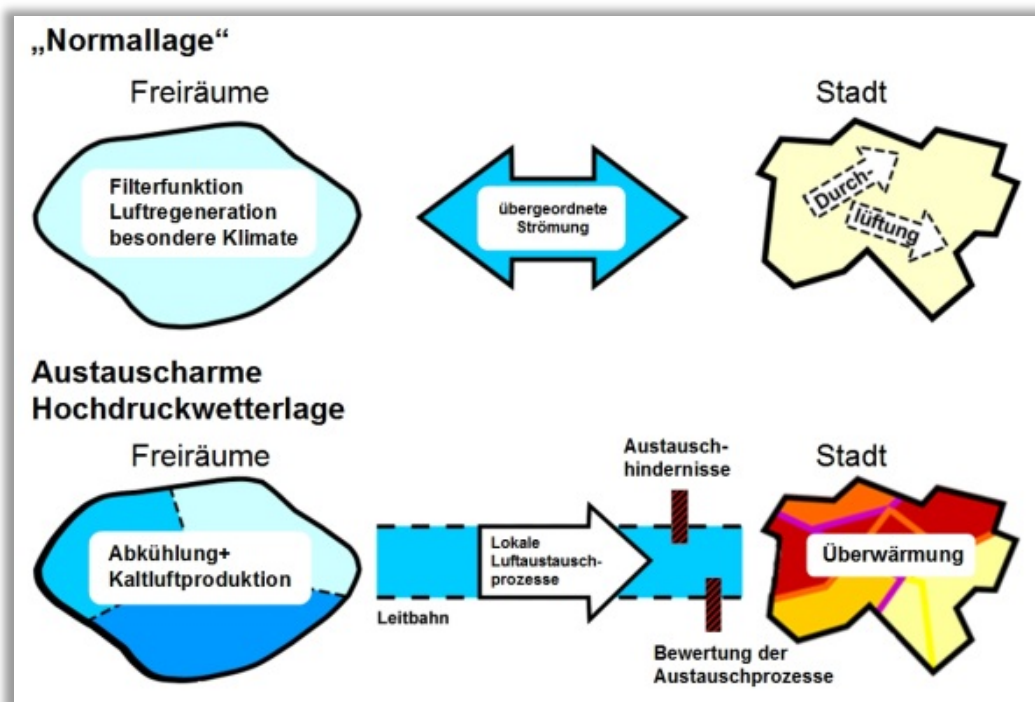


Abb. 2: Prozessorientierte Analyse bei einer austauscharmen Hochdruckwetterlage

2. Planvarianten im Untersuchungsgebiet Mähringer Weg

Für das städtebauliche Entwicklungskonzept Mähringer Weg liegen zwei verschiedene Planvarianten vor. Die Testentwürfe gliedern das Untersuchungsgebiet auf Grund der stadträumlichen und topographischen Rahmenbedingungen in drei Nutzungsbereiche: Der westliche Teil des Gebietes in unmittelbarer Nähe zur neuen Straßenbahnhaltestelle ist als Quartierszentrum und Schulstandort geplant. Im östlichen Teil des Gebietes ist ein urbanes Wohnquartier mit Geschosswohnungsbauten in geöffneter Blockrandstruktur (und außerdem Punkthäusern, s. Variante 2) vorgesehen. In der Variante 1 sollen südlich des Mähringer Weges und entlang des Wilhelm-Geyer-Weges Neu- und Ergänzungsbauten die bestehenden Wohnbauten ergänzen. In der Abb. 3 ist die Plan 1-Situation mit ihren drei verschiedenen Nutzungsbereichen dargestellt. Der zweite Planfall enthält nur zwei Nutzungsbereiche und ist in der Abb. 4 zu sehen.

Variante 1, Nutzungsbereich 1: Quartierszentrum und Schulstandort

Nördlich der neuen Haltestelle der Straßenbahnlinie 2 sieht der städtebauliche Entwurf ein Quartierszentrum vor. Auf Grund der zentralen und verkehrsgünstigen Lage im Kreuzungsbereich der Straßen Mähringer Weg, Stifterweg und Am Eselsberg bietet sich dieser Bereich als ergänzender Versorgungs- und Dienstleistungsstandort für den Unteren Eselsberg an. Angedacht ist es an dieser Stelle einen Lebensmittelmarkt zu positionieren, dessen Zugang vom Mähringer Weg aus erfolgt. Auf Grund der bewegten Topographie in diesem Bereich könnte sich der ca. 2.000 m² große Lebensmittelmarkt in den

Hang und unter die westlich angrenzende Bebauung schieben. In den darüber liegenden Geschossen des südlichen und westlichen Blockrands wird eine Mischnutzung aus Gastronomie, Einzelhandel, Dienstleistung, Praxen und Wohnen vorgeschlagen. Der nördliche und östliche Blockrand soll hingegen ausschließlich der Wohnnutzung dienen. Die Gebäude sind durchgängig mit fünf Vollgeschossen vorgesehen. Der Bedarf an Stellplätzen für das Quartierszentrum soll mittels oberirdischer Stellplätze vor dem westlichen Blockrand und mittels einer Tiefgarage unter dem Lebensmittelmarkt mit Zufahrt im nördlichen Blockrand gedeckt werden.



Abb. 3: Planvariante 1 – Städtebauliches Entwicklungskonzept Mähringer Weg / Wilhelm-Geyer-Weg, Ulm (stems-horn architekten gmbh)

Nördlich des Quartierszentrums verortet der städtebauliche Entwurf den neuen Standort der Hans-Multscher- und Hans-Zulliger-Schule mit einer Fläche von rund 0,9 ha. Die beiden Schulen sind in einem Gebäude untergebracht und besitzen 3-4 Vollgeschosse.

Variante 1, Nutzungsbereich 2: Wohnbebauung nördlich des Mähringer Weges

Im östlichen Teil des Entwurfsgebietes ist ein Wohnquartier mit drei Gebäudeteilen und offener Blockrandstruktur vorgesehen. Die geplante Bebauung verfügt über vier Vollgeschosse. Zur Deckung des Stellplatzbedarfs sind für diesen Bereich Tiefgaragen unter den Baublöcken vorgesehen, die von Osten aus erschlossen werden und sich in den Hang hinein graben.

Variante 1, Nutzungsbereich 3: Wohnbebauung südlich des Mähringer Weges und Wilhelm-Geyer-Weg

Im südlichen Bereich des Entwurfsgebietes sind Wohngebäude im Geschosswohnungsbau mit vier Vollgeschossen vorgesehen. Im Bereich des Wilhelm-Geyer-Weges wird die bestehende Bebauungsstruktur aufgenommen und durch Punkthäuser ergänzt. Nördlich der Neubebauung wird die Erstellung eines Kleingartenparks vorgeschlagen.



Abb. 4: Planvariante 2 – Städtebauliches Entwicklungskonzept Mähringer Weg, Ulm (stemshorn architekten gmbh)

Variante 2, Nutzungsbereich 1: Quartierszentrum und Schulstandort

Nördlich der neuen Haltestelle der Straßenbahnlinie 2 sieht der städtebauliche Entwurf ein Quartierszentrum vor. Auf Grund der zentralen und verkehrsgünstigen Lage im Kreuzungsbereich der Straßen Mähringer Weg, Stifterweg und Am Eselsberg bietet sich dieser Bereich als ergänzender Versorgungs- und Dienstleistungsstandort für den Unteren Eselsberg an. Angedacht ist es an dieser Stelle einen Lebensmittelmarkt zu positionieren, dessen Zugang vom Mähringer Weg aus erfolgt. Auf Grund der bewegten Topographie in diesem Bereich könnte sich der ca. 2.000 m² große Lebensmittelmarkt in den Hang und unter die westlich angrenzende Bebauung schieben. In den darüber liegenden Geschossen des südlichen und westlichen Blockrands wird eine Mischnutzung aus Gastronomie, Einzelhandel, Dienstleistung, Praxen und Wohnen vorgeschlagen. Der nördliche und östliche Blockrand soll hingegen ausschließlich der Wohnnutzung dienen. Die Gebäude sind durchgängig mit fünf Vollgeschossen vorgesehen. Der Bedarf an Stellplätzen für das Quartierszentrum soll mittels oberirdischer Stellplätze vor dem westlichen

Blockrand und mittels einer Tiefgarage unter dem Lebensmittelmarkt mit Zufahrt im nördlichen Blockrand gedeckt werden.

Nördlich des Quartierszentrums verortet der städtebauliche Entwurf den neuen Standort der Hans-Multscher- und Hans-Zulliger-Schule mit einer Fläche von rund 0,9 ha. Die beiden Schulen sind in einem Gebäude untergebracht und besitzen 3-4 Vollgeschosse.

Variante 2, Nutzungsbereich 2: Wohnbebauung nördlich des Mähringer Weges

Im zentralen Teil des Entwurfsgebietes ist ein urbanes Wohnquartier mit drei Gebäudeblöcken und offener Blockrandstruktur vorgesehen. Die östlichen und westlichen Blockränder sind weitestgehend geschlossen und verlaufen entlang der Höhenlinien. Ergänzt werden die geschlossenen Blockränder durch freistehende Baukörper an den nördlichen und südlichen Blockseiten, die sich den Hang hinab abtreppen. Die bauliche Höhe der Gebäude ist mit vier Vollgeschossen angesetzt. Zur Deckung des Stellplatzbedarfs sind für diesen Bereich Tiefgaragen unter den Baublöcken vorgesehen, die sich in den Hang hinein graben. Entlang des Mähringer Weges ergänzen zwei Punktgebäude die bereits fertiggestellte Neubebauung und schaffen somit ein Eingangstor zum Eselsberg.

3. Datengrundlage

Die Übersichtsmodellierung wurde mit dem Strömungs- und Klimamodell FITNAH durchgeführt. Bei einem numerischen Modell wie FITNAH muss zur Festlegung und Bearbeitung einer Aufgabenstellung eine Reihe von Eingangsdaten zur Verfügung stehen. Nutzungsstruktur und Geländehöhe 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. Das gesamte Rechengebiet (s. Untersuchungsgebiet in Abb. 1) hat bei einer Abmessung von 1,6 km x 1,4 km eine Fläche von 2,24 km². Für eine bessere Übersicht wird in den Ergebniskarten jedoch nur das nähere Umfeld des Plangebietes im Maßstab 1: 10.000 dargestellt.

Die Modellierung der meteorologischen Parameter erfolgte mit einer Zellengröße von 10 m x 10 m, wobei zur Aufbereitung der Nutzungsstrukturen die aktuellen ATKIS und Basis-DLM-Daten herangezogen wurden. Um den speziellen Anforderungen der Modellanalyse gerecht werden zu können, wurden diese für die Modellrechnung zu einem 14-klassigen Nutzungsschlüssel aggregiert. Außerdem wurde ein Digitales Geländemodell mit 1 m Auflösung (Stand 2017) verwendet. Eine Überprüfung bzw. Ergänzung der Daten erfolgte auf der Basis von Luftbildern (Stand 2016) und den Plänen aus Kapitel 2 (Abb. 3 und Abb. 4). Für die Einordnung des Oberflächenversiegelungsgrades sind nutzungsklassifiziert vorliegende Literaturdaten (u.a. MOSIMANN et al. 1999) genutzt worden, die auf empirisch gewonnenen Untersuchungsergebnissen aus mehreren deutschen Städten beruhen. Eine wichtige Modelleingangsgröße stellt zudem die Höhe der Baustrukturen dar, welche einen maßgeblichen Einfluss auf das lokale Windfeld ausübt. Dafür wurden von der Stadt Ulm die Gebäudegeometrien als 3D-Modell (LOD1) mit der jeweiligen Gebäudehöhe zur Verfügung gestellt. Auf dieser Grundlage wurde den die Gebäude repräsentieren-

den Rasterzellen eine individuelle Strukturhöhe zugewiesen. Mit der hohen räumlichen Auflösung von 10 m x 10 m war es möglich, die Gebäudestrukturen realitätsnah zu erfassen und ihren Einfluss auf den nächtlichen Luftaustausch abzubilden.

4. Modellrechnung mit dem mesoskaligen Stadtklimamodell FITNAH-3D

Neben globalen Klimamodellen und regionalen Wettervorhersagemodellen wie sie zum Beispiel vom Deutschen Wetterdienst für die tägliche Wettervorhersage routinemäßig eingesetzt werden, nehmen kleinräumige Modellanwendungen für umweltmeteorologische Zusammenhänge im Rahmen von stadt- und landschaftsplanerischen Fragestellungen einen immer breiteren Raum ein. Die hierfür eingesetzten mikro- und mesoskaligen Modelle erweitern das Inventar meteorologischer Werkzeuge zur Berechnung atmosphärischer Zustände und Prozesse.

Der Großteil praxisnaher umweltmeteorologischer Fragestellungen behandelt einen Raum von der Größenordnung einer Stadt bzw. Region. Die bestimmenden Skalen für die hier relevanten meteorologischen Phänomene haben eine räumliche Erstreckung von Metern bis hin zu einigen Kilometern und eine Zeitdauer von Minuten bis zu Stunden. Unter Verwendung des üblichen Einteilungsschemas meteorologischer Phänomene müssen diese in die Mikro- und Mesoskala eingeordnet werden. Beispiele für solche mesoskaligen Phänomene sind Land-See-Winde, der Einfluss von Hindernissen auf den Wind (z.B. Kanalisierung, Umströmung), Flurwinde oder Düseneffekte in Straßen sowie das Phänomen der städtischen Wärmeinsel.

Obwohl die allgemeine Struktur und physikalischen Ursachen dieser lokalklimatischen Phänomene im Wesentlichen bekannt ist, gibt es nach wie vor noch offene Fragen hinsichtlich der räumlichen Übertragbarkeit auf andere Standorte oder der Sensitivität bezüglich der Wechselwirkungen einzelner Strömungssysteme untereinander. Ein Grund hierfür sind die relativ kleinen und kurzen Skalen der mesoskaligen Phänomene und deren unterschiedlichem Erscheinungsbild in komplexem Gelände. Entsprechend ist es schwierig aus einer beschränkten Anzahl von Beobachtungen eine umfassende Charakterisierung zu erhalten, jedoch kann dieser Nachteil mit Hilfe ergänzender Modelluntersuchungen überwunden werden.

Beginnend mit einem Schwerpunktprogramm der Deutschen Forschungsgemeinschaft wurden in Deutschland eine Reihe mesoskaliger Modelle konzipiert und realisiert (DFG 1988). Der heutige Entwicklungsstand dieser Modelle ist extrem hoch und zusammen mit den über die letzten Dekaden gewonnenen Erfahrungen im Umgang mit diesen Modellen steht neben Messungen vor Ort und Windkanalstudien ein weiteres leistungsfähiges und universell einsetzbares Werkzeug zur Bearbeitung umweltmeteorologischer Fragestellungen in kleinen, stadt- und landschaftsplanerisch relevanten Landschaftsausschnitten zur Verfügung.

Grundlagen mesoskaliger Modelle

Die Verteilung lokalklimatisch relevanter Größen wie Wind und Temperatur können mit Hilfe von Messungen ermittelt werden. Aufgrund der großen räumlichen und zeitlichen Variation der meteorologischen Felder im Bereich einer komplexen Umgebung sind Messungen allerdings nur punktuell repräsentativ und eine Übertragung in benachbarte Räume selten möglich. Mesoskalige Modelle wie FITNAH können zu entscheidenden Verbesserungen dieser Nachteile herangezogen werden, indem sie physikalisch fundiert die räumlichen und/oder zeitlichen Lücken zwischen den Messungen schließen, weitere meteorologische Größen berechnen und Wind- und Temperaturfelder in ihrer raumfüllenden Struktur ermitteln. Die Modellrechnungen bieten darüber hinaus den Vorteil, dass Planungsvarianten und Ausgleichsmaßnahmen in ihrer Wirkung und Effizienz studiert und auf diese Art und Weise optimierte Lösungen gefunden werden können.

Für jede meteorologische Variable wird eine physikalisch fundierte mathematische Berechnungsvorschrift aufgestellt. Alle mesoskaligen Modelle basieren daher, wie Wettervorhersage- und Klimamodelle auch, auf einem Satz sehr ähnlicher Bilanz- und Erhaltungsgleichungen. Das Grundgerüst besteht aus den Gleichungen für die Impulserhaltung (Navier-Stokes Bewegungsgleichung), der Massenerhaltung (Kontinuitätsgleichung) und der Energieerhaltung (1. Hauptsatz der Thermodynamik).

Je nach Problemstellung und gewünschter Anwendung kann dieses Grundgerüst noch erweitert werden, um z.B. die Effekte von Niederschlag auf die Verteilung stadtklimatologisch wichtiger Größen zu berücksichtigen. In diesem Falle müssen weitere Bilanzgleichungen für Wolkenwasser, Regenwasser und feste Niederschlagspartikel gelöst werden. Die Lösung des Gleichungssystems erfolgt in einem numerischen Raster. Die Rasterweite muss dabei so fein gewählt werden, dass die lokalklimatischen Besonderheiten des Untersuchungsraumes vom mesoskaligen Modell erfasst werden können. Je feiner das Raster gewählt wird, umso mehr Details und Strukturen werden aufgelöst.

Allerdings steigen mit feiner werdender Rasterweite die Anforderungen an Rechenzeit und die benötigten Eingangsdaten. Hier muss ein Kompromiss zwischen Notwendigkeit und Machbarkeit gefunden werden. In der vorliegenden Untersuchung beträgt die für die Modellierung mit FITNAH verwendete räumliche Maschenweite 10 m. Die vertikale Gitterweite ist dagegen nicht äquidistant und in der bodennahen Atmosphäre besonders dicht angeordnet, um die starke Variation der meteorologischen Größen realistisch zu erfassen. So liegen die untersten Rechenflächen in Höhen von 2, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50 und 70 m. Nach oben hin wird der Abstand immer größer und die Modellobergrenze liegt in einer Höhe von 3000 m über Grund. In dieser Höhe wird angenommen, dass die am Erdboden durch Orographie und Landnutzung verursachten Störungen abgeklungen sind. Die Auswertungen der FITNAH-Modellierung beziehen sich auf das bodennahe Niveau der Modellrechnung (2 m über Grund = Aufenthaltsbereich der Menschen).

Betrachtete Wetterlage

Die durchgeführte numerische Simulation mit FITNAH legt eine autochthone Wetterlage zugrunde. Diese wird allgemein durch einen wolkenlosen Himmel und einen nur sehr schwach überlagernden synopti-

schen Wind gekennzeichnet, sodass sich die lokalklimatischen Besonderheiten einer Stadt besonders gut ausprägen. Entsprechend wurden die großräumigen synoptischen Rahmenbedingungen folgendermaßen festgelegt:

- Bedeckungsgrad 0/8,
- kein überlagernder synoptischer bzw. geostrophischer Wind,
- relative Feuchte der Luftmasse 50%.

Die vergleichsweise geringen Windgeschwindigkeiten bei der austauscharmen Wetterlage bedingen einen herabgesetzten Luftaustausch in der bodennahen Luftschicht. Bei gleichzeitiger hoher Ein- und Ausstrahlung können sich somit lokal humanbioklimatische und lufthygienische Belastungsräume ausbilden (Darstellung eines *worst case*-Szenariums). Charakteristisch für diese (Hochdruck-)Wetterlage ist die Entstehung eigenbürtiger Kaltluftströmungen (Flurwinde), die durch den Temperaturgradienten zwischen kühlen Freiflächen und wärmeren Siedlungsräumen angetrieben werden.

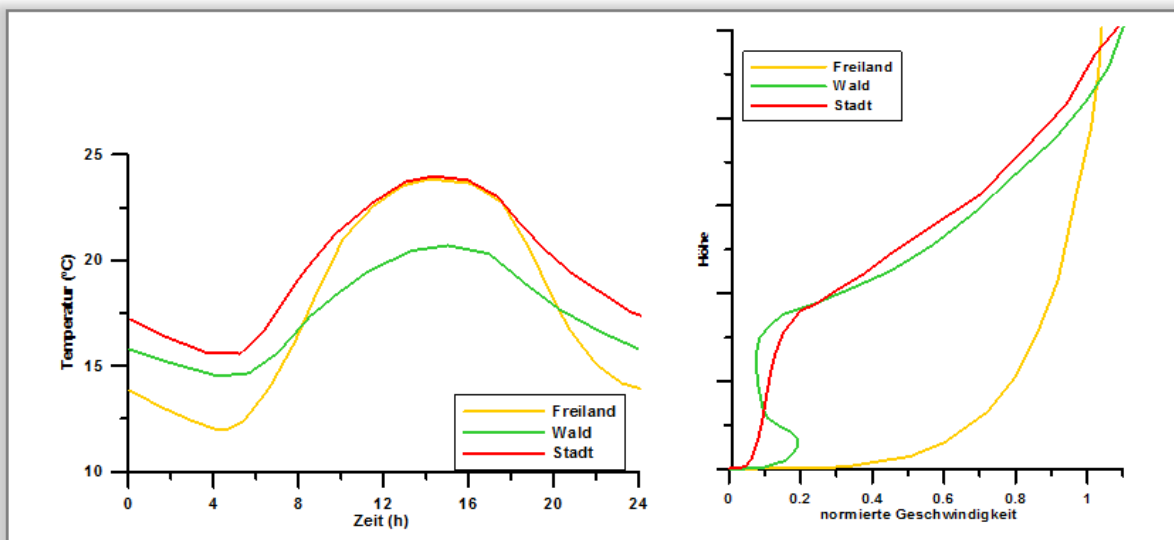


Abb. 5: Temperaturverlauf und Vertikalprofil der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit verschiedener Landnutzungen

In Abb. 5 sind schematisch die für eine austauscharme sommerliche Wetterlage simulierten tageszeitlichen Veränderungen der Temperatur und Vertikalprofile der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit für die Landnutzungen Freiland, Stadt und Wald dargestellt. Beim Temperaturverlauf zeigt sich, dass sowohl Freiflächen wie z.B. Wiesen als auch Bebauung ähnlich hohe Temperaturen zur Mittagszeit aufweisen können, die nächtliche Abkühlung der Siedlungsflächen vor allem durch die Wärme speichernden Materialien hingegen deutlich geringer ist. Waldflächen nehmen eine mittlere Ausprägung ein, da die nächtliche Auskühlung durch das Kronendach gedämpft wird. Hinsichtlich der Windgeschwindigkeit wird der Einfluss von Bebauung und Vegetationsstrukturen im Vertikalprofil deutlich.

5. Ergebnisse der Klimamodellierung

In diesem Kapitel werden die meteorologischen Felder der FITNAH-Rechnung in der Tag- und Nachtsituation betrachtet. Zur Beschreibung der Nachtsituation (4 Uhr) werden Lufttemperatur, bodennahes Windfeld (Windgeschwindigkeit und -richtung) und Kaltluftvolumenstrom als meteorologische Größen herangezogen. Für die Analyse der Situation am Tage (14 Uhr) dient die PET (Physiologisch Äquivalente Temperatur) als bioklimatische Kenngröße. Gegenüber vergleichbaren Indizes wie dem PMV (=Predicted Mean Vote) hat die PET vor allem den Vorteil, aufgrund seiner °C-Einheit auch von Nichtfachleuten besser nachvollzogen werden zu können. Die nachstehenden Karten stellen sowohl Ist-bzw. Planzustände als auch die zu erwartende Änderung aufgrund der neuen Bebauung in Form von Differenzkarten (Planszenario – Ist-Zustand) dar.

5.1 Lufttemperatur (Nacht)

Ein erholsamer Schlaf ist nur bei günstigen thermischen Bedingungen möglich, weshalb der Belastungssituation 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 thermophysiologischen Belastung. Entsprechend spiegelt die Beurteilung des Bioklimas weniger die thermische Beanspruchung des Menschen im Freien wider, als vielmehr die positive Beeinflussbarkeit des nächtlichen Innenraumklimas. Die bodennahe Lufttemperatur im Umfeld der Planfläche zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens zeigen die Abb. 6 (Ist-Situation), Abb. 7 (Planszenario 1 minus Ist-Situation) und Abb. 8 (Planszenario 2 minus Ist-Situation).

Im Ist-Zustand ergeben sich für den Untersuchungsraum (Kartenausschnitt) Spannweiten der Temperatur von etwa 7 Kelvin. Mit Temperaturen zwischen 18 und 20 °C treten die hochversiegelten Bereiche im Süden des Untersuchungsraumes mit den Gleis-, Gewerbe- und Parkplatzflächen deutlich hervor. Ein moderates Temperaturniveau mit 16 bis 18 °C ist zum Großteil in den Wohngebieten vorzufinden. Die Freifläche am Ruhetal erreicht mit knapp unter 13 °C die niedrigsten Temperaturen. Daneben gibt es weitere kühlere Bereiche (blau), die 15,5 °C nicht überschreiten. Dazu zählen die Kleingartenanlagen nördlich (Lehrer Tal) und südlich des Mähringer Weges sowie die Grünflächen (größtenteils ebenso Kleingärten) östlich und westlich der B10. Das nördliche Plangebiet ist mit Werten zwischen 14 und 18 °C durch ein niedriges bis moderates Temperaturniveau gekennzeichnet. Das südliche Plangebiet, welches sich am Wilhelm-Geyer-Weg befindet und aktuell noch unbebaut ist, kühlt sich in der Nacht auf Temperaturen zwischen 14,5 und 15,5 °C ab.

Mit der geplanten Bebauung ist eine nächtliche Temperaturzunahme von bis zu 2,7 °C (Planvariante 1; Abb. 7) bzw. 3,2 °C (Planvariante 2; Abb. 8) zu erwarten. Die nächtliche Lufttemperatur steigt insbesondere in den Bereichen an, in denen eine Grünfläche bebaut wird. In der Planvariante 1 ist dies vor allem am Schulstandort und südlich des Mähringer Weges der Fall. In der Plan 2-Situation ist eine Temperaturzunahme verstärkt in der westlichen Hälfte des Plangebiets zu verzeichnen.

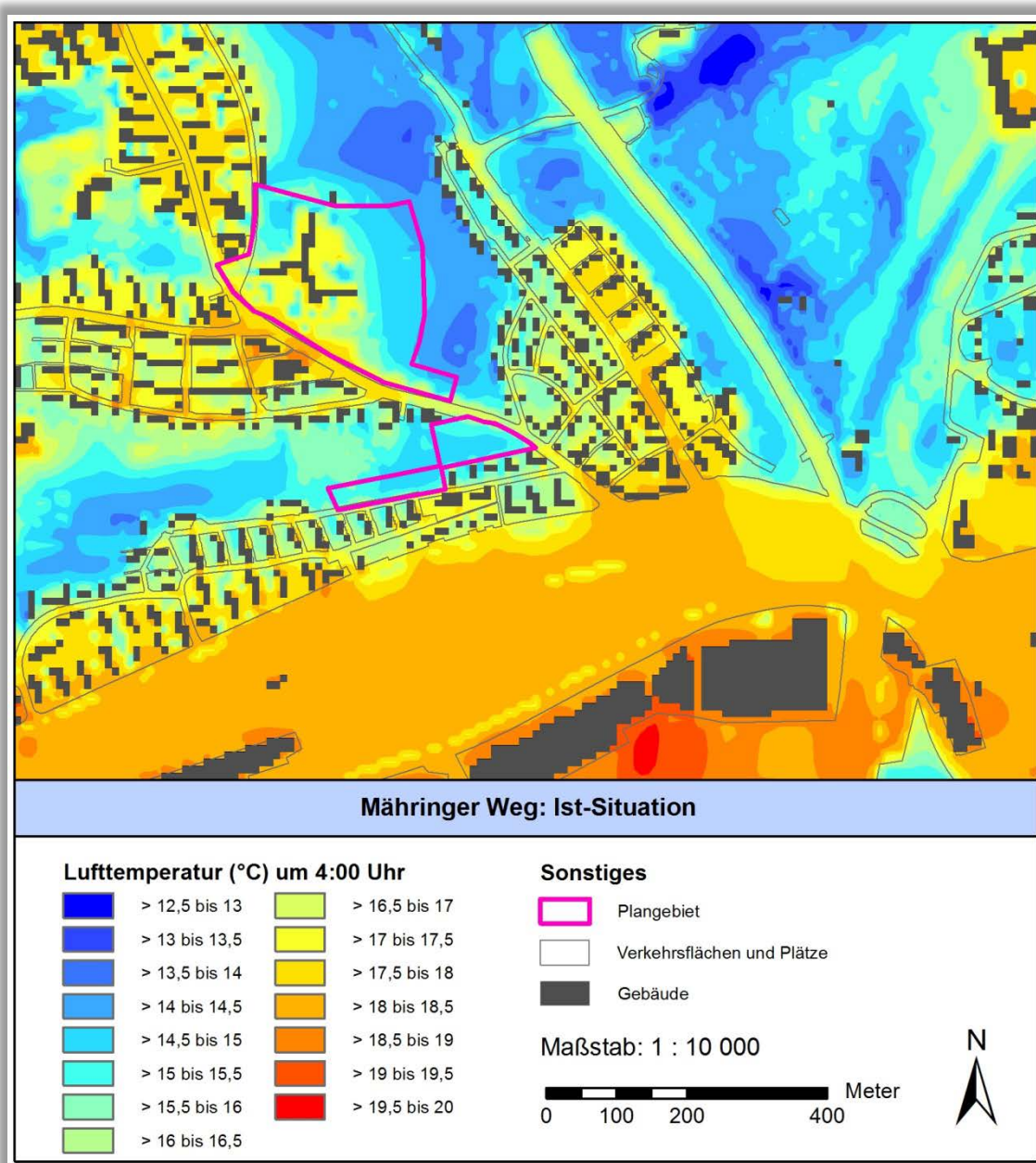


Abb. 6: Lufttemperatur in 2 m ü. Grund um 4 Uhr morgens, Ist-Zustand

Eine Änderung der nächtlichen Lufttemperatur ist vorrangig in den Plangebieten selbst zu beobachten. Die spürbare Zunahme der Lufttemperatur reicht nicht weiter als ca. 100 m über die Plangebietsgrenze hinaus. Durch die veränderten Bedingungen sinkt das Temperaturniveau außerhalb des Plangebiets im Bereich des Mähringer Weges kleinräumig sogar; im Planfall 1 kommt es zu einer Temperaturreduktion im südlichen Teil der Kleingartenkolonie. Dieser Abkühlungseffekt (blaue Flächen in Abb. 7 und Abb. 8) ist im Vergleich zur Erwärmung (rot) jedoch vernachlässigbar gering. Mit der Realisierung des Entwicklungskonzeptes Mähringer Weg sind im Bereich der neu entstehenden Gebäude moderate Temperaturen zwischen 16 bis 18 °C zu erwarten. Dies gilt sowohl für den Planfall 1 als auch für die 2. Planvariante.



Abb. 7: Änderung der Lufttemperatur in 2 m ü. Grund um 4 Uhr morgens, Plan1 - Ist-Zustand

In Bezug auf das nächtliche Temperaturniveau fügt sich das neue Quartierszentrum somit in die umgebende Wohnbebauung mit ein. Mit Temperaturen von 16 bis 18 °C in den Wohngebieten herrschen zudem die optimalen Schlaftemperaturen vor (UBA 2017).



Abb. 8: Änderung der Lufttemperatur in 2 m ü. Grund um 4 Uhr morgens, Plan2 - Ist-Zustand

5.2 Bodennahe Windfeld (Nacht)

Die bodennahe Temperaturverteilung bedingt horizontale Luftdruckunterschiede, die wiederum Auslöser für lokale thermische Windsysteme sind. Ausgangspunkt dieses Prozesses sind die nächtlichen Temperaturunterschiede, die sich zwischen Siedlungsräumen und vegetationsgeprägten Freiflächen bzw. dem Umland einstellen. 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 zu-

nächst vertikal nur von geringer Mächtigkeit (5-10 m Schichthöhe) sind und sich zwischen der Vielzahl der unterschiedlich temperierten Flächen ausbilden.

Die Ergebniskarten stellen das sich zum nächtlichen Analysezeitpunkt 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, für die aufgrund einer modellierten Mindestwindgeschwindigkeit von 0,1 m/s und unter Berücksichtigung der gebietstypischen Ausprägung eine potenzielle klimaökologische Wirksamkeit angenommen werden kann.

Die vorliegende Untersuchung geht der Frage nach, in wieweit sich eine bauliche Entwicklung innerhalb der Planfläche auf den lokalen Luftaustausch auswirken wird. Die Abb. 9 zeigt die Strömungsgeschwindigkeit des modellierten Windfeldes für den Istzustand als Basisszenario, das sich während einer sommerlichen Strahlungswetternacht ausbildet. Die Geschwindigkeit der Kaltluftströmungen liegt bodennah zumeist zwischen 0,1 m/s bis 2,3 m/s, wobei deren Dynamik räumlich variiert. Überdurchschnittlich hohe Strömungsgeschwindigkeiten von mehr als 1 m/s treten in der Kaltluftleitbahn Lehrer Tal (Kleingartenkolonie und Gleisareal südlich davon) und im westlichen Teil des Untersuchungsgebietes (flächenhafter Kaltluftabfluss vom Michelsberg) auf. Allgemein wird der Untersuchungsraum sehr gut durchlüftet, was auf einen relativ geringen Bebauungsgrad (hoher Grünanteil und großes Gleisareal im Süden) und die Reliefsituation zurückzuführen ist. Im Windfeld zeigt sich außerdem, dass die westlichen Bereiche der beiden Plangebiete Teil der Kaltluftleitbahn Lehrer Tal sind. Insofern wird im Folgenden betrachtet, wie sich eine mögliche Bebauung auf die Windsituation auswirkt und ob es ggf. zu Beeinträchtigungen im Kaltlufthaushalt (vgl. Kapitel 5.3 zum Kaltluftvolumenstrom) kommen wird.

Mit der Umsetzung der geplanten Bebauung ist eine leichte Veränderung im Strömungsgeschehen zu erwarten (Abb. 10 und Abb. 11). Während die Plangebiete weiterhin von nördlichen Winden durchströmt werden und sich die Windrichtung nicht wesentlich verändert, ergeben sich Änderungen in der Windgeschwindigkeit. Durch die Hinderniswirkung von Gebäuden und damit einhergehend der Kanalisierung des Strömungsfeldes können Zu- und Abnahmen der Windgeschwindigkeit in direkter räumlicher Nähe nebeneinander auftreten. Die Änderungsraten der Windgeschwindigkeit decken ein Wertespektrum von -2,1 bis 1 m/s ab, wobei die in den Planszenarien vorgesehene Bebauung durch den Verlust der Grünfläche vor allem zu einer Abschwächung der Winde beiträgt. Im Bereich der neuen Gebäude nehmen die Windgeschwindigkeiten um bis zu 2,1 m/s ab. Im Planfall 1 ist dies vor allem im südlichen Plangebiet (Wilhelm-Geyer-Weg) der Fall. In der Plan-2-Situation ist die gesamte westliche Hälfte des (nördlichen) Plangebietes von einer Reduktion der Windgeschwindigkeit betroffen. Die Auswirkungen der geplanten Bebauung beschränken sich jedoch hauptsächlich auf das Plangebiet (und zum Teil auf die

südlich angrenzenden Gleisflächen), wogegen das großräumige Strömungsgeschehen im Untersuchungsgebiet trotz der neuen Gebäude unbeeinflusst bleibt.

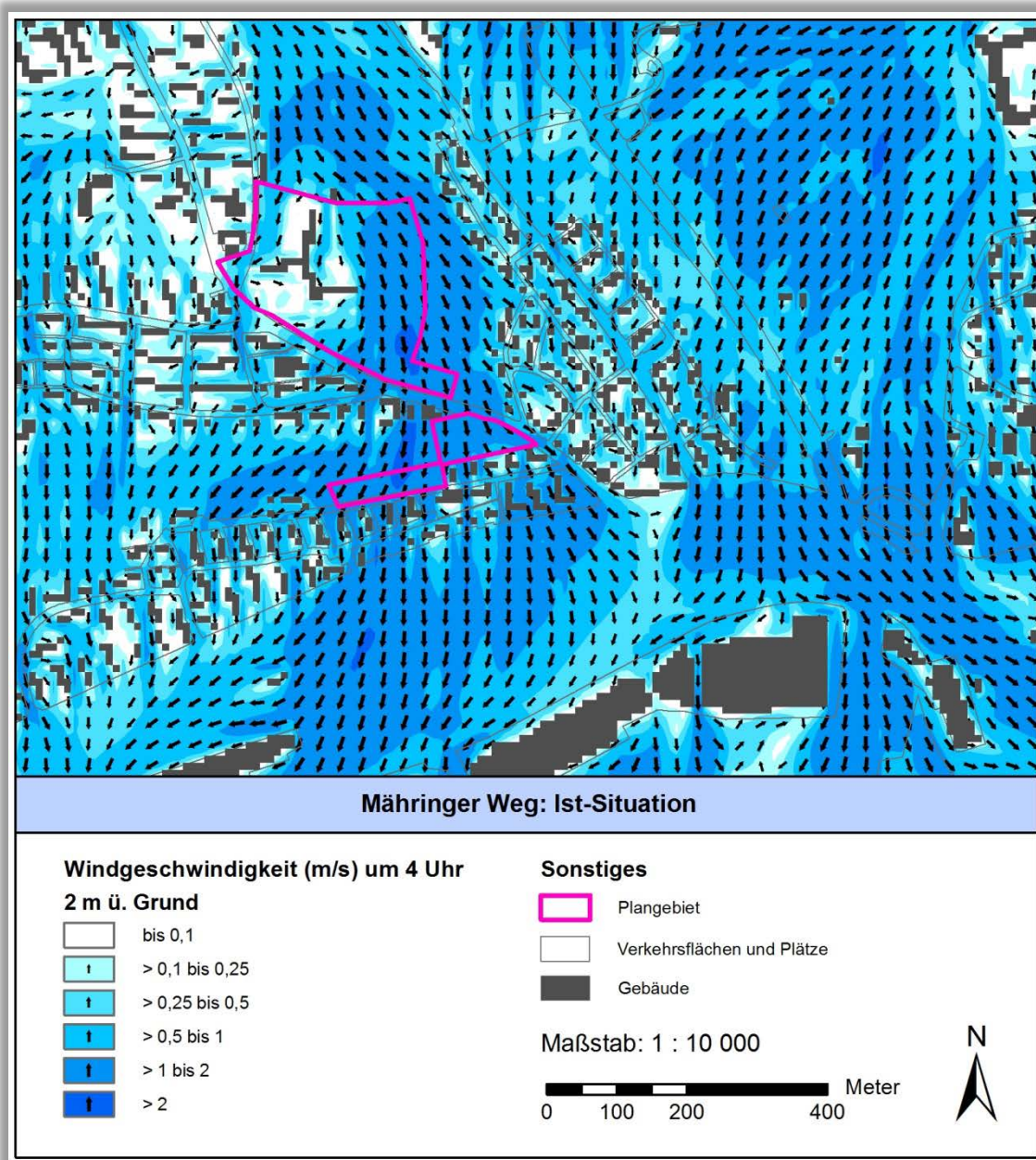


Abb. 9: Bodennahes Windfeld um 4 Uhr morgens, Ist-Zustand

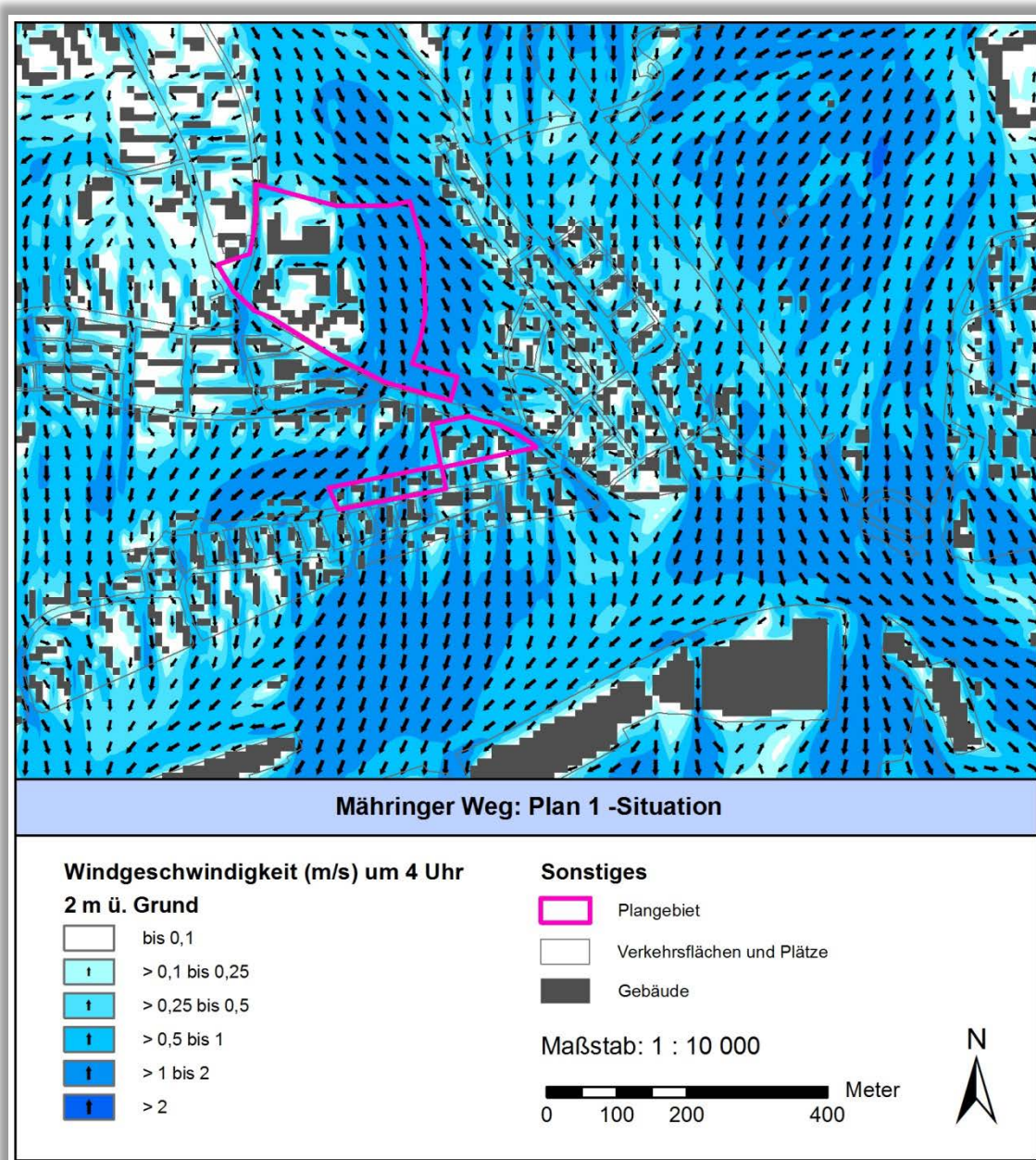


Abb. 10: Bodennahes Windfeld um 4 Uhr morgens, Plan 1- Situation

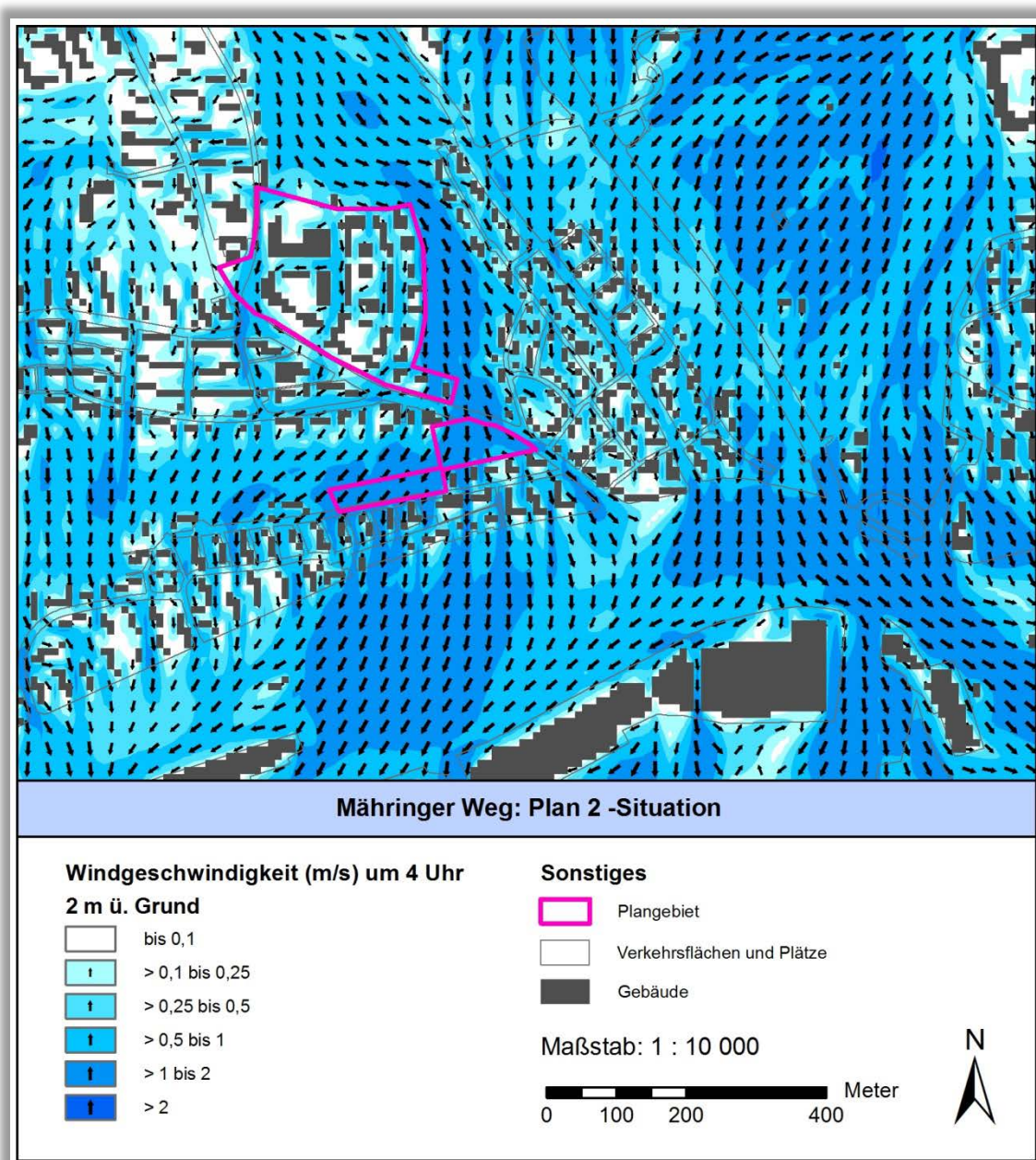


Abb. 11: Bodennahes Windfeld um 4 Uhr morgens, Plan 2- Situation

5.3 Kaltluftvolumenstrom (Nacht)

Den lokalen thermischen Windsystemen kommt eine besondere Bedeutung beim Abbau von Wärme- und Schadstoffbelastungen größerer Siedlungsräume zu. Weil die potenzielle Ausgleichsleistung einer Grünfläche als Kaltluftentstehungsgebiet 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 Beurteilung der klimatischen Ausgangssituation mit dem Kaltluftvolumenstrom ein weiterer Parameter herangezogen (Abb. 12). 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 m^3 , 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 (hier 1 m), ist der resultierende Parameter streng genommen nicht als Volumenstrom, sondern als Volumenstrom-Dichte aufzufassen. Dieser Wert kann über ein 1 m breites, quer zur Luftströmung hängendes Netz veranschaulicht werden, das ausgehend von der Obergrenze der Kaltluftschicht bis hinab auf die Erdoberfläche reicht.

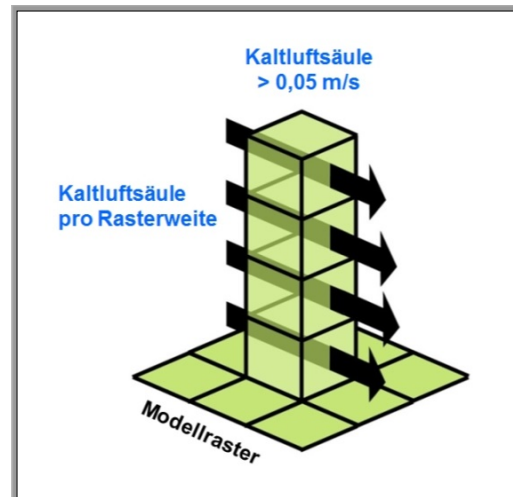


Abb. 12: Prinzipskizze Kaltluftvolumenstrom

Wird nun die Volumenstrom-Dichte mit 10 multipliziert, erhält man den rasterbasierten Kaltluftvolumenstrom der 10 m x 10 m breiten Rasterzelle. Um Modellergebnisse verschiedener Gitterauflösungen (z.B. 10, 25 und 50 m) direkt miteinander vergleichen zu können, empfiehlt es sich, die Kaltluftvolumenstromdichte (in $\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{m}^{-1}$) anstelle des Kaltluftvolumenstroms (in $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) als Größe zu verwenden¹. Der Volumenstrom ist ein Maß für den Zustrom von Kaltluft und bestimmt somit, neben der Strömungsgeschwindigkeit, die Größenordnung des Durchlüftungspotenzials.

Die räumliche Ausprägung des Kaltluftvolumenstroms im Untersuchungsraum entspricht im Wesentlichen der des bodennahen Strömungsfeldes. Die Abb. 13 zeigt die Situation für den Ist-Zustand in einer qualitativen Abstufung, die Planzustände werden in den Abb. 14 und Abb. 15 dargestellt.

¹ Im nachstehenden Text ist mit Kaltluftvolumenstrom streng genommen immer die Kaltluftvolumenstromdichte in $\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{m}^{-1}$ gemeint.

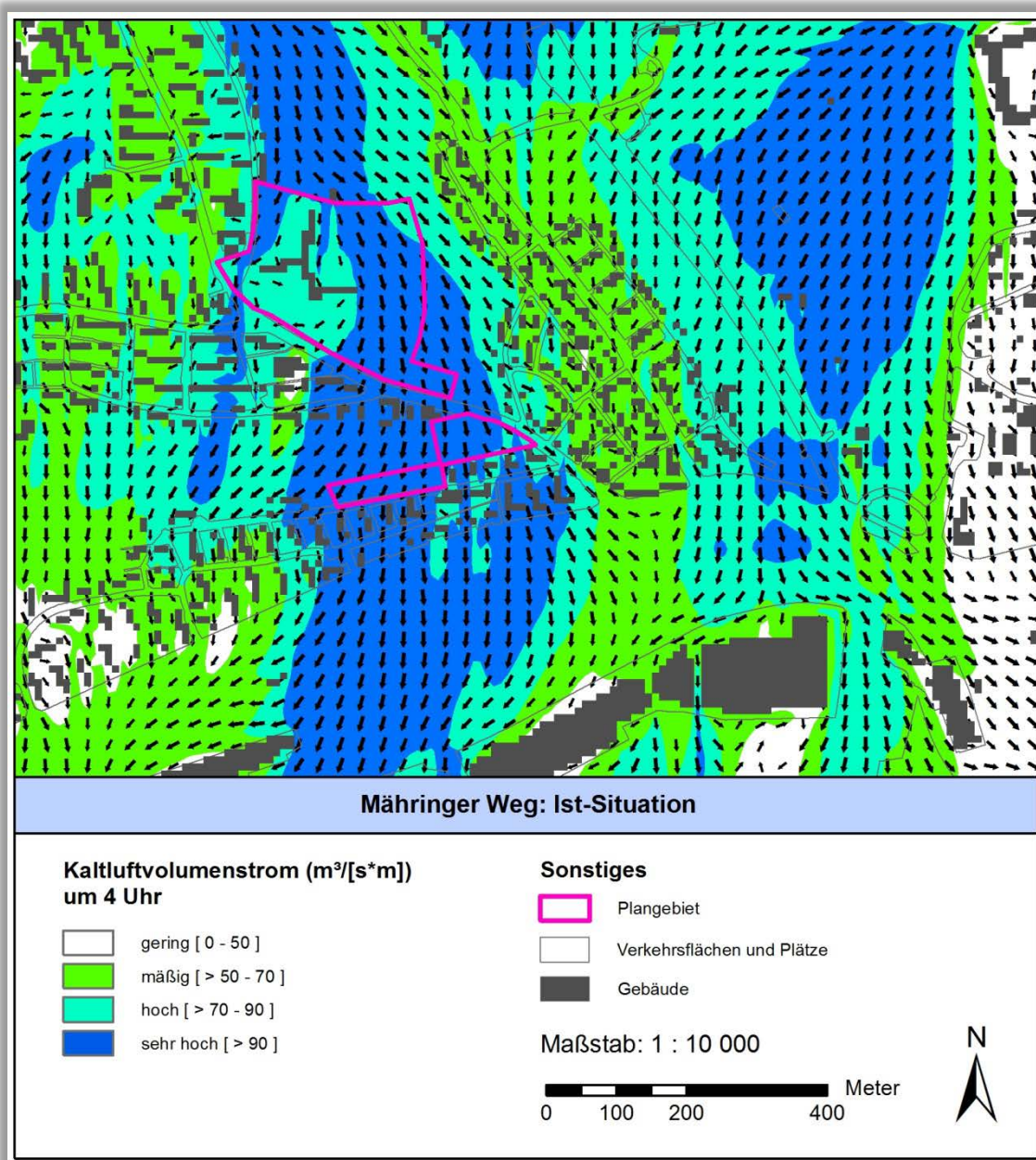


Abb. 13: Kaltluftvolumenstrom um 4 Uhr morgens, Ist-Zustand (Windpfeile aus Abb. 9 übernommen)

Im Ist-Zustand erreicht der Kaltluftvolumenstrom im Untersuchungsgebiet Mähringer Weg eine Spanne von 10 bis $122 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$. Der Mittelwert liegt bei etwa $70 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$, die Standardabweichung bei ungefähr $20 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$. Entsprechend dieser statistischen Werte wurde die Klassenteilung des Kaltluftvolumenstroms von gering bis mäßig über hoch und sehr hoch vorgenommen. Die in den Abb. 13-15 dargestellten hohen und sehr hohen Volumenströme kennzeichnen dementsprechend Bereiche mit einem (auf das Untersuchungsgebiet bezogen) überdurchschnittlichen Zustrom an Kaltluft. Im Vergleich zur gesamtstädtischen Klimaanalyse Ulms (GEO-NET 2018) handelt es sich beim Vertiefungsgebiet Mähringer Weg um einen Bereich mit besonders hohen Kaltluftvolumenströmen: Im gesamten Stadtgebiet Ulms beträgt der mittlere Kaltluftvolumenstrom ca. $30 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$. Im Untersuchungsgebiet Mähringer Weg

werden auf rund 97 % der Flächen Kaltluftvolumenströme von über $30 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ erreicht. Die höchsten Volumenströme sind im Bereich der Kaltluftleitbahn Lehrer Tal und am Hang des Michelsberges zu finden. Die günstige Kaltluftsituation am Mähringer Weg ergibt sich aus dem Zusammenspiel der Reliefsituation (Kaltluftabfluss entlang des Tales und der Hänge), des geringen Bebauungsanteils von 12,8 % (wenig Gebäude als Strömungshindernis), der geringen Gebäudehöhe (im Durchschnitt 11,5 m) und der Temperaturunterschiede, die zwischen den kühleren Grünflächen im Norden und den Siedlungs- und Gewerbeflächen im Süden bestehen (Flurwinde aus Ausgleichsströmung). Hinzu kommt, dass die Mächtigkeit der Kaltluftschicht im Lehrer Tal bis zu 40 m beträgt und die Gebäude im gesamten Untersuchungsraum maximal 23 m hoch sind.

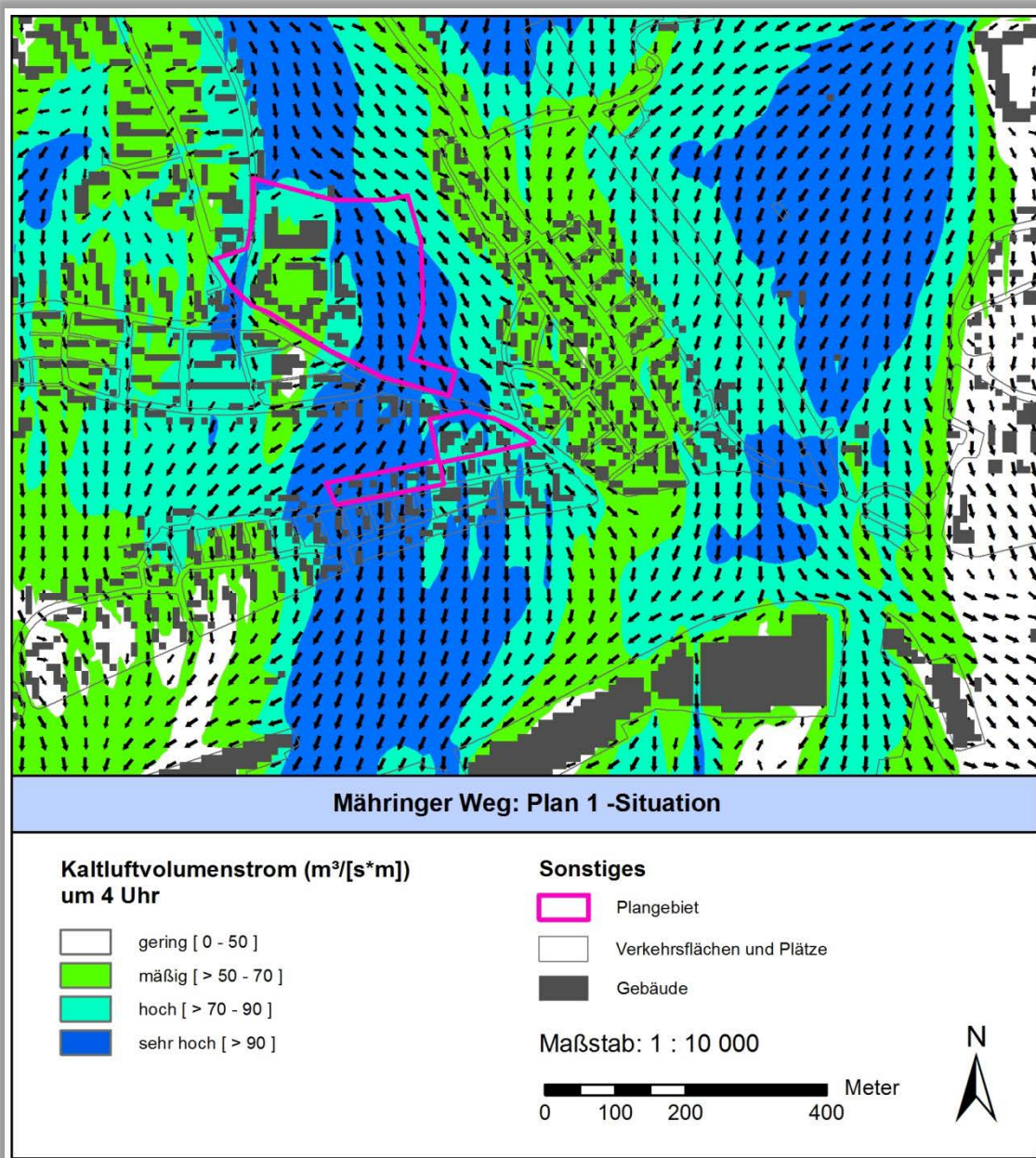


Abb. 14: Kaltluftvolumenstrom um 4 Uhr morgens, Plan 1 - Situation (Windpfeile aus Abb. 10 übernommen)

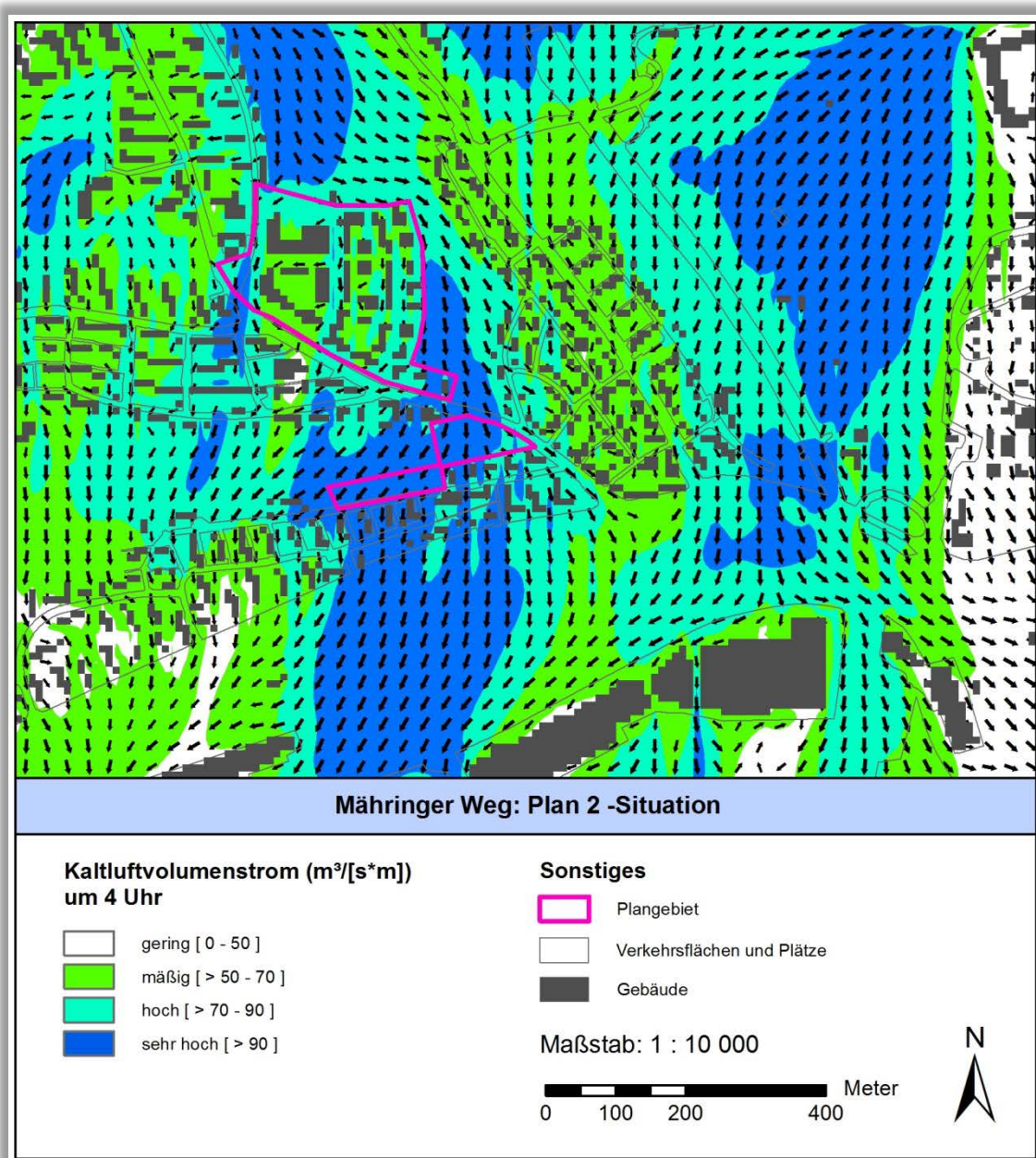


Abb. 15: Kaltluftvolumenstrom um 4 Uhr morgens, Plan 2 - Situation (Windpfeile aus Abb. 11 übernommen)

Mit der Umsetzung des städtebaulichen Entwicklungskonzeptes Mähringer Weg kommt es, insbesondere in der Plan 2-Situation, zu einer Verengung der Kaltluftleitbahn Lehrer Tal. Jedoch bleibt selbst in der Planvariante 2 die Mindestbreite von Kaltluftleitbahnen, welche 50 m beträgt (Mayer 1994 et al.), erhalten. Die neu geplanten Gebäude werden in etwa zwischen 12 und 15 m hoch sein, sodass die Kaltluft über diese Gebäude hinwegströmen kann und der Kaltlufthaushalt im Untersuchungsraum nicht zu stark beeinträchtigt wird. Nichtsdestotrotz nimmt infolge der Bebauung der Kaltluftvolumenstrom in den Plangebieten selbst sowie südlich daran angrenzend ab. Mit der Umwandlung von einer Grünfläche in eine bebaute Fläche nimmt der Kaltluftvolumenstrom in den beiden Plangebieten am stärksten (um bis zu 35 %) ab. Nach wie vor werden jedoch auch in den beiden Planvarianten auf 97 % der Fläche des Un-



tersuchungsgebiets Kaltluftvolumenströme von über $30 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ erreicht. Die Auswirkungen der Bebauung auf die umliegenden Quartiere sind in der Plan 1-Situation sowie in der Plan 2-Situation vernachlässigbar gering. Das neue Quartier sowie seine Umgebung werden weiterhin durchlüftet und befinden sich im Einwirkungsbereich von Kaltluft (vgl. Strömungsfeld in Abb. 14 und Abb. 15). Auch die nächtliche Lufttemperatur bleibt trotz der Bebauung deutlich unter der 20°C -Marke. So bleiben die beiden Plangebiete Mähringer Weg und Wilhelm-Geyer-Weg sowie ihr Umfeld weiterhin unbelastet.

5.4 Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET am Tag)

Zur Bewertung der Tagsituation wird im Folgenden der humanbioklimatische Index PET (=Physiologisch Äquivalente Temperatur) herangezogen (Höppe und Mayer 1987). Die PET bezieht sich (wie die übrigen humanbiometeorologischen Indizes auch) auf außenklimatische Bedingungen und zeigt eine starke Abhängigkeit von der Strahlungstemperatur (Kuttler 1999). Mit Blick auf die Wärmebelastung ist er damit vor allem für die Bewertung des Aufenthalts im Freien am Tage sinnvoll einsetzbar. Die Berechnung der PET beruht auf dem Wärmeaustausch des Menschen mit seiner Umgebung und beschreibt das thermische Empfinden einer „Standardperson“, welche eine mittlere thermische Empfindlichkeit repräsentiert. Dafür sind vor allem Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit und thermophysiologisch wirksame Strahlung relevant. Per Definition liegt eine starke Belastung ab einer PET von mehr als 35°C vor (Tab. 1). Zum Zeitpunkt 14 Uhr zeigt sich, dass die auftretende Wärmebelastung am Tage vor allem über die Verschattung beeinflusst wird.

Tab. 1: Zuordnung von Schwellenwerten für den Bewertungsindex PET während der Tagesstunden

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	Schwache 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

Die PET erreicht in den Plangebieten mit $24,6$ bis $39,2^\circ\text{C}$ eine Spanne von $14,6 \text{ K}$ (Abb. 16; Ist-Zustand). Der Großteil der Fläche ist nur schwach bis mäßig wärmebelastet mit PET-Werten von unter 35°C . Dies ist vor allem in den Kleingärten und unter Baumgruppen der Fall. Eine starke Wärmebelastung mit einer PET über 35°C ist u.a. entlang des Mähringer Weges und im Bereich der Hans-Zulliger-Schule zu beobachten. Im Ist-Zustand treten Flächen extremer Wärmebelastung ($\text{PET} > 41^\circ\text{C}$) nur außerhalb der Plangebiete, nämlich im Kreuzungsbereich Mähringer Weg / Am Bleicher Hag, im Gewerbegebiet und

punktuell in verschiedenen Straßenzügen, auf. Eine starke Besonnung und gleichzeitig hohe Versiegelungsgrade sind vor allem für diese hohe Wärmebelastung verantwortlich.

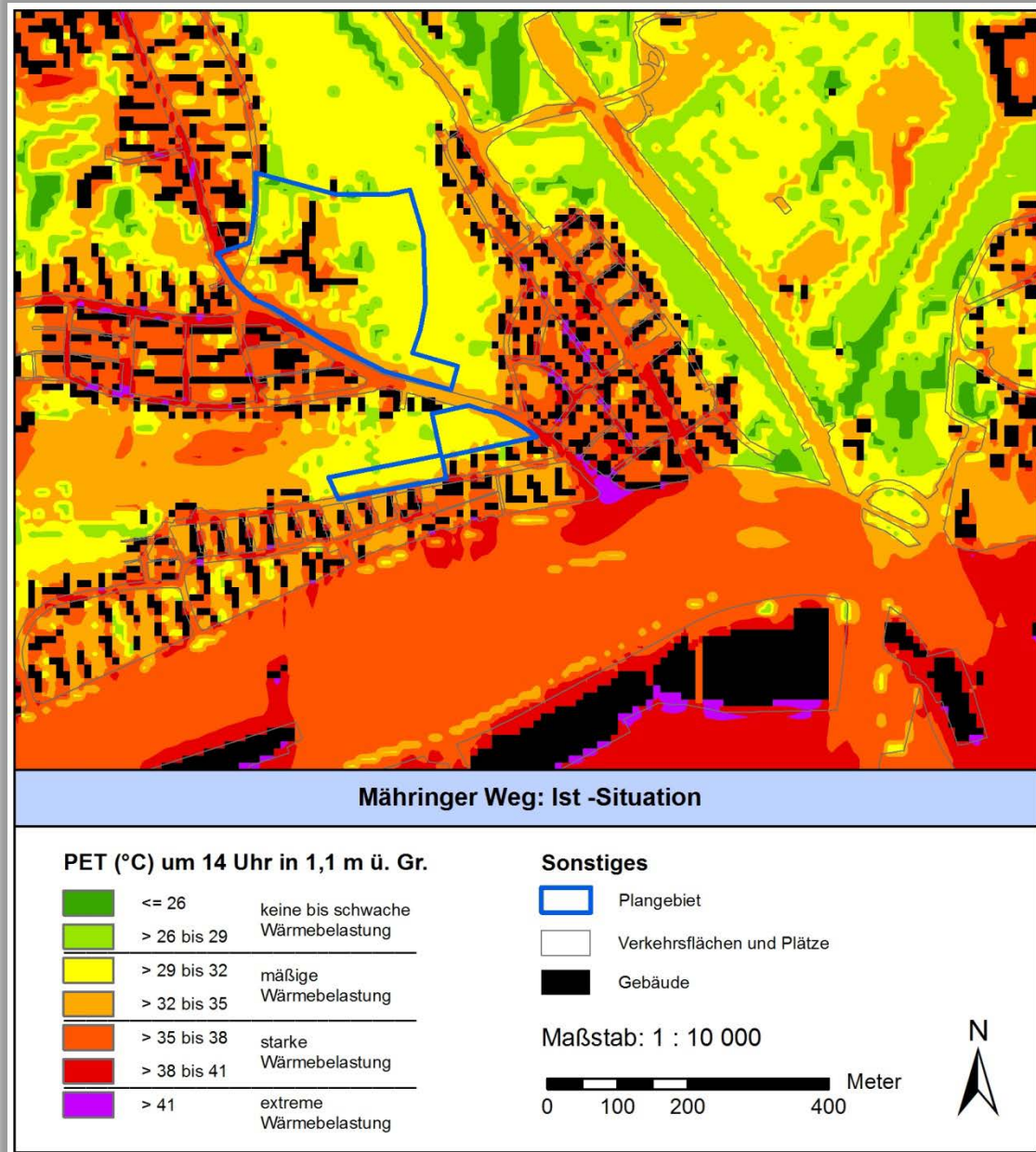


Abb. 16: Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET) in 1,1 m ü. Grund um 14 Uhr, Ist-Zustand

Im gesamten Untersuchungsgebiet heben sich die Grün- und Freiflächen deutlich von den Verkehrs-, Siedlungs- und Gewerbeflächen ab. Während die Grün- und Freiflächen in der Regel gar nicht bis mäßig wärmebelastet sind, werden die übrigen Bereiche meist von einer starken Wärmebelastung (insbesondere Straßen, Gleise, Parkplätze, Gewerbeflächen) geprägt. Die Wohngebiete sind, je nach Grün- und Baumanteil, am Tage mäßig bis stark wärmebelastet.

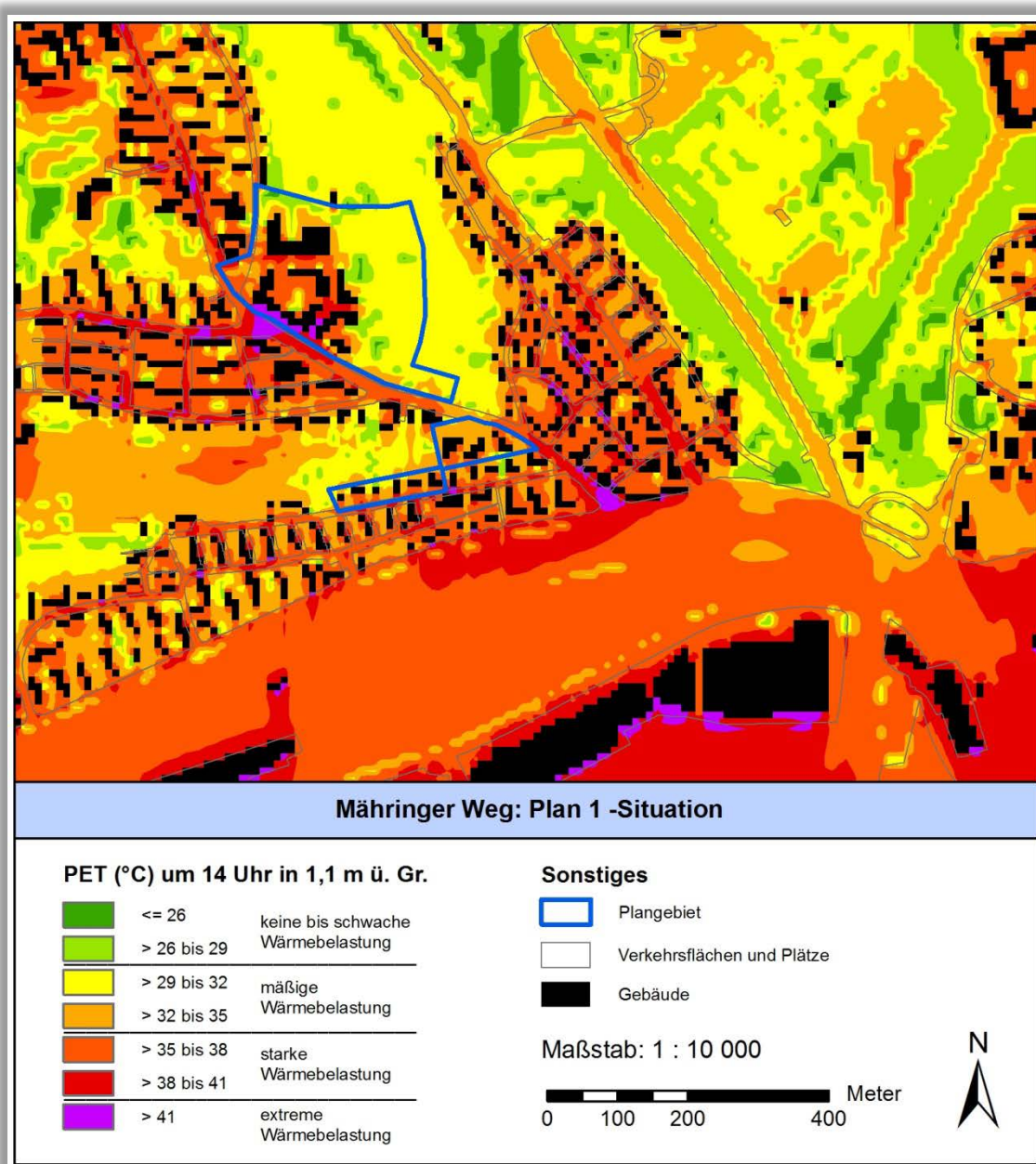


Abb. 17: Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET) in 1,1 m ü. Grund um 14 Uhr, Plan 1- Situation

Bei einer Umsetzung des Konzeptes ist zu erwarten, dass die PET am Tage überwiegend zunehmen wird (Abb. 17 und Abb. 18). Ähnlich wie auch die Lufttemperatur in der Nacht (vgl. Kapitel 5.1) betrifft die Änderung der PET vorrangig das Plangebiet selbst, d.h. im angrenzenden Siedlungsraum kommt es zu keiner weiteren Verschlechterung des Bioklimas. Im Plangebiet selbst sollten jedoch Maßnahmen zur Verbesserung des Bioklimas getroffen werden, um die Wärmebelastung zu reduzieren (vgl. Kapitel 7). Mit der Umwandlung des Kleingartenareals in eine Wohnbaufläche steigt die PET um bis zu 15 °C an (s. Planvariante 2, westlicher Abschnitt des Plangebiets). Aufgrund der Zunahme des Versiegelungsgrades ist der Haltestellenabschnitt am Mähringer Weg (südlich der Schule) zudem tagsüber extrem wärmebelastet (PET > 41 °C), wohingegen dieser Bereich in der Ist-Situation lediglich stark wärmebelastet war

($PET < 41\text{ °C}$). Die Pflanzung von Bäumen entlang des Mähringer Weges, wie sie in beiden Planvarianten vorgesehen ist, erzielt hingegen eine positive Wirkung: Aufgrund der neuen Vegetation und der damit einhergehenden Verschattung des Straßenbereichs nimmt die PET um mehr als 3 K ab. Somit verbessert sich das Straßenklima des Mähringer Weges am Tag. Die Anlage eines Kleingartenparks am Wilhelm-Geyer-Weg (Planvariante 1) trägt in Bezug auf die PET zu keinerlei Veränderung bei. Hierzu müsste sich der Baumanteil gegenüber dem aktuellen Zustand deutlich erhöhen, um eine merkliche Abnahme der PET zu erzielen.

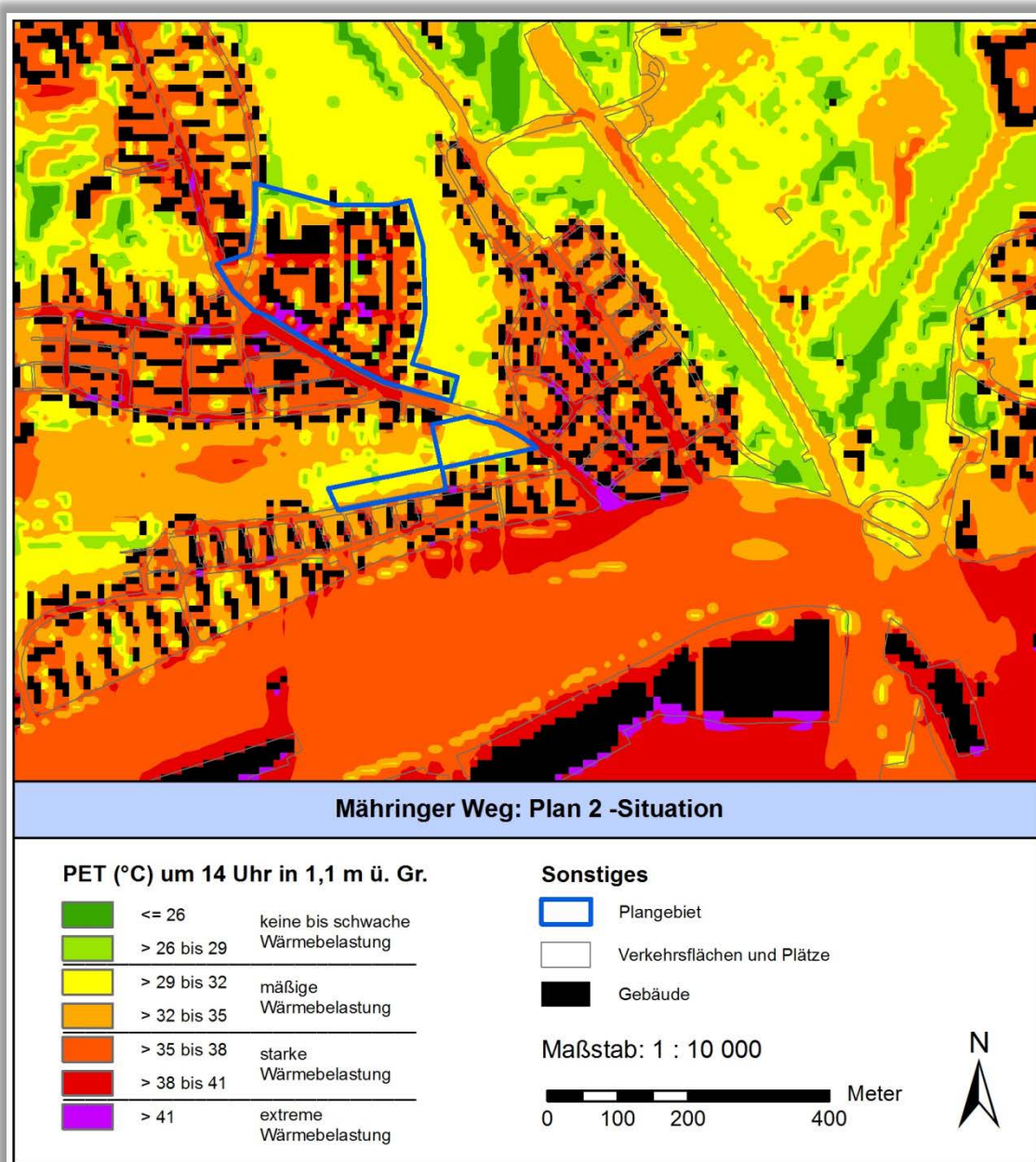


Abb. 18: Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET) in 1,1 m ü. Grund um 14 Uhr, Plan 2- Situation

6. Fazit

Die modellgestützte Analyse mit FITNAH-3D hat verdeutlicht, welche klimaökologischen Funktionen das Untersuchungsgebiet „Mähringer Weg“ bei austauscharmen Strahlungswetterlagen erfüllt und welche Klimaveränderungen sich durch die neu geplanten Strukturen des städtebaulichen Entwicklungskonzeptes ergeben.

Bei dem in diesem Gutachteten betrachteten Untersuchungsraum handelt es sich um einen Bereich mit einer besonders guten Durchlüftung. Im Vergleich zur Gesamtstadt sind sowohl die Strömungsgeschwindigkeiten als auch die Kaltluftvolumenströme überdurchschnittlich hoch. Die höchsten Windgeschwindigkeiten und Volumenströme sind im Bereich der Kaltluftleitbahn Lehrer Tal und am Hang des Michelsberges zu finden. Die günstige Kaltluftsituation ergibt sich aus dem Zusammenspiel des Reliefs, des geringen Bbauungsanteils, der niedrigen Gebäudehöhe und der Temperaturunterschiede, die zwischen den kühleren Grünflächen im Norden und den Siedlungs- und Gewerbeflächen im Süden bestehen. Hinzu kommt, dass die Mächtigkeit der Kaltluftschicht im Lehrer Tal bis zu 40 m beträgt. Die zwei Plangebiete am Mähringer Weg und Wilhelm-Geyer-Weg sind aktuell sowohl am Tag als auch in der Nacht keiner Wärmebelastung ausgesetzt, d.h. die nächtliche Lufttemperatur erreicht in den Plangebieten nicht mehr als 18 °C und die PET um 14 Uhr fällt mit meist unter 35 °C verhältnismäßig gering aus.

Im Vergleich des Ist-Zustandes mit den beiden Planvarianten geht hervor, dass sich die in den Planszenarien vorgesehenen Veränderungen klimatisch größtenteils auf das Plangebiet selbst, und nicht wesentlich auf das direkte Umfeld, auswirken. Durch die Hinderniswirkung von Gebäuden sind die Strömungsgeschwindigkeiten und Kaltluftvolumenströme in den Plangebieten herabgesetzt, wogegen das großräumige Strömungsgeschehen mit der Kaltluftzufuhr aus dem Lehrer Tal bestehen bleibt. Insbesondere in der Plan 2-Situation kommt es zu einer Verengung der Kaltluftleitbahn Lehrer Tal, wobei jedoch eine 50m-Mindestbreite in der Kaltluftleitbahn erhalten wird. Da die neu geplanten Gebäude mit Höhen zwischen 12 und 15 m relativ niedrig sind, kann die Kaltluft über diese Gebäude hinwegströmen. Mit der Realisierung des Entwicklungskonzeptes sind in der Nacht im Bereich der neu entstehenden Gebäude moderate Temperaturen zwischen 16 bis 18 °C zu erwarten. Dies kann als klimaökologisch vertretbar eingestuft werden. Hingegen ist bei einer Umsetzung des Bauvorhabens zu erwarten, dass die Wärmebelastung am Tage in den Plangebieten spürbar zunehmen wird. Im Bereich der Haltestelle Mähringer Weg ist, insbesondere in der Planvariante 1, ein Sprung von einer aktuell starken Wärmebelastung (≥ 35 °C) in eine extreme Wärmebelastung (≥ 41 °C) zu erwarten. Mit der Umwandlung des Kleingartenareals in eine Wohnbaufläche steigt die PET in diesem Bereich um bis zu 15 °C an.

Insgesamt ist der im Planszenario vorgesehene Eingriff aus klimatischer Sicht in Bezug auf die Umgebung als nicht erheblich einzustufen. Aufgrund der hohen Wärmebelastung (insbesondere am Tag) und der Reduktion des Kaltluftvolumenstroms innerhalb der zwei Plangebiete sollten entsprechende Anpassungsmaßnahmen im Quartier (z.B. helle Fassaden, Retentions- und Grünflächen, Bäume als Schattenspender) vorgenommen werden. Mögliche Maßnahmen zur Verbesserung des Klimas einschließlich ihrer Wirksamkeit werden im nachstehenden Teil untersucht.



Aus klimaökologischer Sicht wird empfohlen, die Plan 1-Situation vorzuziehen. Gegenüber der Variante 2 ist in diesem Planfall der Eingriff in den Kaltlufthaushalt sowie die nächtliche Temperaturzunahme geringer. Allerdings sollte vor allem in der Planvariante 1 die Wärmebelastung an der Haltestelle Mähringer Weg mithilfe entsprechender Klimaanpassungsmaßnahmen reduziert werden.

7. Zu empfehlende Maßnahmen der Klimaoptimierung

In diesem Kapitel werden Maßnahmen aufgezeigt, welche zur klimatischen Optimierung des Plangebietes beitragen. Ein Schwerpunkt beinhaltet vor allem die Reduktion der Wärmebelastung am Tage. Insofern sind beispielweise ein hoher Grünanteil und Verschattungselemente (z.B. durch Bäume, Sonnenschirme) von Bedeutung.

Mikroklimatische Vielfalt im Kleingartenpark am Mähringer Weg (Planvariante 1)

Damit innerstädtische Grün- und Freiflächen ihr Potential an klimaökologischen Dienstleistungen umfänglich ausschöpfen können, sollten sie möglichst vielfältige Mikroklimata bereitstellen. Als Leitbild kann der erweiterbare, für jedermann kostenlos begehbare „Savannentyp“ (Kuttler 2013) dienen. Er besteht zu einem großen Anteil aus gut wasserversorgten Rasenflächen und kleinen Baumgruppen, die mit offenen multifunktionalen Wasserflächen (z.B. Wasserspielplatz und Retentionsraum für Starkregenereignisse), Hügel Landschaften, verschatteten Wegen und Sitzgelegenheiten sowie weiteren Strukturmerkmalen (Beete, Rabatten, Blumenwiesen, Sukzessionsflächen) angereichert sind. Die Übergangsbereiche zur angrenzenden Bebauung sollten offen gestaltet sein. Es empfiehlt sich, den Baumanteil im geplanten Kleingartenpark gegenüber dem aktuellen Zustand zu erhöhen, um die tagsüber auftretende Wärmebelastung zu minimieren.

Klimaoptimierung des Haltestellenbereichs Mähringer Weg

Der Haltestellenbereich am Mähringer Weg kann durch eine Erhöhung des Grün- bzw. Baumanteils, bautechnische Verschattungsmaßnahmen, die Verwendung heller Oberflächenmaterialien sowie die Anlage von offenen Wasserflächen (z.B. Brunnen) klimaökologisch optimiert werden. Zur Verbesserung der Aufenthaltsqualität können u.a. auch begrünte Haltestellendächer beitragen.

Dach- und Fassadenbegrünung

Die Dach- und Fassadenbegrünung zählen zu den effektiven Maßnahmen, die Erwärmung der Gebäude am Tage abschwächen. 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 aller-

dings entscheidend von der baulichen Ausgangssituation mitbestimmt. In Bezug auf den Abkühlungseffekt ist eine Fassadenbegrünung einer Dachbegrünung zu bevorzugen.

Bei einer Dachbegrünung wirkt die Vegetation zusammen mit dem Substrat isolierend und verringert damit das Aufheizen darunter liegenden Wohnraums. Zudem senkt die Dachbegrünung die Oberflächentemperatur des Daches aufgrund der Verdunstung von Wasser ab und verringert die Temperatur in der oberflächennahen Luftschicht. Allerdings können nur relativ niedrige Gebäude (wie z.B. Einzel- und Reihenhäuser) mit Dachbegrünung zu einem im bodennahen Bereich positiven Abkühleffekt beitragen. Gründächer auf 4-5 geschossigen Gebäuden, wie sie im Entwicklungskonzept Mähringer Weg vorgesehen sind, zeigen in der untersten Schicht der Stadtatmosphäre (= Aufenthaltsbereich des Menschen, 2 m ü. Grund) keinen nennenswerten positiven Temperatureffekt. Jedoch können zumindest die oberen Geschosse von der Kühlwirkung der Dachbegrünung profitieren. Voraussetzung für die Kühlwirkung ist allerdings immer ein ausreichendes Wasserangebot für die Vegetation. 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.

Hohe Oberflächenalbedo von Gebäuden

Eine Möglichkeit der Optimierung ist die Verwendung heller Oberflächen, die eine hohe Rückstrahlung haben (Albedo). Eine hohe Albedo hat aus thermischer Perspektive sowohl eine positive Auswirkung auf die Wärmeleitung als auch auf die Lufterwärmung. Je höher also die Albedo der Baumaterialien oder der Fassadenanstriche („cool colors“) ist, desto mehr einfallende Sonnenstrahlung wird von ihnen reflektiert und desto geringer fällt die Erwärmung der Oberfläche und der angrenzenden Luftmassen aus. Die Gestaltung von hellen Fassaden und Belägen ist auch ein Belang der Stadtgestaltung und ist daher nicht allein eine Frage der Klimaanpassung.

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 Laubbäume sind gegenüber Nadelbäumen zu bevorzugen, da sie im Winter einen vergleichsweise geringeren Einfluss auf die Einstrahlung ausüben und dadurch zu einer Reduktion von Heizenergie und damit von Heizkosten und Treibhausgasemissionen führen können. Im Straßenraum sind Bäume bereits vorgesehen: Die Pflanzung von Bäumen entlang des Mähringer Weges trägt zur Verbesserung des Straßenklimas (insbesondere am Tag, vgl. Kapitel 5.4) bei. Bei der Gestaltung der privaten Freiflächen kann der Aspekt der Verschattung in die Freiraumgestaltung integriert werden. Bei bestimmten Gebäuden spielen auch Nutzungszeiten eine Rolle. Die Schule wird vor allem morgens bis zum frühen Nachmittag genutzt. Die Verschattung mit Bäumen sollte insbesondere dieses Zeitfenster abdecken.



Anpassung des Raumnutzungskonzeptes

Mit der Umsetzung des Entwicklungskonzeptes Mähringer Weg wird zum großen Teil neuer Wohnraum geschaffen. Innerhalb von Wohngebäuden sind Schlafräume, Kinderzimmer und Arbeitszimmer als besonders hitzeschutzbedürftig einzustufen (Richtwert „gesundes Schlafen“: 18°C). In Büroräumen soll die Temperatur 26°C nicht übersteigen (ASTA 2010), damit die Leistungsfähigkeit nicht eingeschränkt wird. Vor allem auch am Schulstandort sollte ein angenehmes – oder zumindest nicht belastendes - Raumklima herrschen. Neben Maßnahmen, die zu einer unmittelbaren Verringerung der Lufttemperatur im Innenraum führen, stellt die Optimierung des Grundrisses bei Neubauten eine weitere Option zur Verringerung von thermischem Stress dar. Dies bedeutet vor allem, dass – sofern architektonisch möglich – sensible Räume (s.o.) nach den Himmelsrichtungen zwischen Norden und Osten (N, NNO, NO, ONO und O) ausgerichtet werden und damit nicht dauerhaft einer unmittelbaren Sonneneinstrahlung ausgesetzt sind.

Vermeidung von Austauschbarrieren / Optimierung der nächtlichen Kaltluftströmung

Grün- und Freiflächen können ihre ausgleichende Wirkung nur dann entfalten, wenn Kalt- bzw. Frischluft aus den Flächen möglichst ungehindert ausströmen kann. Durch die Hinderniswirkung der Gebäude sind die Strömungsgeschwindigkeiten und Kaltluftvolumenströme in den Plangebieten herabgesetzt. Um diesen Effekt möglichst gering zu halten, empfiehlt sich eine Ausrichtung der Gebäudekörper in Strömungsrichtung. Das bedeutet in dem Falle, dass die Gebäude möglichst in Nord-Süd-Richtung ausgerichtet werden. Quer zur Strömung (Ost-West) verlaufende Gebäude wirken sich dagegen nachteiliger auf die Durchlüftung aus. Die nächtliche Kaltluftströmung kann außerdem durch eine niedrige Gebäudehöhe und die Umsetzung der Planvariante 1 (anstelle des 2. Entwurfs) optimiert werden.



Literatur

- Ausschuss für Arbeitsstätten (ASTA) (2010): Technische Regel für Arbeitsstätten: Raumtemperatur, ASR A3.5, Quelle: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA)(28.08.2015). Internet: <http://www.baua.de/cae/servlet/contentblob/1108456/publicationFile/89166/ASR-A3-5.pdf> (Zugriff: 8.9.2017).
- DFG (1988) – Deutsche Forschungsgemeinschaft: Physikalische Grundlagen des Klimas und Klimamodelle. Abschlussbericht. Bonn. 93 S.
- GEO-NET (2018): Stadtklimaanalyse Ulm.
- HÖPPE, P. UND H. MAYER (1987): Planungsrelevante Bewertung der thermischen Komponente des Stadtklimas. Landschaft und Stadt 19 (1), S. 22-29.
- KUTTLER, W. (1999): Human-biometeorologische Bewertung stadtklimatologischer Erkenntnisse für die Planungspraxis. In: Wiss. Mitt. aus dem Institut für Meteorologie der Universität Leipzig und dem Institut für Troposphärenforschung e.V. Leipzig. Band 13.
- KUTTLER, W. (2013): Klimatologie. Kapitel: Lokale Maßnahmen gegen den globalen Klimawandel. Paderborn: Schöningh (2. Auflage).
- MAYER, H., W. BECKRÖGE und A. MATZARAKIS (1994): Bestimmung von stadtklimarelevanten Luftleitbahnen. UVP-Report 5/94, S. 265 – 267.
- MOSIMANN, Th., P. TRUTE & Th. FREY (1999): Schutzgut Klima/Luft in der Landschaftsplanung. Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen, Heft 4/99.
- UBA (=Umweltbundesamt)(2017): Heizen, Raumtemperatur – Gewusst wie. Im Internet: <http://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/umweltbewusstleben/heizen-raumtemperatur> (Zugriff: 21.6.2017).