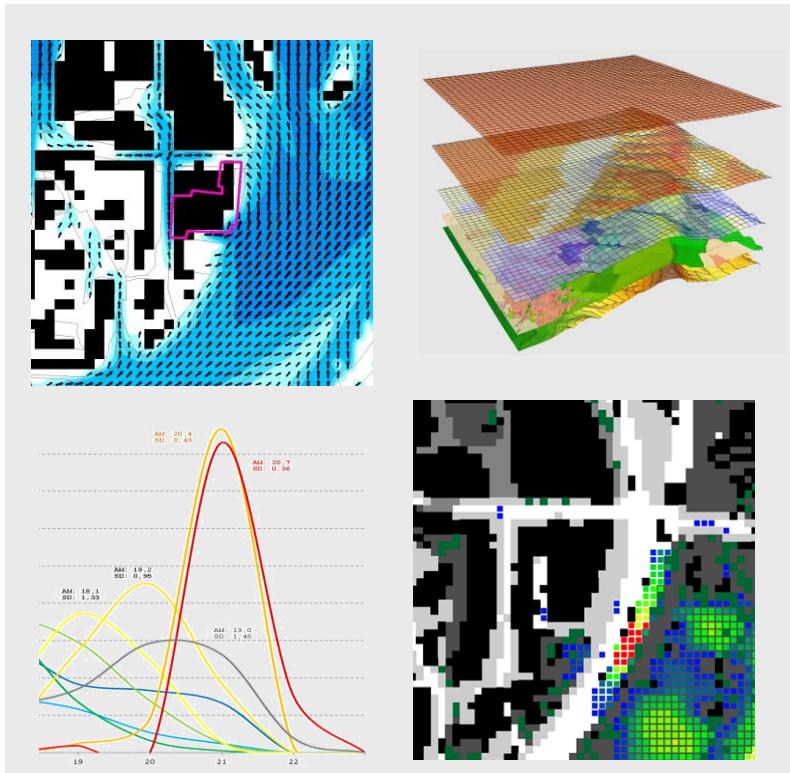


Fachgutachten Klima zum vorhabensbezogenen Bebauungsplan „Frauengasse“ / Stadt Jena

Teil 1 – Klimaökologische Auswirkungen des Bauvorhabens

Teil 2 – Auswirkungen des Bauvorhabens auf den Windkomfort



Auftraggeber:

GW Projects GmbH
Mierendorffstr. 3
60320 Frankfurt
Deutschland

ENTWURF



GEO-NET Umweltconsulting GmbH
Große Pfahlstraße 5a
30161 Hannover
Tel. (0511) 3887200
FAX (0511) 3887201
www.geo-net.de



Inhaltsverzeichnis

Einleitung und Methode	4
-------------------------------------	----------

Teil 1 – Klimaökologische Auswirkungen des Bauvorhabens

1.1 Bestands- und Plansituation im Untersuchungsgebiet	6
1.2 Datengrundlage	7
1.3 Modellrechnung mit dem mesoskaligen Stadtklimamodell FITNAH-3D	8
1.4 Ergebnisse der Modellierung mit FITNAH-3D	11
1.4.1 Lufttemperatur (Nacht)	11
1.4.2 Bodennahes Windfeld (Nacht)	12
1.4.3 Kaltluftvolumenstrom (Nacht)	15
1.4.4 Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET am Tag)	18
1.5 Klimaökologische Auswirkungen des Bauvorhabens Steinweg Tower	21
1.6 Planungsempfehlungen: Maßnahmen zur Klimaanpassung	22

Teil 2 – Auswirkungen des Bauvorhabens auf den Windkomfort

2.1 Methodik der Windanalyse	24
2.2 Eingangsdaten für die Modellrechnungen zur Windsituation	24
2.3 Beurteilungskriterien	27
2.4 Ergebnisse der Windanalyse	30
2.4.1 Mittelwerte der Windgeschwindigkeit	30
2.4.2 Windgeschwindigkeiten in Böen	31
2.5 Fazit Windkomfort	35

Literatur	36
------------------------	-----------



Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Das Plangebiet zum Bebauungsplan Frauengasse im Ist-Zustand (links) und Planzustand (rechts) (Quelle: Waldhelm Architekten 2017/18).....	4
Abb. 2: Prozessorientierte Analyse bei einer austauscharmen Hochdruckwetterlage.....	5
Abb. 3: Ist-Situation, Plan-Null-Situation und Plansituation für das Bauvorhaben "Steinweg Tower" in Jena	6
Abb. 4: Rechengebiet für die Klimamodellierung mit FITNAH-3D	7
Abb. 5: Temperaturverlauf und Vertikalprofil der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit verschiedener Landnutzungen.....	10
Abb. 6: Lufttemperatur (°C) um 4 Uhr morgens, Ist-Situation und Planzustände	12
Abb. 7: Bodennahes Windfeld um 4 Uhr morgens, Ist-Zustand.....	14
Abb. 8: Differenz der Windgeschwindigkeit (m/s), Plan-Null minus Ist-Zustand	14
Abb. 9: Differenz der Windgeschwindigkeit (m/s), Plan- minus Plan-Null-Zustand.....	15
Abb. 10: Prinzipskizze Kaltluftvolumenstrom.....	15
Abb. 11: Kaltluftvolumenstrom um 4 Uhr morgens, Ist-Zustand	17
Abb. 12: Relative Änderung des Kaltluftvolumenstroms zwischen Ist-Zustand und Plan-Null-Fall	17
Abb. 13: Relative Änderung des Kaltluftvolumenstroms zwischen Plan-Null-Fall und Plan-Situation	18
Abb. 14: Physiologisch Äquivalente Temperatur um 14 Uhr, Ist-Situation und Planzustände	20
Abb. 15: Geländehöhen im Bewertungsgebiet, sowie Gebäude und Bäume im Plan-Zustand	25
Abb. 16: Höhen von Gebäuden und Bäumen im Bewertungsgebiet im Ist-Zustand (links) und Plan-Null- Zustand (rechts)	25
Abb. 17: Höhe von Gebäuden und Bäumen im Plan-Zustand	26
Abb. 18: Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsverteilung aus ConWx-Reanalysedaten und einem Gitterpunkt im Stadtgebiet von Jena für den Zeitraum 1993-2018 in 10 m Höhe	26
Abb. 19: Windkomfortbereichstypen, Gebäude und Bäume im Ist-Zustand (links) und im Plan-Null- Zustand (rechts)	29
Abb. 20: Windkomfortbereichstypen, Gebäude und Bäume im Plan- Zustand.....	29
Abb. 21: Mittlere Windgeschwindigkeit im Ist-Zustand (links) und Plan-Null-Zustand (rechts) in 10 m Höhe im Bewertungsgebiet bei Anströmung aus Süd mit einem großräumigen Antrieb von 3 m/s in 10 m Höhe	30
Abb. 22: Mittlere Windgeschwindigkeit im Plan-Zustand in 10 m Höhe im Bewertungsgebiet bei Anströmung aus Süd mit einem großräumigen Antrieb von 3 m/s in 10 m Höhe.....	31
Abb. 23: Böengeschwindigkeit in 10 m Höhe im Ist-Zustand (links) und Plan-Null-Zustand (rechts) bei Anströmung aus Süd mit 6 m/s in 10 m Höhe	31
Abb. 24: Böengeschwindigkeit in 10 m Höhe im Plan-Zustand bei Anströmung aus Süd mit 6 m/s in 10 m Höhe	32
Abb. 25: Klimatologische Häufigkeit von Böengeschwindigkeiten mit mehr als 6 m/s in 2m Höhe im Plan- Zustand.....	33



Abb. 26: Klimatologische Häufigkeit von Böengeschwindigkeiten mit mehr als 6 m/s in 2m Höhe im Ist-Zustand (links) und Plan-Null-Zustand (rechts).....	33
Abb. 27: Differenz der klimatologischen Häufigkeit von Böengeschwindigkeiten mit mehr als 6 m/s in 2m Höhe zwischen dem Plan- und Plan-Null-Zustand	34
Abb. 28: Klimatologische Häufigkeit von Böengeschwindigkeiten mit mehr als 8 m/s in 2m Höhe im Ist-Zustand (links) und Plan-Null-Zustand (rechts).....	34
Abb. 29: Klimatologische Häufigkeit von Böengeschwindigkeiten mit mehr als 8 m/s in 2m Höhe im Plan-Zustand.....	35

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Zuordnung von Schwellenwerten für den Bewertungsindex PET während der Tagesstunden	19
Tab. 2: Kriterien zur Beurteilung der Windverhältnisse des DGNB nach Lohmeyer et al. (1992).....	28
Tab. 3: Beurteilung der Gefährdung durch hohe Windgeschwindigkeiten gemäß der Niederländischen Richtlinie (NEN 8100, 2006) auf Grundlage von Stundenmittelwerten der Windgeschwindigkeit....	28

Einleitung und Methode

Auf einer ca. 0,3 ha großen Parkplatzfläche in der Innenstadt von Jena wird die Entwicklung eines neuen Gebäudekomplexes vorbereitet. Das Plangebiet wird im Norden vom Steinweg, im Westen von der Frauengasse, im Süden von der Kindertagesstätte Glühwürmchen und im Osten vom Eisenbahndamm begrenzt. Das geplante Gebäude grenzt unmittelbar an die Frauengasse 11 (Kita) sowie die Wohn- und Geschäftshäuser des Steinwegs 24 und 27 an. Vorgesehen ist eine etwa 80 m hohe Bebauung, welche für ein Hotel, Büroräume und studentisches Wohnen genutzt wird (Abb. 1).

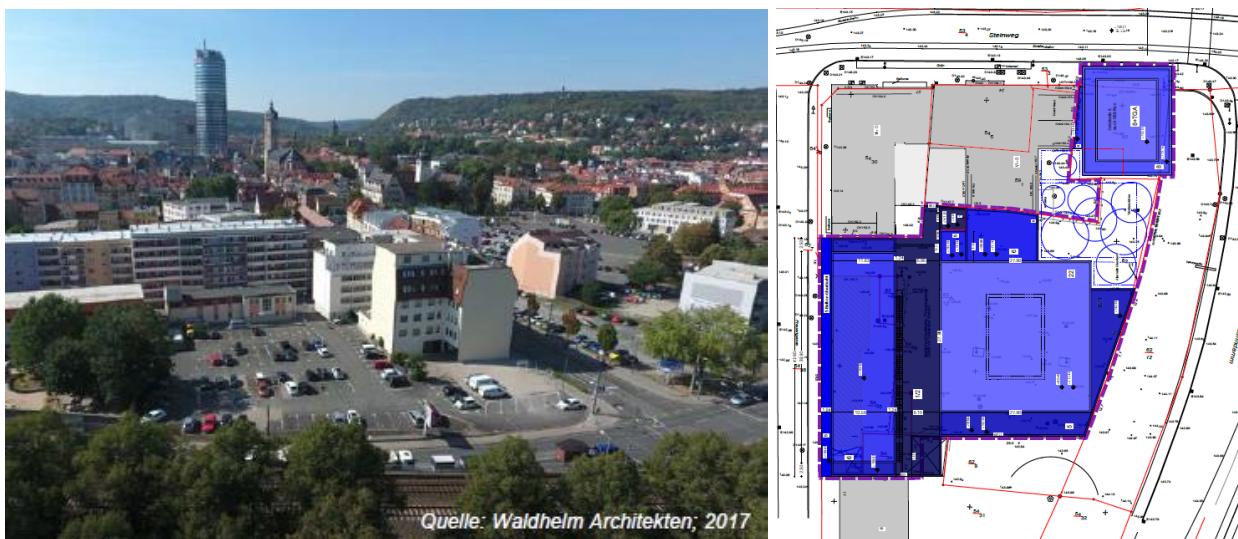


Abb. 1: Das Plangebiet zum Bebauungsplan Frauengasse im Ist-Zustand (links) und Planzustand (rechts) (Quelle: Waldhelm Architekten 2017/18)

Der Planungsraum ist nahezu vollständig versiegelt und vegetationslos. Das Gebiet befindet sich in unmittelbarer Nähe der Saale, welche eine wichtige Funktion für die Belüftung des Stadtkörpers erfüllt. In austauscharmen Strahlungsnächten wird die Stadt zum einen durch die Talabwindströmung des Saaleta-les, zum anderen aus den Seitentälern der Saale belüftet (Thüringer Institut für Nachhaltigkeit und Klimaschutz GmbH 2012). Diese Kaltluftabflüsse sind insbesondere bei sommerlichen Hochdruckwetterlagen bedeutsam, da sie zum Abbau der Wärmobelastung in der Stadt beitragen. Rauhigkeitsarme Strukturen wie breite Straßen, Parkplätze, offener Boden und Wiesen begünstigen die Kaltluftzufuhr. Insofern stellt sich die Frage, welchen Einfluss die Bebauung der Parkplatzfläche auf die Belüftungssituati-on der Jenaer Innenstadt und das gegenwärtige Stadtklima allgemein nimmt und wie das neu geplante Gebäude klimaökologisch optimiert werden kann.

Eine modellgestützte Analyse der klimaökologischen Prozesse und Zustände im Plangebiet soll in einem ersten Schritt klären, welche Veränderungen der klimaökologischen Situation durch das Projekt „Steinweg Tower“ zu erwarten sind. Die regionale klimaökologische Funktion des Plangebietes wird anhand einer mesoskaligen Klimamodellierung mit dem Modell FITNAH-3D mit einer Rasterauflösung von 10 m ermittelt. Zunächst wird die derzeitige Klimasituation auf der Parkplatzfläche am Steinweg im Hinblick auf ihre Funktion für die angrenzenden, bestehenden Quartiere untersucht. Anschließend erfolgt die Analyse der Plansituation mit den Veränderungen, welche sich durch das Bauprojekt ergeben. Es wer-

den sowohl die Tag- als auch die Nachtsituation einschließlich Kaltlufthaushalt untersucht. Dabei finden Lufttemperatur, Windrichtung und –geschwindigkeit, Kaltluftvolumenstrom und die PET (Physiologisch Äquivalente Temperatur) als meteorologische Größen Berücksichtigung. Zum Schluss werden raumkonkrete Maßnahmen zur Klimaanpassung abgeleitet, um die bioklimatische Belastungssituation und – falls erforderlich – die nächtliche Kaltluftsituation zu optimieren.

In einem zweiten Schritt wird Augenmerk auf das Thema Windkomfort gelegt. Da das geplante Gebäude relativ hoch ist, besteht die Gefahr, dass verstärkt Turbulenzen auftreten können, welche die Aufenthaltsqualität im Umfeld des Steinweg Towers mindern. Der Windkomfort wird in Abhängigkeit der Nutzungsstrukturen mit dem Klimamodell ASMUS in einer Auflösung von 5 m ermittelt. Beurteilungsgrundlage sind räumliche Verteilungsmuster der Windgeschwindigkeit und der Böen in unterschiedlichen Höhen über Grund. Problembereiche in Bezug auf Windkomfort werden anhand des Vergleichs zwischen Ist- und Planzustand ermittelt. Abschließend werden Aussagen zur Minderung und Vermeidung von negativen Auswirkungen des Steinweg Towers getroffen und Empfehlungen für das Plangebiet zusammengestellt.

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 windschwarke 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.

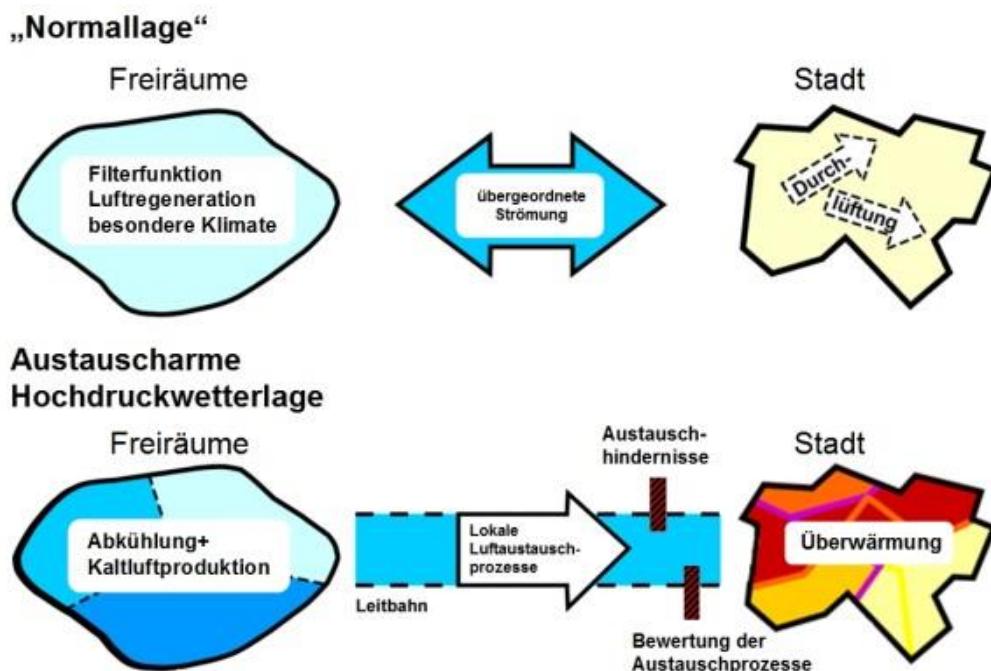


Abb. 2: Prozessorientierte Analyse bei einer austauscharmen Hochdruckwetterlage

Teil 1 – Klimaökologische Auswirkungen des Bauvorhabens

1.1 Bestands- und Plansituation im Untersuchungsgebiet

Um die klimaökologischen Auswirkungen des Bauvorhabens untersuchen zu können, wurden drei verschiedene Zustände (derzeitige Ist-Situation, Plan-Null-Situation und Planfall) angenommen und mit den Klimamodellen FITNAH-3D sowie ASMUS_green simuliert (Abb. 3).



Abb. 3: Ist-Situation, Plan-Null-Situation und Plansituation für das Bauvorhaben "Steinweg Tower" in Jena

In der Ist-Situation wurde das Plangebiet zum vorhabensbezogenen Bebauungsplan „Frauengasse“ als Parkplatzfläche definiert; der Inselplatz ist in diesem Fall nur zu einem kleinen Teil bebaut. In der Plan-Null-Situation wird zusätzlich der Bebauungsplan B J03 – Inselplatz berücksichtigt. Die Bebauung auf dem Inselplatz umfasst den Hochschul-Campus sowie das geplante Intershop-Gebäude am Steinweg. Ebenso werden neue Baumstandorte gemäß des Bebauungsplanes berücksichtigt. In der Plan-Situation wird neben der Inselplatz-Planfläche auch der Steinweg Tower erfasst. Eine Abgrenzung in drei verschiedene Zustände ermöglicht es, die klimatischen Auswirkungen des Steinweg Towers von denen des Inselplatz-Vorhabens zu unterscheiden.

1.2 Datengrundlage

Die regional-klimaökologische Untersuchung 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 Gelände-höhe 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 hat bei einer Abmessung von ungefähr 1,5 km x 2,5 km eine Fläche von ca. 4 km². Es schließt die Jenaer Innenstadt, die Saale und umgebende Höhenzüge wie den Hausberg mit ein (Abb. 4). Somit können Kaltluftabflüsse in der Saale (Talabwinde) und aus den Seitentälern der Saale (Handabwinde) erfasst werden. Ebenso wird der Wärmeinseleffekt der Jenaer Innenstadt abgebildet. Für eine bessere Übersicht wird in den Ergebniskarten nur das nähere Umfeld des Plangebietes anstelle des gesamten Rechengebietes dargestellt.



Abb. 4: Rechengebiet für die Klimamodellierung mit FITNAH-3D

Die Modellierung der meteorologischen Parameter erfolgte mit einer Zellengröße von 10 m x 10 m, wobei zur Aufbereitung der Nutzungsstrukturen ALKIS-Daten (Stand 2018) 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 Gelände-modell mit 2 m Auflösung (Stand 2011) verwendet. Eine Überprüfung bzw. Ergänzung der Daten erfolgte auf Basis von Luftbildern (World Imagery, Stand 2016). 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 ei-



nen maßgeblichen Einfluss auf das lokale Windfeld ausübt. Dafür wurden die Gebäudegeometrien als 3D-Modell (LoD1; Stand 2017) mit der jeweiligen Gebäudehöhe genutzt. Auf dieser Grundlage wurde den die Gebäude repräsentierenden 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. Anhand eines digitalen Oberflächenmodells (DOM; Stand 2010-2013) in 2 m Auflösung konnten weitere Strukturhöhen, insbesondere die der Vegetation, herangezogen werden. Für die Abbildung besonders schmaler Elemente (z.B. Lärmschutzwände) wurde zusätzlich ein Datensatz zu Geländekanten (Stand 2012) verwendet. Nahezu alle Daten wurden über das Geoportal Thüringen bezogen. Ausnahmen bilden die Geländekanten, welche von der Stadt Jena zur Verfügung gestellt wurden, und das Luftbild (frei verfügbarer Datensatz von ESRI).

1.3 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. Kanalisation, 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 Windkanalstu-



dien ein weiteres leistungsfähiges und universell einsetzbares Werkzeug zur Bearbeitung umweltmeteoro logischer Fragestellungen in kleinen, stadt- und landschaftsplanerisch relevanten Landschafts aus schnitten 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 stadt klimatologisch 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 synoptischen 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 Luftsicht. 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.

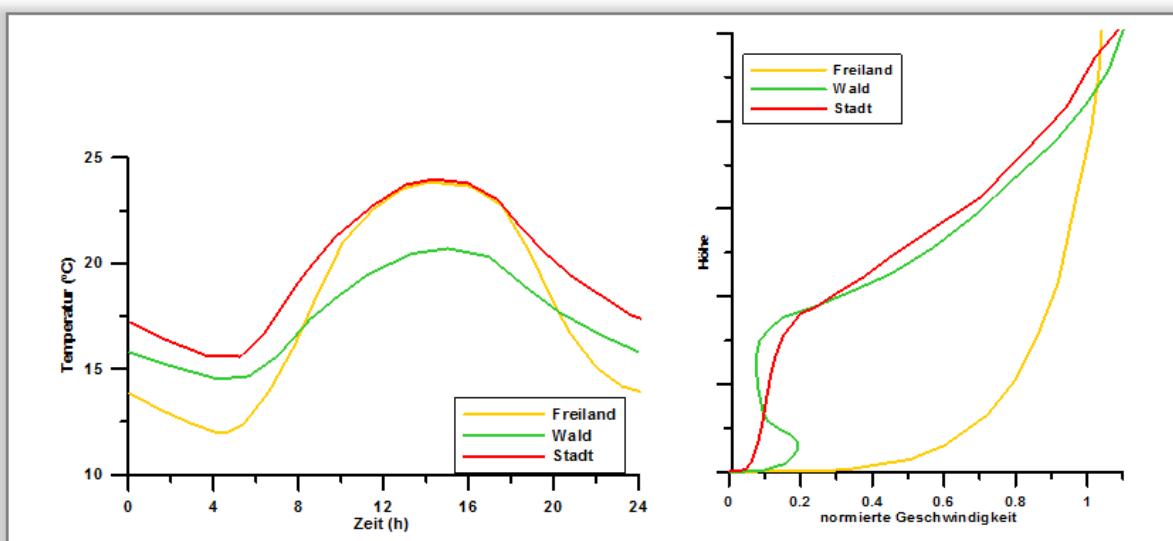


Abb. 5: Temperaturverlauf und Vertikalprofil der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit verschiedener Landnutzungen

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.



1.4 Ergebnisse der Modellierung mit FITNAH-3D

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 den Ist-Zustand als auch die Planzustände dar und beschreiben die zu erwartenden Änderungen aufgrund der neuen Bebauung.

1.4.1 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 zeigt die Abb. 6.

Im Ist-Zustand ergeben sich für den Untersuchungsraum (Kartenausschnitt) Spannweiten der Temperatur von etwa 4 Kelvin. Mit Temperaturen über 21 °C treten die hochversiegelten Bereiche der Jenaer Innenstadt (Straßen, Parkplätze, versiegelte Innenhöfe) hervor. Dies schließt auch das Plangebiet ein, welches Temperaturen zwischen 21 und 22 °C erreicht. Ein mittleres Temperaturniveau ist mit 20 bis 21 °C auf dem Bahndamm, über der Saale und auf kleineren Grünflächen vorzufinden. Der breite Grünstreifen am Saaleufer stellt mit 18 bis 20 °C den kältesten Bereich des Kartenausschnitts dar.

Sowohl im Ist- als auch in den Planzuständen zählt das Plangebiet aufgrund seiner hohen Versiegelung zu den wärmeren Bereichen des Untersuchungsraums. Mit der geplanten Bebauung ist keine wesentliche Temperaturzunahme in der Nacht zu erwarten. Die neu gepflanzten Bäume auf dem Inselplatz entfalten sogar eine kühlende Wirkung von bis zu 1,4 K in der Nacht. Dieser Effekt ist jedoch sehr kleinräumig und hat keinerlei Auswirkungen auf angrenzende Baublöcke, wie z.B. das Plangebiet.

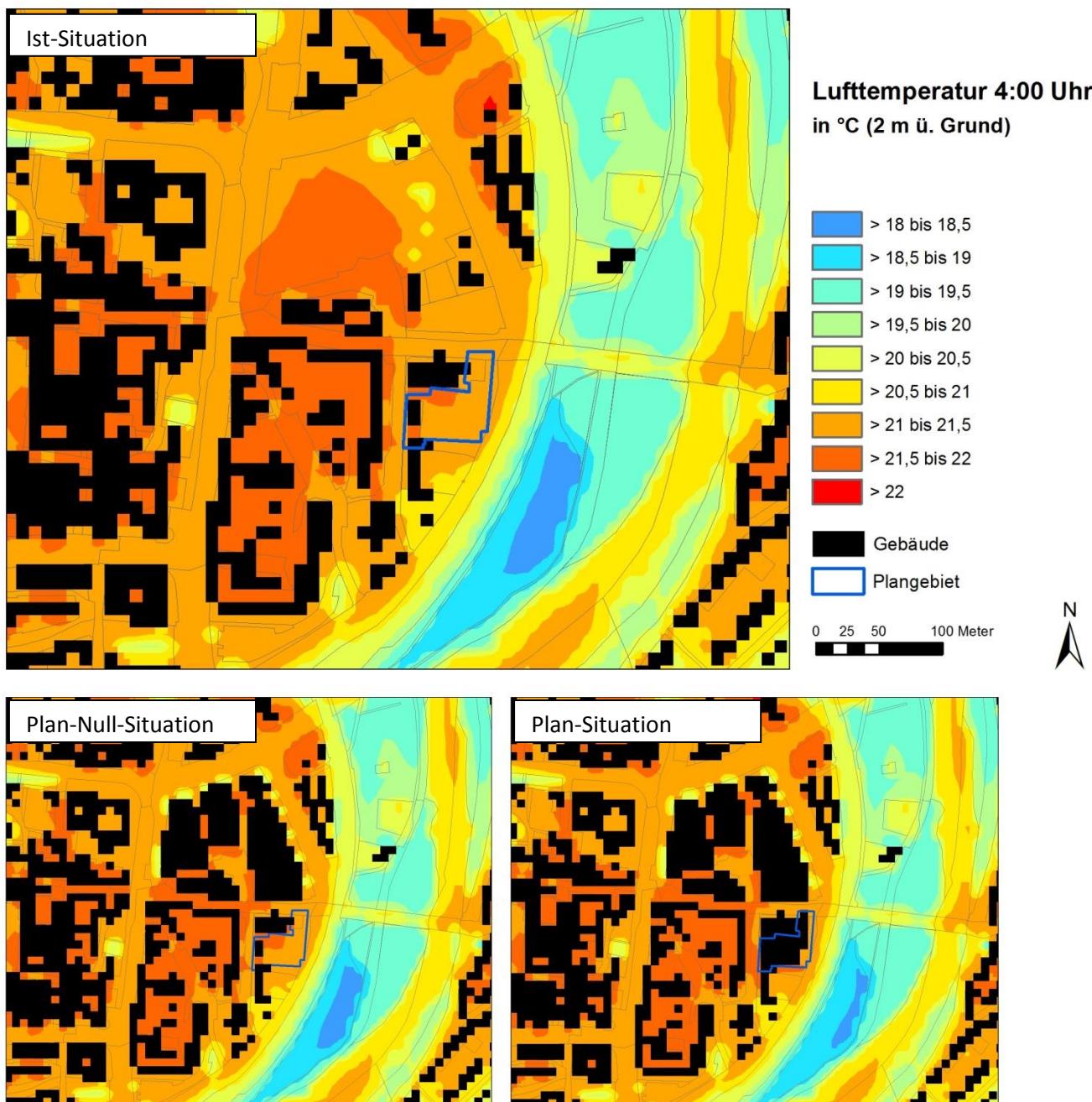


Abb. 6: Lufttemperatur (°C) um 4 Uhr morgens, Ist-Situation und Planzustände

1.4.2 Bodennahes 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



ten 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.

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. 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 klimäkologische 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. 7 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 1 m/s, wobei deren Dynamik räumlich variiert. Überdurchschnittlich hohe Strömungsgeschwindigkeiten von mehr als 0,5 m/s treten auf dem Bahndamm, am Saaleufer, direkt über der Saale sowie entlang eines Straßenzugs westlich des Inselplatzes auf. Allgemein wird der Untersuchungsraum trotz seiner relativ zentralen Lage gut durchlüftet, was auf die Nähe zur Saale (die den Stadtteil mit Talabwinden belüftet) zurückzuführen ist. Im Windfeld zeigt sich außerdem, dass sich das Plangebiet am Rande der Saale-Kaltluftleitbahn befindet. Im Plangebiet herrschen Südwinde mit Strömungsgeschwindigkeiten von 0 bis 0,5 m/s vor, wobei die Windgeschwindigkeit von Ost nach West abnimmt. Die an das Plangebiet nördlich angrenzende Bebauung (insbesondere der Steinweg 24) profitiert von der Kaltluft der aktuellen Parkplatzfläche, ist aber nicht auf sie angewiesen. Aufgrund der Randlage des Plangebiets in der Saale-Kaltluftleitbahn spielt die Planfläche nur eine untergeordnete Rolle für den Luftaustausch. Dagegen erfüllen der in der Ist-Situation relativ unbebaute Inselplatz sowie einige breitere Straßenzüge (Am Eisenbahndamm, Am Anger, Löbdergraben, Saalbahnhofstraße, Frauengasse) eine wichtige Funktion für die Durchlüftung des Stadtkörpers.

Eine Bebauung des Inselplatzes führt zwangsläufig zu einer lokalen Reduktion, in manchen Bereichen aber auch zur Erhöhung der Windgeschwindigkeiten (Abb. 8). Die von der Saale ausgehenden Südwinde werden aufgrund der neuen Gebäude auf dem Inselplatz im Allgemeinen abgeschwächt. Dies macht sich vor allem im Lee der neuen Bebauung bemerkbar: Nördlich des Inselplatzes nehmen die Windgeschwindigkeiten um mehr als 0,2 m/s ab, was sich auch im Kaltluftvolumenstrom niederschlägt (vgl. Kapitel 1.4.3). Die Auswirkungen des Steinweg Towers auf das nächtliche Windfeld sind hingegen verhältnismäßig gering (Abb. 9). Lediglich im Kreuzungsbereich Steinweg / Am Eisenbahndamm verringern sich die Windgeschwindigkeiten um mehr als 0,2 m/s, in anderen Bereichen rund um den Steinweg Tower verstärken sich die Flurwinde sogar.

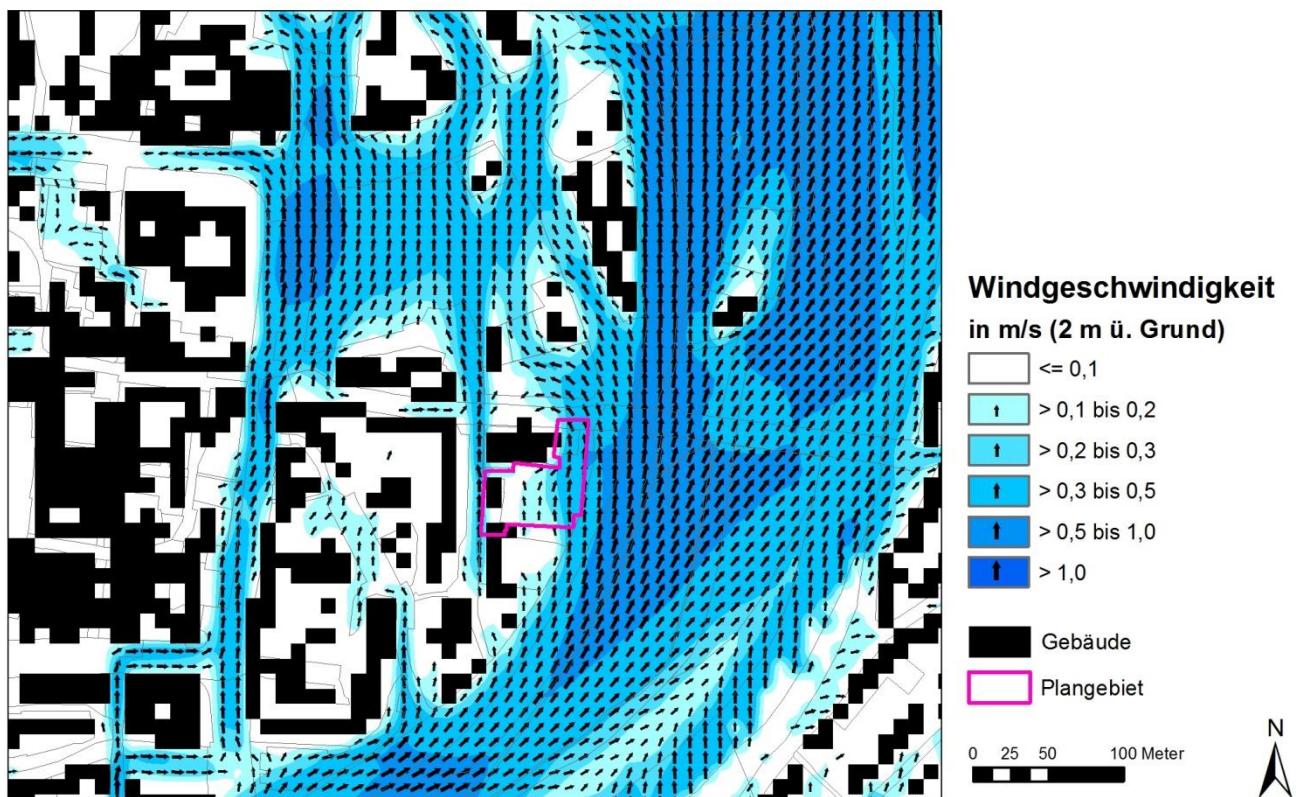


Abb. 7: Bodennahes Windfeld um 4 Uhr morgens, Ist-Zustand

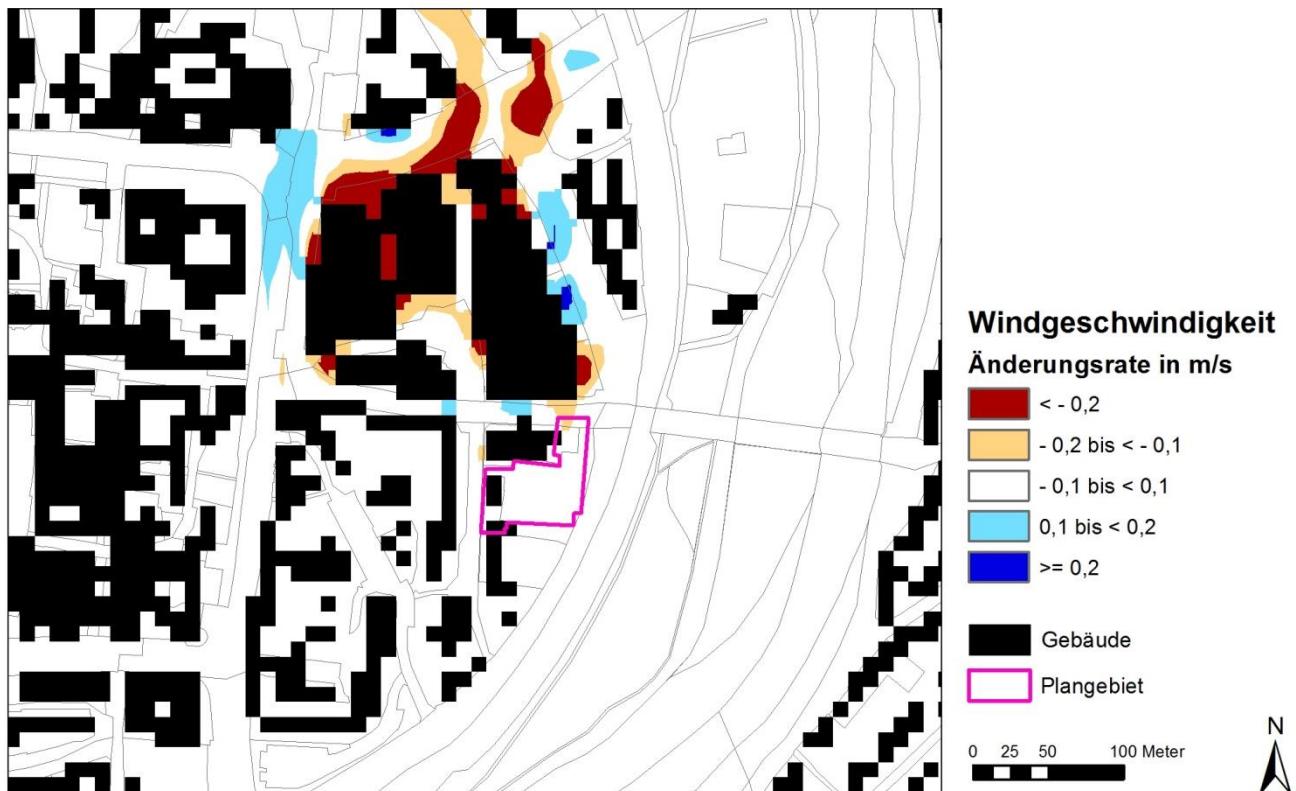


Abb. 8: Differenz der Windgeschwindigkeit (m/s), Plan-Null minus Ist-Zustand

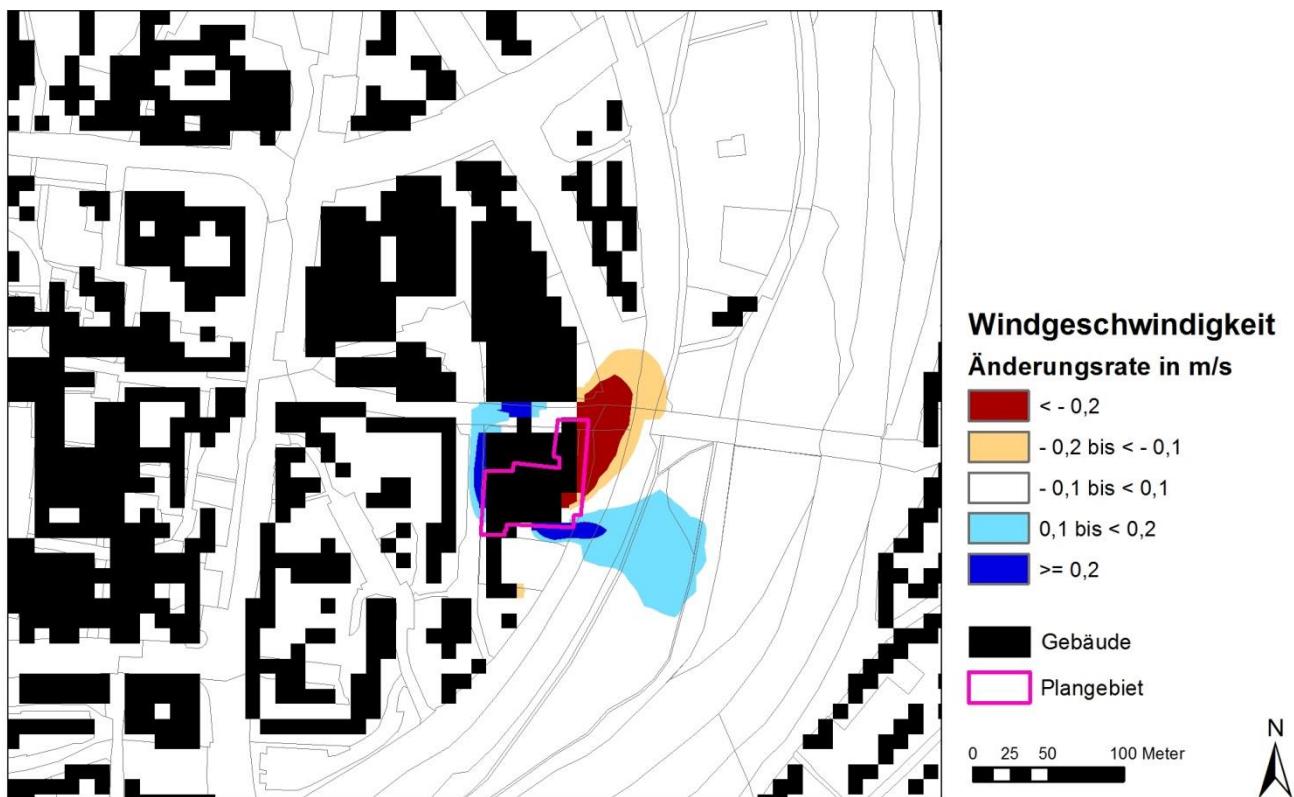


Abb. 9: Differenz der Windgeschwindigkeit (m/s), Plan- minus Plan-Null-Zustand

1.4.3 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. 10). 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 wider-

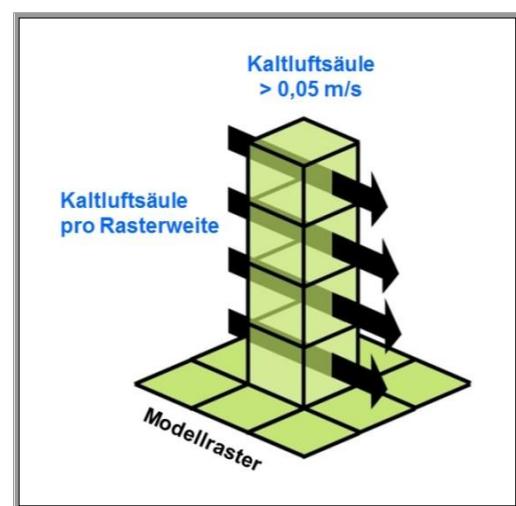


Abb. 10: Prinzipskizze Kaltluftvolumenstrom



spiegeln, sondern den Strömungsdurchgang der gleichbleibenden Rasterzellenbreite, ist der resultierende Parameter streng genommen nicht als Volumenstrom, sondern als rasterbasierte Volumenstromdichte aufzufassen. Dies kann man so veranschaulichen, indem man sich ein 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 den rasterbasierten Kaltluftvolumenstrom. 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. 11 zeigt die Situation für den Ist-Zustand in einer qualitativen Abstufung, die Vergleiche mit den Planzuständen werden in Abb. 12 und Abb. 13 dargestellt. Die nähere Umgebung des Plangebiets ist zum Großteil durch rauhigkeitsarme Strukturen (Saale, Inselplatz) geprägt, was sich in einem hohen bis sehr hohen Kaltluftvolumenstrom in diesen Bereichen niederschlägt. Auch die übrigen Bereiche des Kartenausschnitts sind nahezu vollständig durch einen mindestens mäßigen Kaltluftvolumenstrom von über $10 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$ geprägt. Trotz der relativ zentralen Lage werden das Plangebiet selbst und seine nähere Umgebung mit einem verhältnismäßig hohen Kaltluftvolumenstrom durchlüftet.

Die vorgesehene Bebauung auf dem Inselplatz und am Steinweg geht mit einer Abnahme des Volumenstroms im Plangebiet einher. In der VDI-Richtlinie 3787 Blatt 5 (VDI 2003) wird ein quantitatives „Maß der Beeinflussung“ vorgeschlagen, das eine Reduktion der Abflussvolumina um mehr als 10 % im Umfeld von bioklimatisch belasteten Siedlungsgebieten als „hohe vorhabenbedingte Auswirkung“ ausweist. Eine Verringerung um 5 bis 10 % wird als „mäßige Auswirkung“ eingestuft, unterhalb von 5 Prozent wird die Auswirkung einer Volumenstromverringerung als „geringfügig“ angesehen.

In der Abb. 12 ist die prozentuale Abnahme des Kaltluftvolumenstroms im Plan-Null-Fall (ohne Steinweg Tower) gegenüber dem Ist-Zustand dargestellt: Die stärkste Abnahme des Kaltluftvolumenstroms ist mit einer Reduktion von über 20 % im Bereich des Inselplatzes sowie nördlich und südlich davon zu erwarten. Die Reduktion des Kaltluftvolumenstroms fällt deshalb so hoch aus, da der Inselplatz als eine bisher gut durchlüftete, nahezu unbebaute Fläche in eine bebaute Fläche umgewandelt wird.

Die Abb. 13 stellt die Auswirkungen des Steinweg Towers auf den Kaltluftvolumenstrom dar (unter der Annahme, dass der Inselplatz bereits bebaut ist). Zwar werden auch hier Änderungsraten von über 10 % erreicht, jedoch beschränken sich diese Abnahmen auf den Verkehrsraum sowie auf Bereiche, die auch mit Realisierung des Towers von einem mindestens mäßigen Kaltluftvolumenstrom geprägt sind. Demnach ist davon auszugehen, dass die an das Plangebiet angrenzenden Wohnquartiere in keiner Form durch eine erhebliche Verschlechterung der Kaltluftsituation beeinträchtigt sind. Die Nähe des Plangebiets zur Kaltluftleitbahn Saaletal ist hierbei ein großer Vorteil.

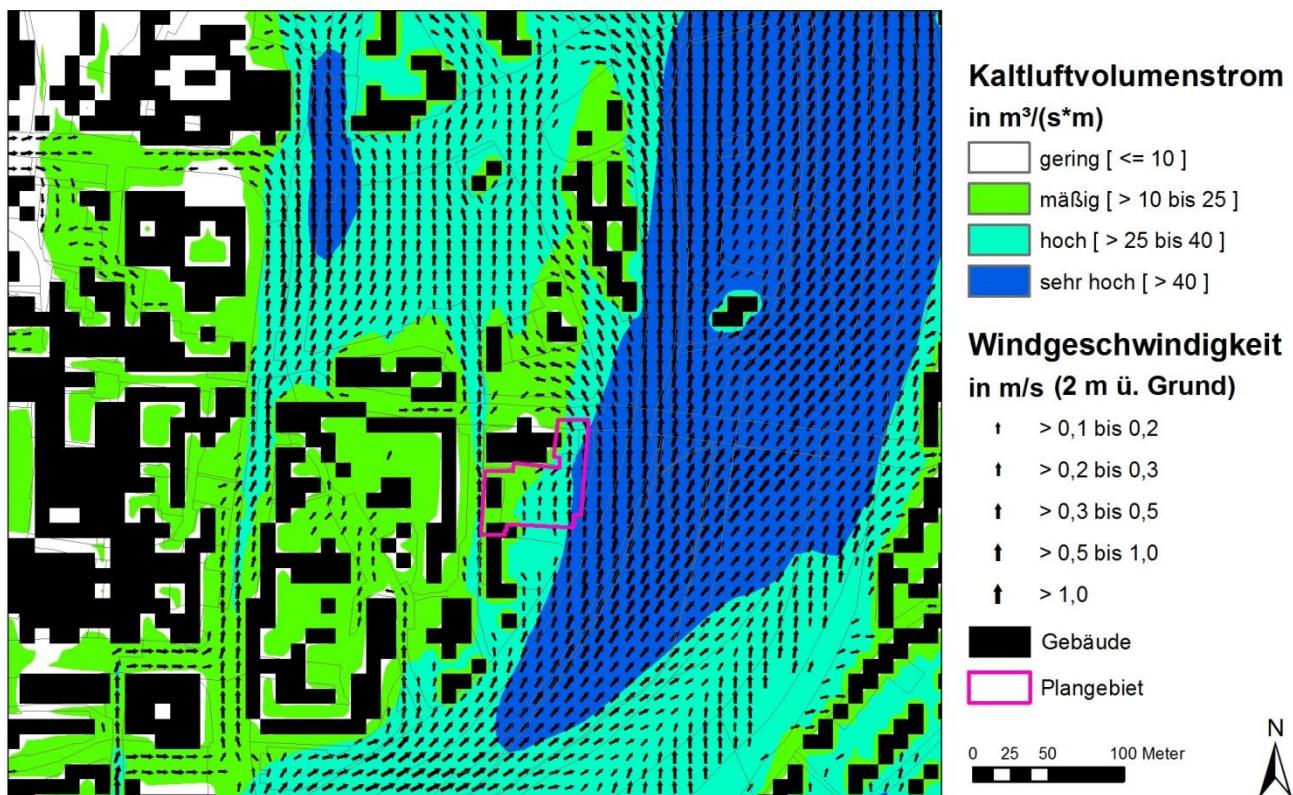


Abb. 11: Kaltluftvolumenstrom um 4 Uhr morgens, Ist-Zustand

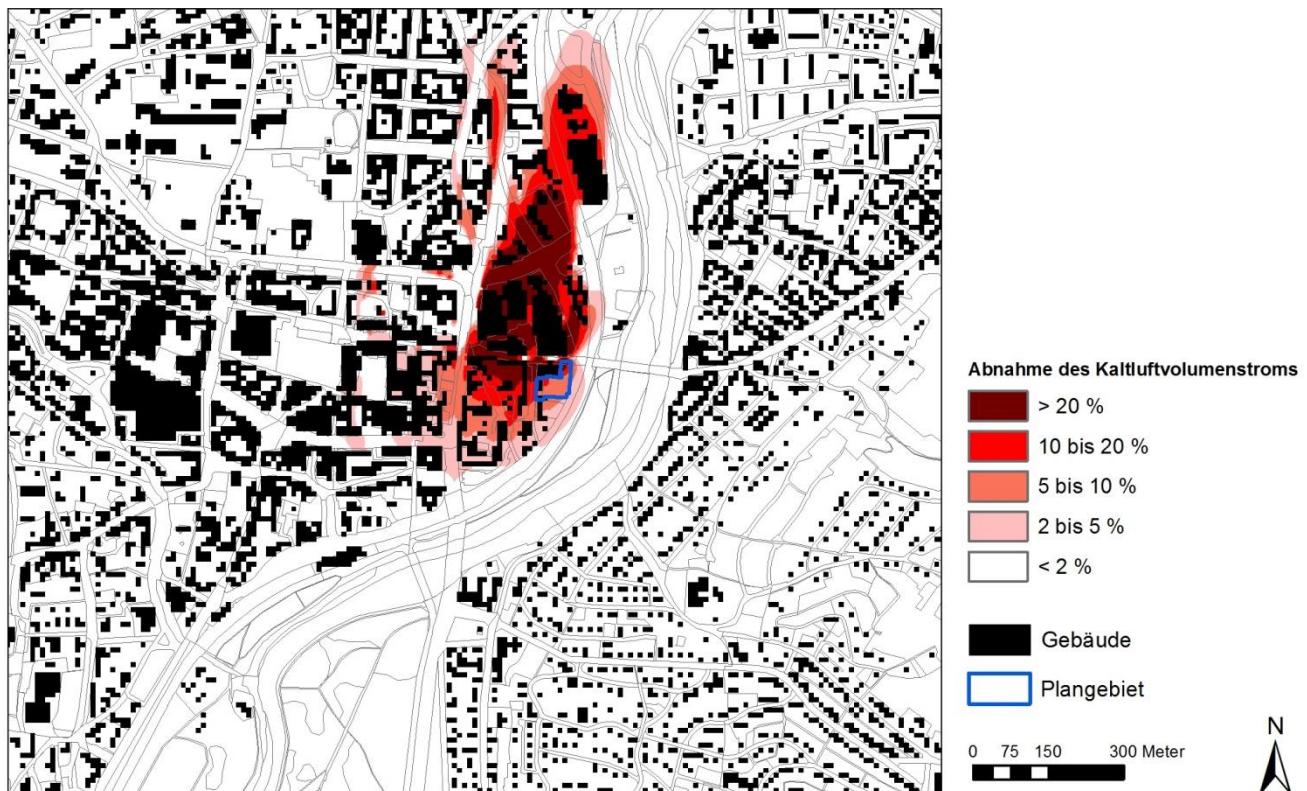


Abb. 12: Relative Änderung des Kaltluftvolumenstroms zwischen Ist-Zustand und Plan-Null-Fall

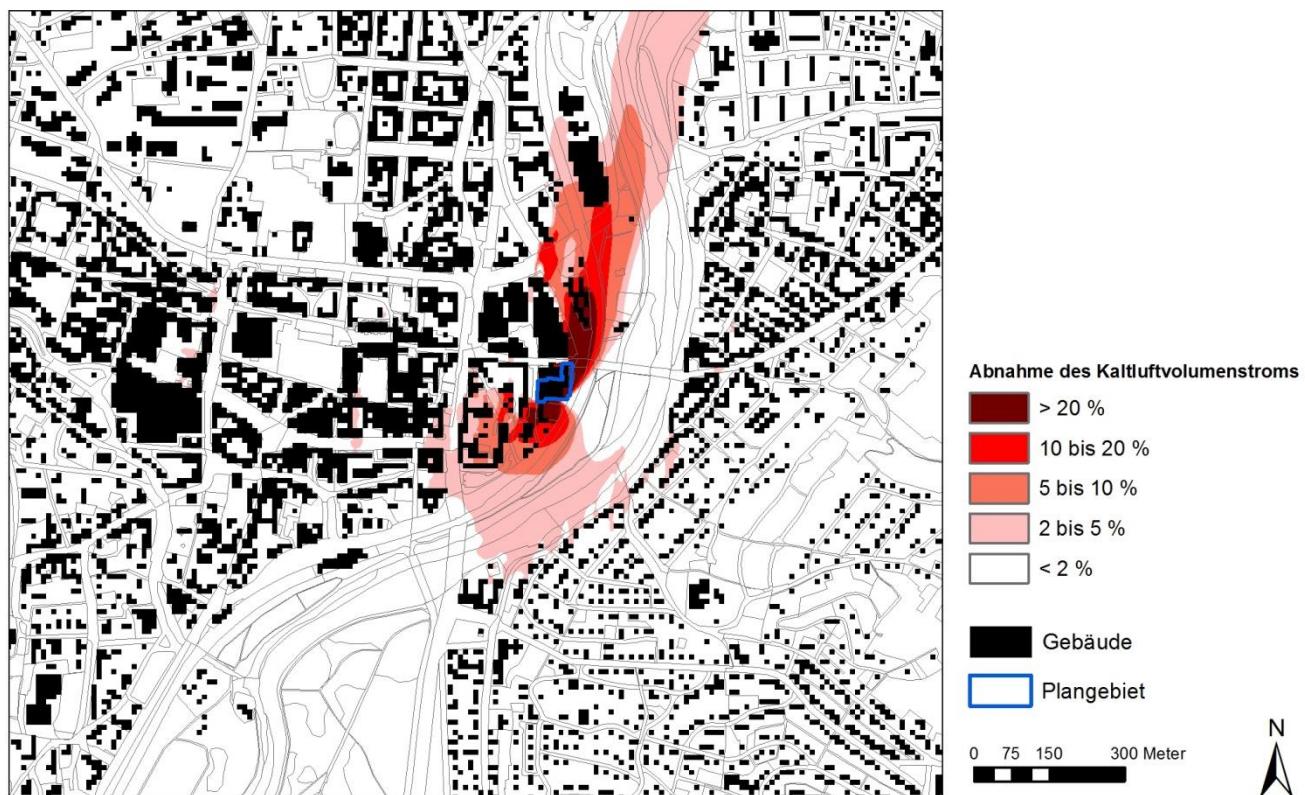


Abb. 13: Relative Änderung des Kaltluftvolumenstroms zwischen Plan-Null-Fall und Plan-Situation

1.4.4 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 thermophysiological 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	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

Die PET erreicht im Plangebiet mit etwa 30,5 bis 39,7 °C eine Spanne von 9,2 K (Abb. 14). Der Großteil der aktuellen Parkplatzfläche ist stark wärmebelastet mit PET-Werten von 35 °C bis 38 °C. Dementsprechend erfüllt das Plangebiet bereits heute keine wichtige bioklimatische Funktion am Tag. Dies ist vor allem auf eine mangelnde Verschattung und einen hohen Versiegelungsgrad zurückzuführen. Die Umgebung des Plangebiets gestaltet sich etwas heterogener: Eine schwache bis mäßige Wärmebelastung mit einer PET unter 35 °C ist im Untersuchungsraum (Kartenausschnitt) insbesondere zwischen dem Bahndamm und dem Ostufer der Saale sowie in Innenhöfen und allgemein im Verschattungsbereich von Gebäuden oder Bäumen zu beobachten. Demgegenüber stehen Bereiche mit einer starken Wärmebelastung über 38 °C und teilweise sogar einer extremen Wärmebelastung von über 41 °C. Dabei handelt es sich vorrangig um besonnte Straßenabschnitte und stark versiegelte Höfe.

Bei einer Umsetzung der Bauvorhaben (Campus Inselplatz, Intershop und Steinweg Tower) ist zu erwarten, dass sich die Belastungssituation am Tag nicht wesentlich verändern wird. Eine Ausnahme bildet der zentrale Bereich des Inselplatzes, welcher sich infolge der Bebauung des Platzes erwärmt. Der Steinweg Tower selbst trägt jedoch zu keiner Verschlechterung des Bioklimas bei. Im Plangebiet selbst sollten jedoch Maßnahmen zur Verbesserung des Bioklimas getroffen werden, um die aktuell und zukünftig starke Wärmebelastung am Tag zu reduzieren. Empfehlungen mit Ausführungsbeispielen werden in Kapitel 1.6 beschrieben.

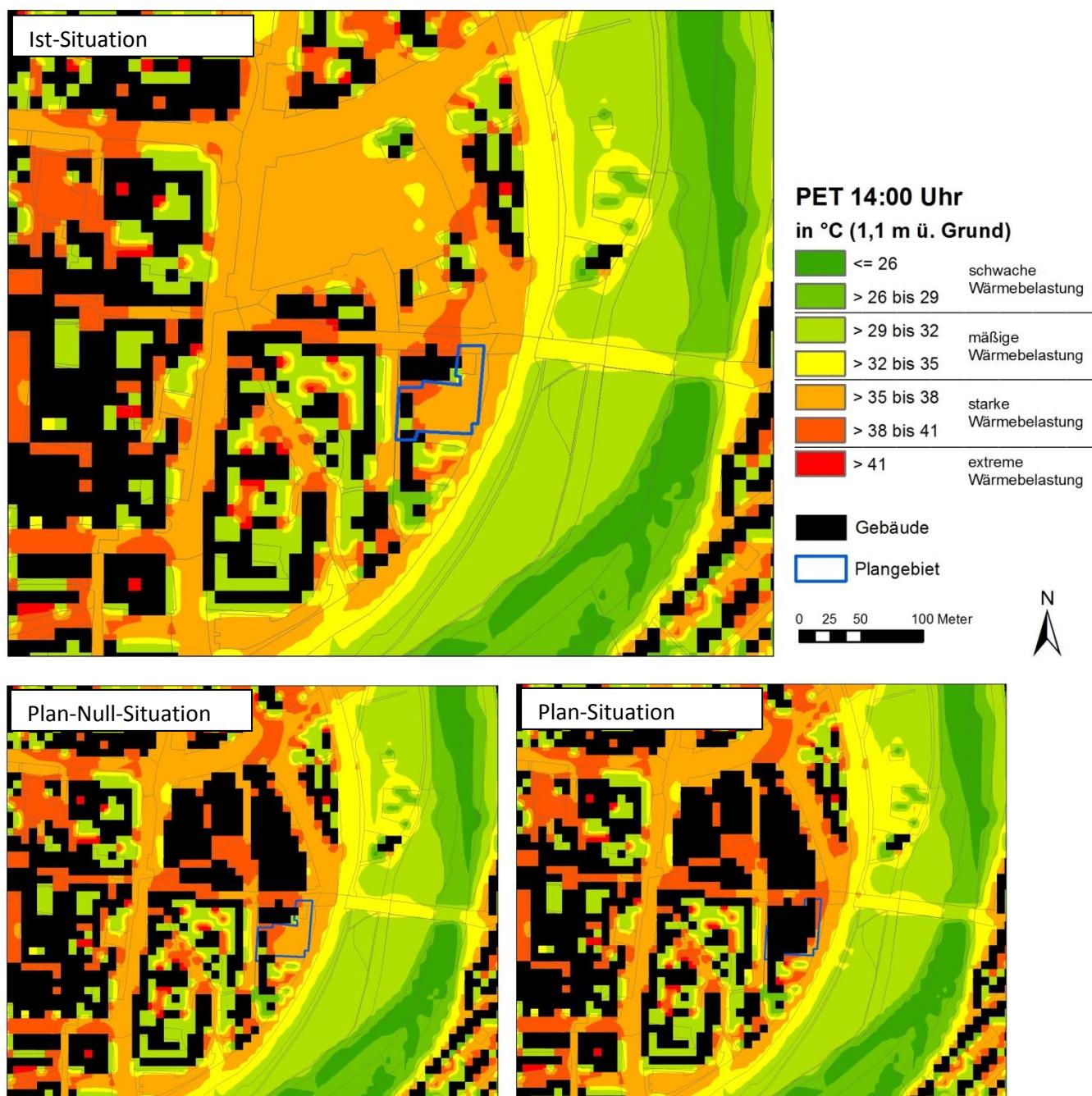


Abb. 14: Physiologisch Äquivalente Temperatur um 14 Uhr, Ist-Situation und Planzustände



1.5 Klimaökologische Auswirkungen des Bauvorhabens Steinweg Tower

Die modellgestützte Analyse mit FITNAH-3D hat verdeutlicht, welche klimaökologischen Funktionen das Plangebiet bei austauscharmen Strahlungswetterlagen erfüllt und welche Klimaveränderungen sich durch die neu geplanten Strukturen ergeben.

Mit Blick auf das bodennahe Windfeld um 4 Uhr nachts wird deutlich, dass sich das Plangebiet am Rande der Kaltluftleitbahn Saaletal befindet. Aufgrund dieser Randlage und ihrer geringen Ausdehnung spielt die Planfläche nur eine untergeordnete Rolle für den Luftaustausch. Dagegen erfüllen der in der Ist-Situation relativ unbebaute Inselplatz sowie einige breitere Straßenzüge (Am Eisenbahndamm, Am Anger, Löbdergraben, Saalbahnhofstraße, Frauengasse) eine wichtige Funktion für die Durchlüftung des Stadtkörpers. Insgesamt hat die Inselplatzbebauung stärkere Auswirkungen auf den Kaltlufthaushalt als der Steinweg Tower. Die Hochhausbebauung am Steinweg bewirkt eine merkliche Abnahme (über 10 %) des Kaltluftvolumenstroms südlich (Kita) und nördlich des Bauwerks. Jedoch bleibt ein mäßiger Kaltluftvolumenstrom (25 bis 40 m³/(s*m)) in den entsprechenden Gebieten bestehen, sodass die Auswirkungen auf den nächtlichen Kaltlufthaushalt unerheblich bleiben. Des Weiteren verändert sich mit der neuen Bebauung die nächtliche Lufttemperatur nicht wesentlich; jedoch entfalten die neu gepflanzten Bäume auf dem Inselplatz eine kühlende Wirkung von bis zu 1,4 K in der Nacht.

Auch mit Blick auf die Tagsituation trägt der Steinweg Tower zu keiner merklichen Verschlechterung des Bioklimas bei, jedoch ist das Plangebiet bereits heute stark wärmebelastet.

Aus klimatischer Sicht ist der im Planszenario vorgesehene Eingriff in Bezug auf die Umgebung als nicht erheblich einzustufen. Jedoch sollten aufgrund der hohen Wärmebelastung am Tag entsprechende Anpassungsmaßnahmen im Quartier vorgenommen werden. Mögliche Maßnahmen zur Verbesserung des Klimas werden im nachstehenden Teil beschrieben.



1.6 Planungsempfehlungen: Maßnahmen zur Klimaanpassung

Um die sommerliche Wärmebelastung möglichst gering zu halten, werden folgende Klimaanpassungsmaßnahmen für den Steinweg Tower empfohlen:

Verwendung heller Baumaterialien / Erhöhung der Oberflächenalbedo

Ein Maß für das Rückstrahlvermögen von Oberflächen ist die Albedo. Sie gibt das Verhältnis von einfalender zu reflektierter Strahlung an und wird in Werten von null bis eins angegeben. Eine hohe Albedo hat aus thermischer Perspektive sowohl eine positive Auswirkung auf die Wärmeleitung als auch auf die Luftherwärmung. Je höher also die Albedo der Baumaterialien oder der Fassadenanstriche ist, desto mehr einfallende Sonnenstrahlung wird von ihnen reflektiert und desto geringer fällt die Erwärmung der Oberfläche und der angrenzenden Luftmassen aus. Vor allem an der Südfassade, die der stärksten Sonneneinstrahlung ausgesetzt sind, ist ein heller Anstrich empfehlenswert. Auch die Entsiegelung und Begrünung führen oft zu einer Albedoerhöhung, da Pflanzen ein höheres Rückstrahlvermögen als beispielsweise dunkler Asphalt aufweisen.

Sommerlicher Wärmeschutz

Der Überhitzung von Räumen vorzubeugen ist das wesentliche Ziel des sommerlichen Wärmeschutzes. Dabei geht es darum, ein behagliches Innenraumklima während der Sommermonate sicherzustellen und gleichzeitig den Energieverbrauch für die Kühlung möglichst gering zu halten. Effektive Maßnahmen um möglichst wenig Wärme in das Gebäude zu lassen, beziehen sich vor allem auf Fenster- und sonstige Glasflächen. Hier sind insbesondere außen liegende Sonnenschutzelemente wie Jalousien, Markisen und Fensterläden zu nennen. Eine weitere Möglichkeit stellt reflektierendes oder absorbierendes Sonnenschutzglas oder -folie dar. Innenliegende Elemente sind deutlich weniger effektiv als außenliegende. Daneben sind aber auch die verwendeten Baumaterialien entscheidend. Je geringer ihre Wärmekapazität und Wärmeleitfähigkeit sind, desto weniger tragen sie zur Aufheizung des Innenraums bei bzw. unterstützen dessen nächtliche Auskühlung. Zum sommerlichen Wärmeschutz gehört ebenfalls eine geeignete Raumlüftung durch die Bewohner.

Verschattung des Gebäudekomplexes

Gebäude können durch Bäume oder Gebäudebegrünung oder auch durch bautechnische Maßnahmen verschattet werden. Das primäre Ziel ist es, die direkte Aufheizung sowie die Wärmespeicherung der Gebäude über die Gebäudehülle (Dach, Fassade, Fenster) zu verringern. Sonnenexponierte Gebäudeseiten sind dabei von besonderer Bedeutung. Ausführungsbeispiele sind Vordächer, Vertikallamellen, Markisen und Sonnensegel. Bei einer Verschattung durch Bäume profitieren vor allem die unteren Etagen, bei einer Dachbegrünung hingegen nur die oberen Stockwerke. Für die mittleren Etagen des Steinweg Towers haben diese beiden Maßnahmen jedoch keine Wirkung, sodass diese Stockwerke vor allem auf die bautechnischen Maßnahmen angewiesen sind.



Begrünung des Vorplatzes / Innenhofs

Die Möglichkeiten der Begrünung halten sich für das Plangebiet zwar in Grenzen, sind aber nicht komplett zu vernachlässigen. Der Vorplatz bzw. Innenhof des Steinweg Towers sollte möglichst mit Grünaustattung versehen werden. Eine Ausführungsmöglichkeit stellen teilversiegelnde Oberflächenmaterialien dar (z.B. Rasengittersteine, Fugenpflaster, Sickerpflaster). Aus klimatischer Sicht sind vor allem die Effekte einer reduzierten Wärmespeicherung sowie einer erhöhten Verdunstungskühlung von Bedeutung. Zur Verbesserung des Mikroklimas zählt außerdem die Pflanzung von Bäumen, welche als Schattenspender die Tagsituation erheblich verbessern.

Anpassung des Raumnutzungskonzeptes

Innerhalb von Wohngebäuden sind Schlafräume, Kinderzimmer und Arbeitszimmer als besonders hitze-schutzbedürftig einzustufen. In Büroräumen soll die Temperatur 26°C nicht übersteigen (ASTA 2010). Neben Maßnahmen, die zu einer unmittelbaren Verringerung der Lufttemperatur im Innenraum führen, stellt die Anpassung des Raumnutzungskonzeptes in Bestandsgebäuden bzw. die Optimierung des Grundrisses bei Neubauten eine weitere Option zur Verringerung von thermischem Stress dar. Dies bedeutet vor allem, dass – sofern 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.

Technische Gebäudekühlung

Technische Gebäudekühlung dient der Reduktion der Wärmebelastung in Innenräumen, in denen passive Maßnahmen nicht oder nicht ausreichend angewendet werden können. Aktuell werden nur rund 1 bis 2 % der Wohngebäude, aber 50 % aller Büro- und Verwaltungsgebäude in Deutschland technisch gekühlt (Bettgenhäuser et al. 2011). Dies erfolgt auf der Basis von DIN 13779. Klassische Klimaanlagen weisen aufgrund ihres hohen Energiebedarfs sowie ihrer klimaschädlichen Kältemittel eine schlechte Ökobilanz auf (UBA 2015). Ressourcenschonende Lösungen sind die Erdkältenutzung oder die adiabate Abluftkühlung, in der Regenwasser genutzt wird. Auch Adsorptionskältemaschinen, die durch solare Energie oder KWK-Abwärme angetrieben werden, werden derzeit erprobt und weiterentwickelt (Sen-StadtUm Berlin 2010).



Teil 2 – Auswirkungen des Bauvorhabens auf den Windkomfort

2.1 Methodik der Windanalyse

In der vorliegenden Untersuchung wird das lokale Windfeld in der Umgebung der aktuellen und geplanten Flächennutzungsänderungen mit Hilfe numerischer Simulationen mit dem mikroskaligen Strömungs- und Ausbreitungsmodell ASMUS analysiert. Das Modell ASMUS erfüllt die in der VDI-Richtlinie 3783/9 beschriebenen Anforderungen an mikroskalige prognostische Windfeldmodelle und wurde gemäß dieser Richtlinie validiert (Gross, 2011). Das Modell ist für komplexe urbane Untersuchungsgebiete mit kleinen horizontalen Maschenweiten konzipiert. Es verfügt darüber hinaus über spezielle Rechenschemata insbesondere auch zur Berücksichtigung von Baumstrukturen und hat seine Leistungsfähigkeit schon für eine Vielzahl von Problemstellungen unter Beweis gestellt (z.B. Groß 1997, 2010).

Für die Beurteilung der Windspitzengeschwindigkeiten bei Starkwindereignissen wurden die Gleichungssysteme zur Berechnung der mittleren Windgeschwindigkeiten durch einen statistischen Ansatz (Markov-Ansatz) zur Berechnung von Geschwindigkeitsfluktuationen erweitert. Somit können neben Stundenmittelwerten der Windgeschwindigkeit auch kurzfristige Spitzengeschwindigkeiten in Böen ermittelt werden. Unter Verwendung einer für den Standort charakteristischen Windstatistik oder einer Zeitreihe der Wind- und Ausbreitungsbedingungen für ein repräsentatives Jahr lassen sich somit sowohl Überschreitungshäufigkeiten mittlerer Windgeschwindigkeiten als auch Überschreitungen von kurzfristigen Geschwindigkeiten in Böen ermitteln (Gross, 2014).

Im Rahmen der hier durchgeführten Windanalyse wurden neben Stundenmittelwerten der Windgeschwindigkeit auch Böen mit einer Andauer von 10 Sekunden ausgewertet. Dabei wurde stundenweise nur die im statistischen Mittel maximale Böe berücksichtigt (99,7 % Quantil). Dies entspricht bei einer Normalverteilung der Böengeschwindigkeiten der mittleren Windgeschwindigkeit plus ihrer dreifachen Standardabweichung

2.2 Eingangsdaten für die Modellrechnungen zur Windsituation

Das Untersuchungsgebiet für die Windanalyse umfasst bei einer Größe von 1800 m x 1800 m die großräumige Umgebung der geplanten Nutzungsänderungen und die umliegenden Gebiete. Bei einer horizontalen Auflösung des Rechengebietes von 5 m x 5 m im Zentrum des Modellgebietes werden die Gebäude- und Vegetationsstrukturen ausreichend aufgelöst. Die bodennahe vertikale Gitterauflösung beträgt überall 2 m. Des Weiteren werden die Geländehöhe sowie überhängende Gebäudestrukturen und Brücken berücksichtigt. Die Auswirkungen des Bauvorhabens auf den Windkomfort werden im Zentrum des Untersuchungsgebietes auf einer Fläche von 430 m x 430 m bewertet. Abb. 15 zeigt die Ge-

ländehöhen im Bewertungsgebiet und die Abb. 16 und Abb. 17 zeigen die berücksichtigten Strukturhöhen des Ist-Zustandes, des Plan-Null-Zustands und des Plan-Zustands im Bewertungsgebiet.

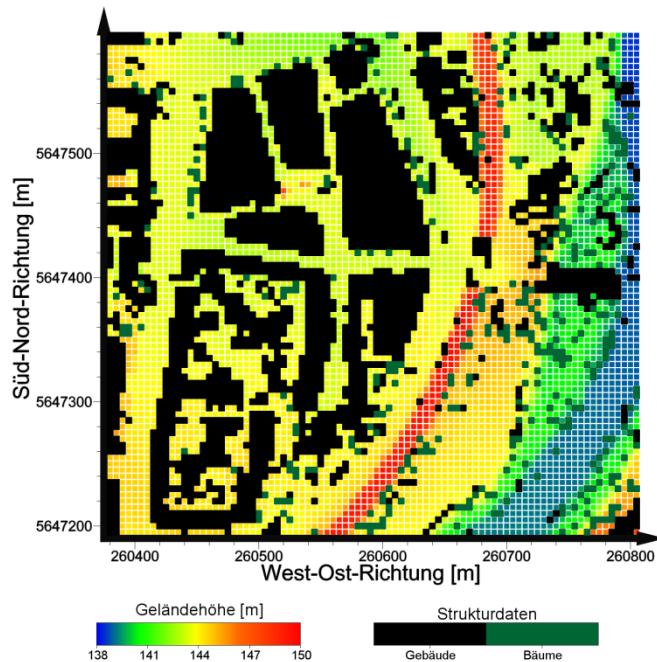


Abb. 15: Geländehöhen im Bewertungsgebiet, sowie Gebäude und Bäume im Plan-Zustand

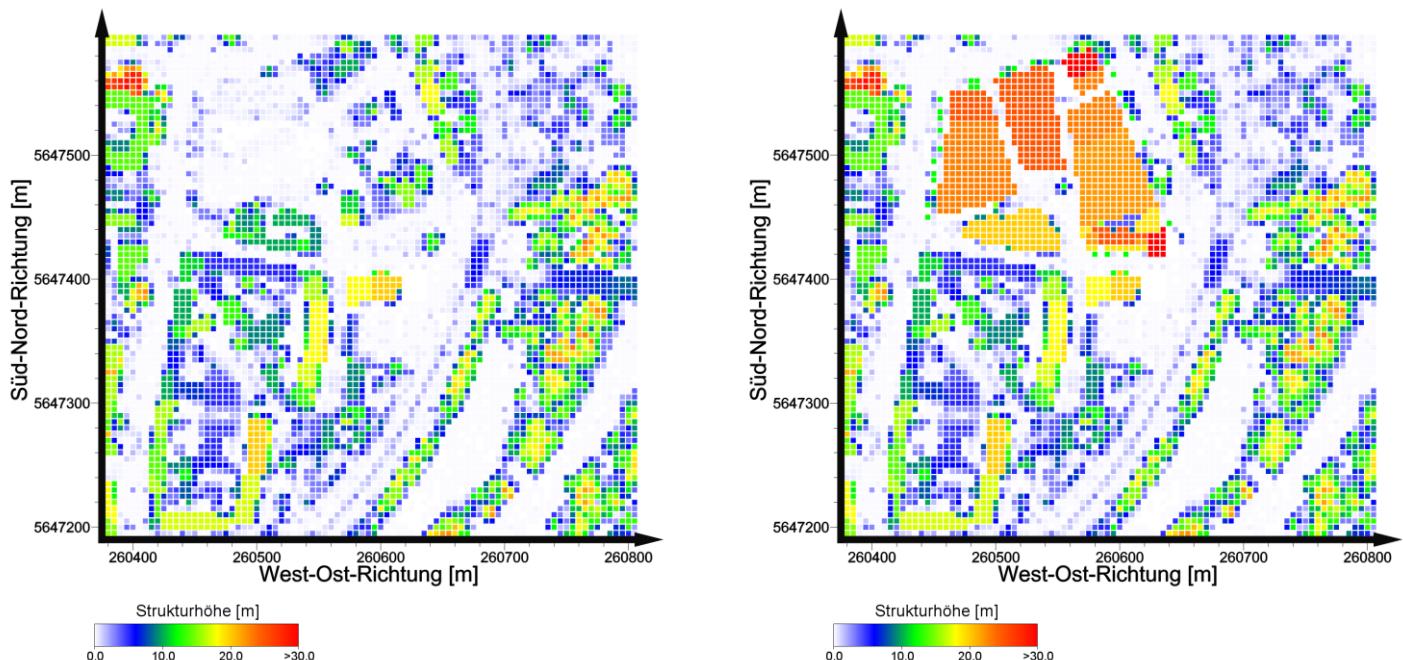


Abb. 16: Höhen von Gebäuden und Bäumen im Bewertungsgebiet im Ist-Zustand (links) und Plan-Null-Zustand (rechts)

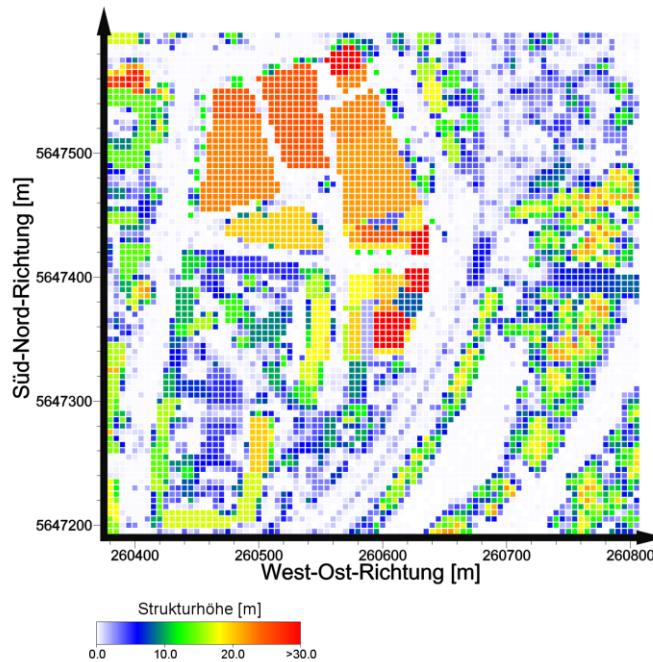


Abb. 17: Höhe von Gebäuden und Bäumen im Plan-Zustand

Die modellgestützte Berechnung von Überschreitungshäufigkeiten von Stundenmittelwerten der Windgeschwindigkeit und kurzfristigen Spitzengeschwindigkeiten in Böen im Modellgebiet erfolgt auf Grundlage einer Windstatistik der ConWx-Reanalysedaten an einem Gitterpunkt im Stadtgebiet von Jena für das langjährige Mittel 1993-2018. Die Abb. 18 zeigt die Häufigkeit der einzelnen Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsklassen in 10 m Höhe. Es wird deutlich, dass der Wind in Jena vorwiegend aus Süd bis West weht, wobei am häufigsten Windgeschwindigkeiten von 1-3 m/s aus Richtung Süden auftreten.

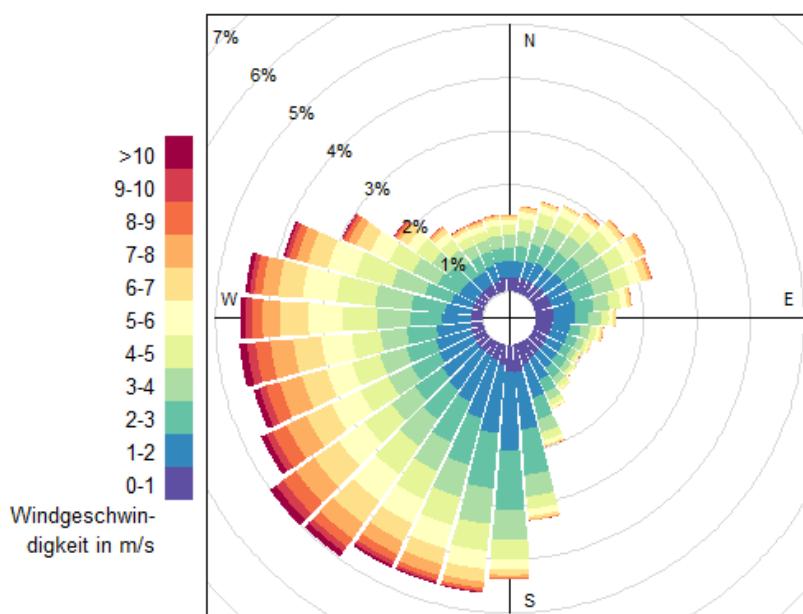


Abb. 18: Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsverteilung aus ConWx-Reanalysedaten und einem Gitterpunkt im Stadtgebiet von Jena für den Zeitraum 1993-2018 in 10 m Höhe



2.3 Beurteilungskriterien

Inwieweit Windgeschwindigkeiten als störend empfunden werden, hängt deutlich von der momentan von einer Person ausgeübten Tätigkeit und ebenso von der Umgebung ab. Innerhalb von Gebäuden werden Luftströmungen beispielsweise durchweg als störender „Windzug“ empfunden. Ebenso werden im Sitzen oder bei längerem Stehen im Freien höhere Windgeschwindigkeiten als unangenehm eingesch stuft. Dagegen können bei sportlichen Aktivitäten moderate Windgeschwindigkeiten durchaus angenehm sein. Auch die subjektive Empfindung einzelner Personen zur Definition eines Komfortbereiches ist individuell unterschiedlich. Bewohner von Küstenregion, an denen ohnehin häufig höhere Windgeschwindigkeiten auftreten, bewerten beispielsweise höhere Windgeschwindigkeiten oft als weniger störend. Identische Windgeschwindigkeiten werden somit in Abhängigkeit von der Situation und der Umgebung durchaus unterschiedlich bewertet.

In Deutschland gibt es aktuell keine verbindlichen Bewertungskriterien für eine Beurteilung des Windkomforts, an der Erstellung einer entsprechenden VDI-Richtlinie wird zurzeit gearbeitet. Die in der Literatur zu findenden Kriterien zur Beurteilung des Windkomforts beziehen sich entweder auf Überschreitungshäufigkeiten von Stundenmittelwerten der Windgeschwindigkeit oder auf die Geschwindigkeiten von Windböen.

Für diese gutachtliche Stellungnahme wurden die Kriterien des DGNB (SOC1.1 Thermischer Komfort im Freiraum) zum Windkomfort nach Lohmeyer et al. (1992) verwendet (Tab. 2). Dabei werden unterschiedliche Aufenthaltsbereiche definiert und nach der Überschreitungshäufigkeit einer individuellen Böenwindgeschwindigkeit (6-13 m/s) bewertet. Das DGNB-Kriterium gibt Aufschluss darüber, ob die Aufenthaltsqualität in den verschiedenen Nutzungsbereichen durch mangelnden Windkomfort eingeschränkt wird. Beispielsweise fallen im Beurteilungsgebiet in Jena in die Kategorie A: Spielplatz der Kita Glühwürmchen, Außengastronomie, grüne Erholungsgebiete östlich der Bahnlinie entlang der Saale und private Innenhöfe und Gärten (Abb. 19 und Abb. 20). Der Kategorie B wird der Campus Inselplatz ohne das Café zugeordnet, sowie Haltestellen des öffentlichen Personennahverkehrs und Plätze. Bereiche der Kategorie C sind Fußgängerwege und Bürgersteige mit wenigen bzw. ohne Geschäfte.

Des Weiteren wurde das Gefährdungspotential durch Starkwind mittels der niederländischen Richtlinie zur Beurteilung des Windkomforts (NEN 8100, 2006) abgeschätzt. Die Abschätzung des Gefährdungspotentials mittels dieser Richtlinie ist Stand der Technik und aus meteorologischer Sicht übertragbar auf die Situation in Jena. Die Beurteilung basiert auf einer Auswertung von Stundenmittelwerten der Windgeschwindigkeit in 2 m Höhe (Tab. 3).



Tab. 2: Kriterien zur Beurteilung der Windverhältnisse des DGNB nach Lohmeyer et al. (1992)

KATEGORIE NACH DGNB	BÖENGESCH- WINDIGKEIT	ÜBERSCHREITUNGS- HÄUFIGKEIT	BEURTEILUNGSKRITERIEN
A	> 6 m/s	Max. 5 %	Keine Windkomfortprobleme zulässig in Parks, Warte- und Ruhebereichen, Außengastronomie, auf Spielplätzen etc.
B	> 8 m/s	Max. 1 %	Flächen für längeren Aufenthalt wie Stadtmarktplätze, Fußgängerzonen, Einkaufsstraßen, Straßen mit einem hohen Anteil an Geschäften (Schaufenstern)
C	> 10 m/s	Max. 1 %	Flächen für kurzzeitige Aufenthaltszeit wie Verkehrsberäume ohne Aufenthaltsfunktion (Straßen, die lediglich zur Durchwegung dienen, ohne Nutzungen wie Einkaufen oder dergleichen)
D	> 13 m/s	Max. 1 %	Zulässig an Gebäudeecken , zulässig für problemloses Laufen

Tab. 3: Beurteilung der Gefährdung durch hohe Windgeschwindigkeiten gemäß der Niederländischen Richtlinie (NEN 8100, 2006) auf Grundlage von Stundenmittelwerten der Windgeschwindigkeit

Einstufung der Windgefahr	
Überschreitungshäufigkeiten einer Windgeschwindigkeit von 15 m/s (Stundenmittel) in % der Jahressstunden	Einstufung
0,05 - 0,3%	beschränktes Risiko
>= 0,3%	gefährlich

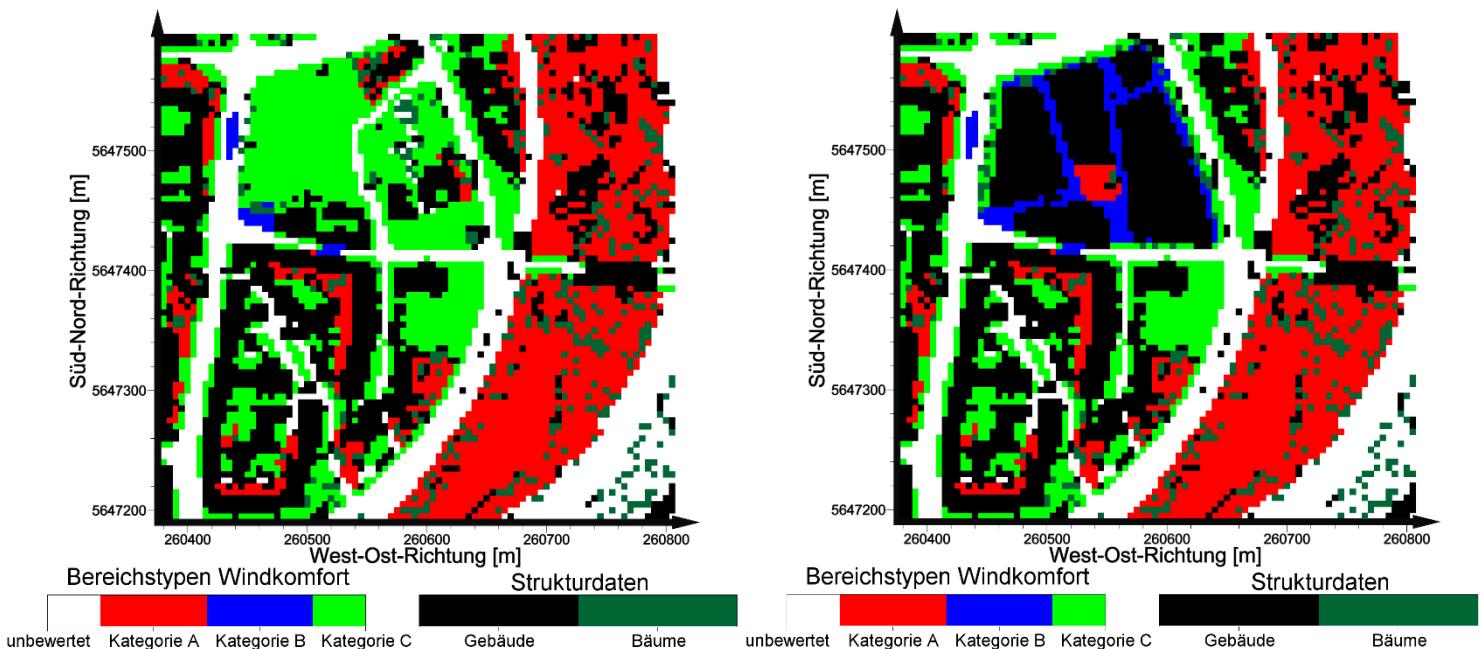


Abb. 19: Windkomfortbereichstypen, Gebäude und Bäume im Ist-Zustand (links) und im Plan-Null-Zustand (rechts)

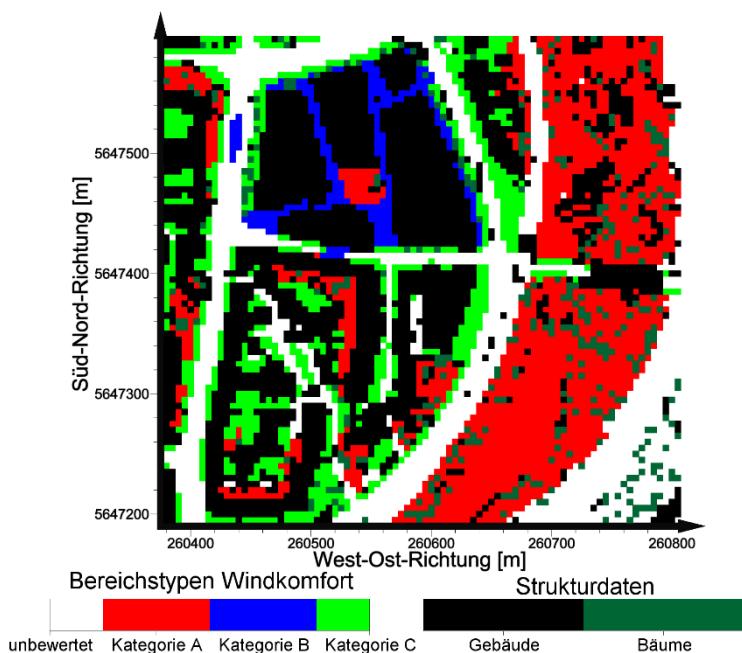


Abb. 20: Windkomfortbereichstypen, Gebäude und Bäume im Plan-Zustand

2.4 Ergebnisse der Windanalyse

2.4.1 Mittelwerte der Windgeschwindigkeit

Zur Beurteilung des Windkomforts wird zunächst die mittlere Windgeschwindigkeit für unterschiedliche Anströmrichtungen und -stärken ausgewertet. Beispielhaft ist hier in den Abb. 21 und Abb. 22 die mittlere Windgeschwindigkeit in 10 m für den am häufigsten vorkommenden Wind aus Süden mit einem großräumigen Antrieb von 3 m/s in 10 m Höhe für die drei untersuchten Szenarien dargestellt.

Die Abbildungen zeigen in allen drei Szenarien den starken Einfluss der Orographie auf das Windfeld. Über dem höheren liegenden Bahndamm treten hier deutlich größere Windgeschwindigkeiten auf. Ebenso sind in Bereichen mit geringerer Bebauungsdichte die Windgeschwindigkeiten größer. Das neue Hochhaus im Plan-Zustand verursacht durch Umströmungseffekte höhere Windgeschwindigkeiten in der nahen Umgebung, die je nach Windrichtung mehr oder weniger stark ausgeprägt sind. In einigen Teilbereichen treten auf Grund der veränderten Strömung im Beurteilungsgebiet im Plan-Zustand niedrigere Windgeschwindigkeiten als im Plan-Null-Zustand auf.

Die Überschreitungshäufigkeit der mittleren Windgeschwindigkeit von 15 m/s auf Fußgängerniveau ist im Bereich des Bewertungsgebietes kleiner als 0,05 % der Jahresstunden (ohne Abbildung). Gemäß der niederländischen Richtlinie (NEN 8100, 2006) tritt in Bodennähe kein beschränktes Risiko auf oder besteht in Teilgebieten eine Gefahr durch Wind.

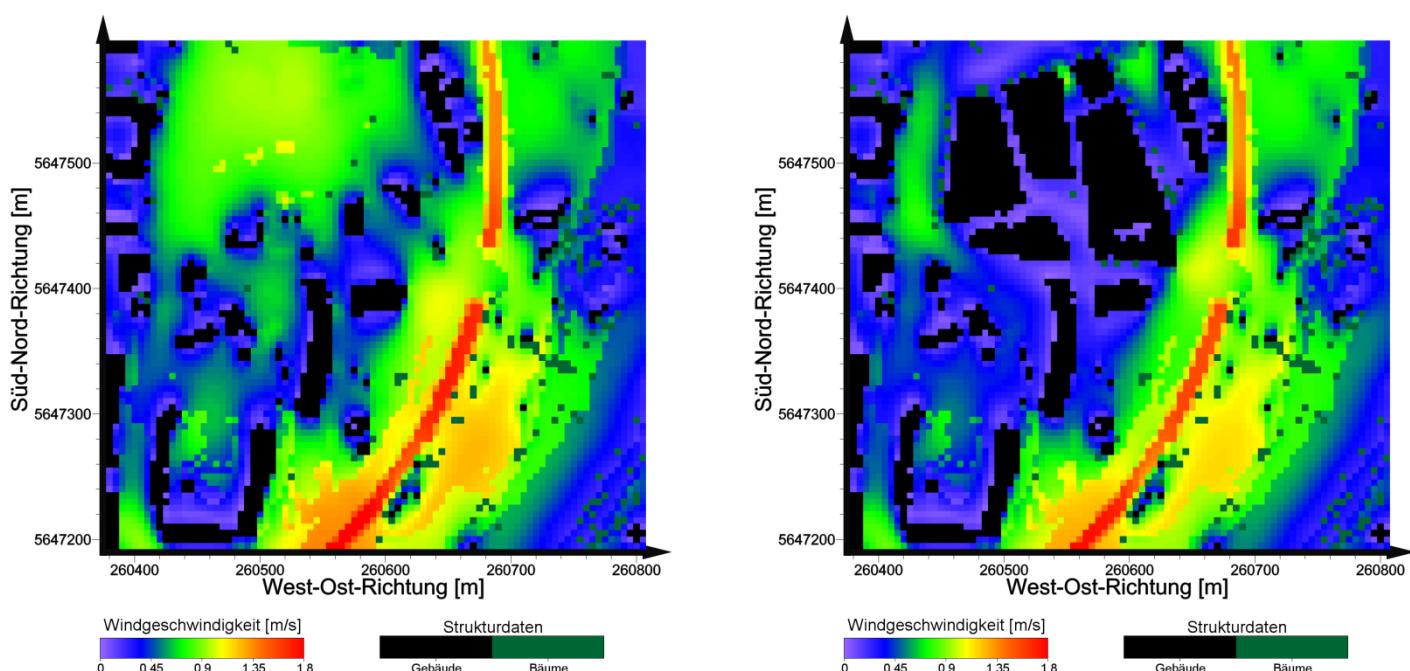


Abb. 21: Mittlere Windgeschwindigkeit im Ist-Zustand (links) und Plan-Null-Zustand (rechts) in 10 m Höhe im Bewertungsgebiet bei Anströmung aus Süd mit einem großräumigen Antrieb von 3 m/s in 10 m Höhe

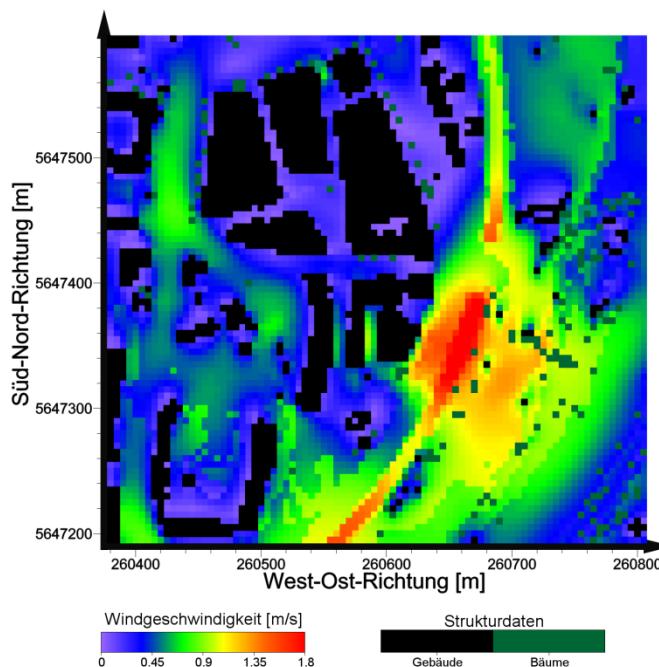


Abb. 22: Mittlere Windgeschwindigkeit im Plan-Zustand in 10 m Höhe im Bewertungsgebiet bei Anströmung aus Süd mit einem großräumigen Antrieb von 3 m/s in 10 m Höhe

2.4.2 Windgeschwindigkeiten in Böen

Zur weiteren Beurteilung des Windkomforts wird die Böenwindgeschwindigkeit für unterschiedliche Anströmrichtungen und -stärken ausgewertet. Beispielsweise ist hier die Böenwindgeschwindigkeit im Beurteilungsgebiet bei einer Anströmung aus Süd mit 6 m/s in 10 m Höhe dargestellt (Abb. 23 und Abb. 24). Das neue Hochhaus bewirkt durch höhere mittlere Windgeschwindigkeiten und erhöhte Turbulenz größ-

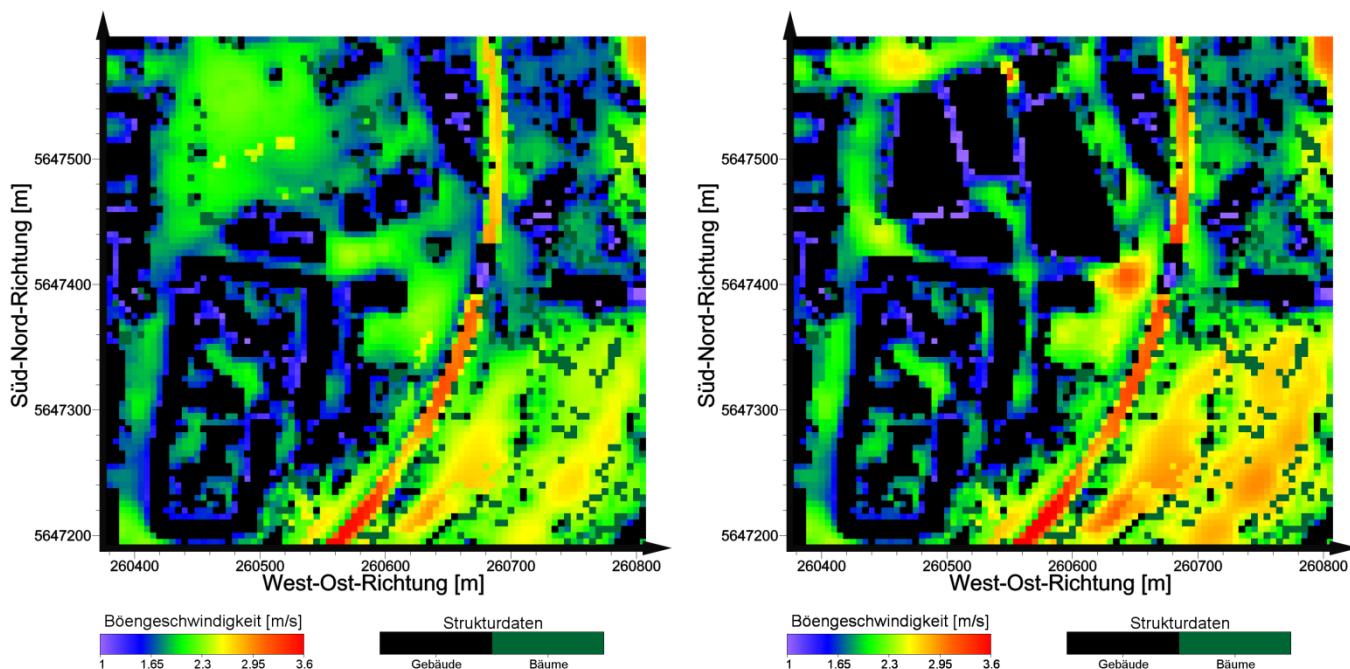


Abb. 23: Böengeschwindigkeit in 10 m Höhe im Ist-Zustand (links) und Plan-Null-Zustand (rechts) bei Anströmung aus Süd mit 6 m/s in 10 m Höhe

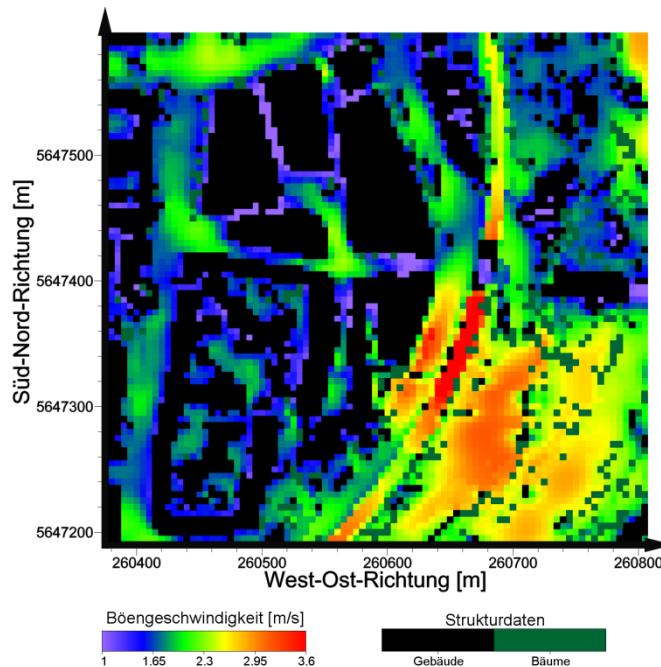


Abb. 24: Böengeschwindigkeit in 10 m Höhe im Plan-Zustand bei Anströmung aus Süd mit 6 m/s in 10 m Höhe

tenteils eine Zunahme der Böengeschwindigkeiten in der näheren Umgebung, die mit der Windgeschwindigkeit und Windrichtung variiert.

Die Abb. 25, Abb. 26, Abb. 28 und Abb. 29 zeigen die Überschreitungshäufigkeit von Böengeschwindigkeiten von 6 m/s und 8 m/s in 2m Höhe für alle drei Szenarien im klimatologischen Verlauf über alle auftretenden Windrichtungen und Windgeschwindigkeiten. In einem Großteil des Beurteilungsgebietes treten nur sehr selten Böengeschwindigkeiten von 6 m/s oder mehr auf. Lediglich im Südosten des Beurteilungsgebietes treten solche Böen großräumig mit geringer Wahrscheinlichkeit auf. Im Plan-Zustand treten in diesem Gebiet vermehrt solche Böen auf als im Ist- und Plan-Null-Zustand. An einigen Orten im Untersuchungsgebiet bewirkt das neue Hochhaus im Plan-Zustand auch eine geringere Häufigkeit von Böen mit 6 m/s und mehr als im Plan-Null-Zustand (Abb. 27). Böengeschwindigkeiten mit mehr als 8 m/s treten in allen Szenarien im gesamten Beurteilungsgebiet zu weniger als 1 % der Jahresstunden auf. Böengeschwindigkeiten von mehr als 6 m/s, deren Häufigkeit zur Bewertung des Windkomforts in Bereichen der Kategorie A herangezogen wird, treten vereinzelt öfter als in 5 % der Jahresstunden auf, jedoch ausschließlich über unbewerteten Gebieten (Bahndamm, Saale).

Trotz einer teilweisen Zunahme der Böengeschwindigkeiten im Plan-Null- und Plan-Zustand werden die DGNB-Windkomfortkriterien im allen Szenarien im gesamten Beurteilungsgebiet erfüllt.

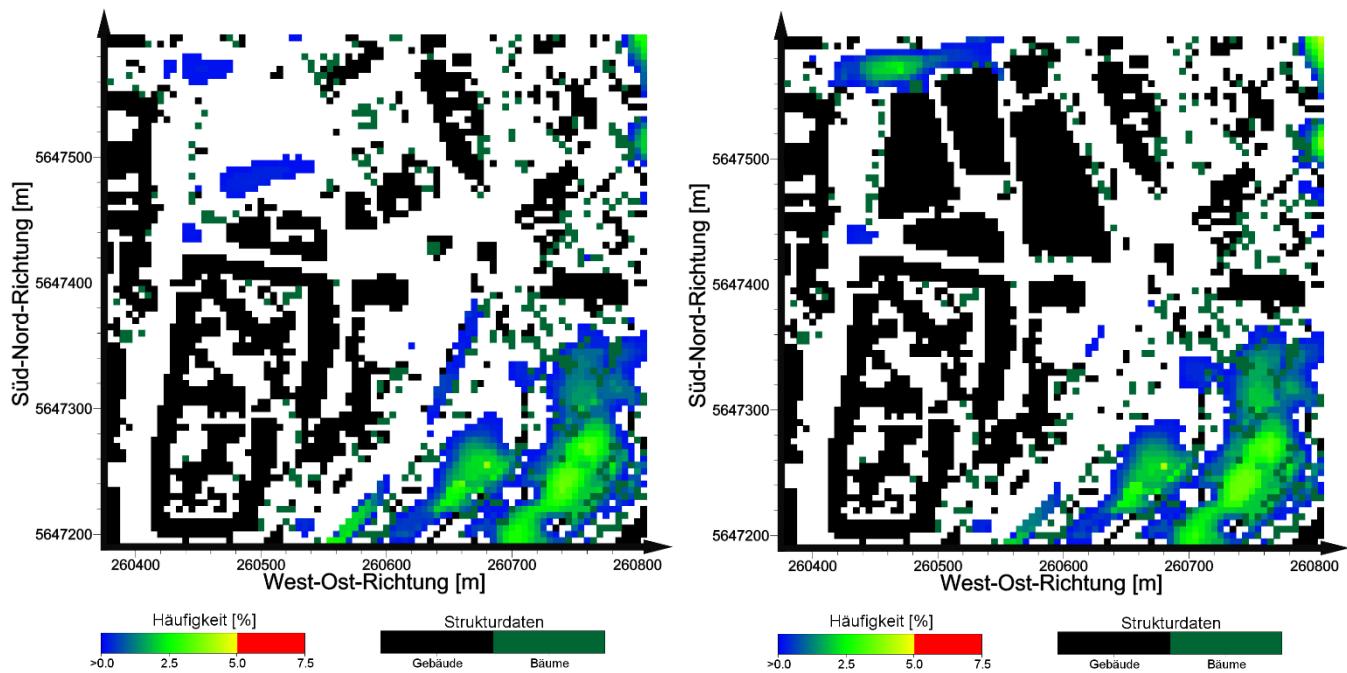


Abb. 26: Klimatologische Häufigkeit von Böengeschwindigkeiten mit mehr als 6 m/s in 2m Höhe im Ist-Zustand (links) und Plan-Null-Zustand (rechts)

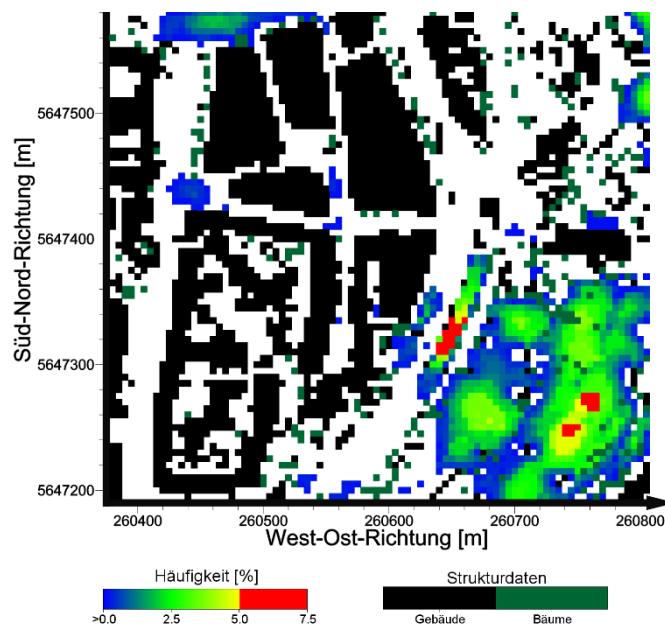


Abb. 25: Klimatologische Häufigkeit von Böengeschwindigkeiten mit mehr als 6 m/s in 2m Höhe im Plan-Zustand

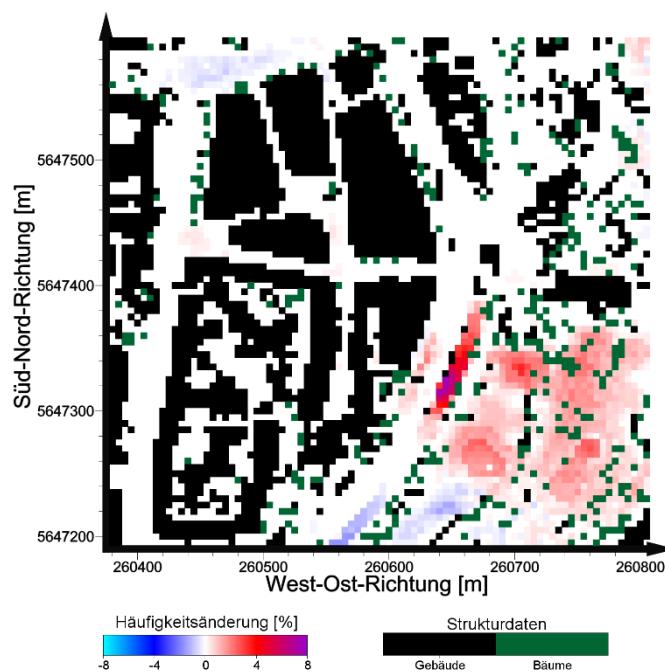


Abb. 27: Differenz der klimatologischen Häufigkeit von Böengeschwindigkeiten mit mehr als 6 m/s in 2m Höhe zwischen dem Plan- und Plan-Null-Zustand

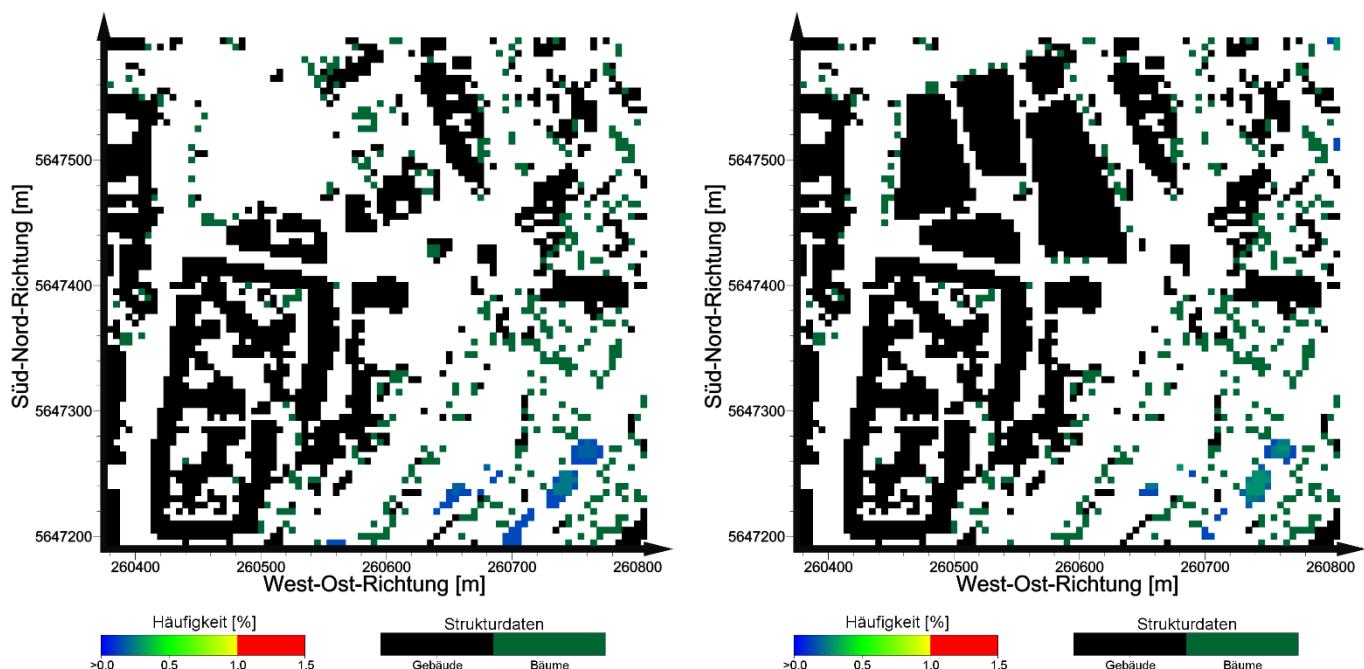


Abb. 28: Klimatologische Häufigkeit von Böengeschwindigkeiten mit mehr als 8 m/s in 2m Höhe im Ist-Zustand (links) und Plan-Null-Zustand (rechts)

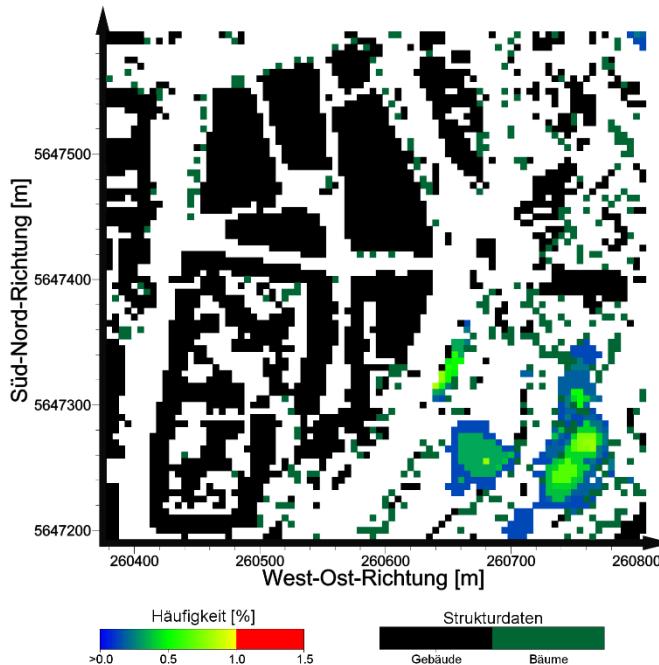


Abb. 29: Klimatologische Häufigkeit von Böengeschwindigkeiten mit mehr als 8 m/s in 2m Höhe im Plan-Zustand

2.5 Fazit Windkomfort

Im Rahmen der hier durchgeführten Windanalyse wurde das lokale Windfeld in der großräumigen Umgebung des geplanten „Steinweg Towers“ in Jena für den Ist-, Plan-Null- und Plan-Zustand mit Hilfe numerischer Simulationen mit dem mikroskaligen Strömungs- und Ausbreitungsmodell ASMUS analysiert. Dabei wurden Stundenmittelwerte der Windgeschwindigkeit und Böen mit einer Andauer von 10 Sekunden ausgewertet. Die Ergebnisse für unterschiedliche Windrichtungen und Windgeschwindigkeiten wurden mit Hilfe der ConWx-Reanalysedaten klimatologisch gewichtet und Überschreitungshäufigkeiten für unterschiedliche Windböengeschwindigkeiten bestimmt.

Die Beurteilung erfolgte an Hand der DGNB-Kriterien für Windkomfort nach Lohmeyer et al. (1992). Es gibt Aufschluss darüber ob die Aufenthaltsqualität in den unterschiedlichen Nutzungsbereichen durch Windkomfort eingeschränkt wird.

Der „Steinweg Tower“ führt nur in kleineren Gebieten in der nahen Umgebung zu einem vermehrten Auftreten von Böen auf Fußgängerniveau mit einer Geschwindigkeit von 6 m/s oder mehr. Trotz dieser geringfügigen Häufigkeitszunahme werden im Plan-Zustand, wie auch im Ist- und Plan-Null-Zustand im gesamten Beurteilungsgebiet die DGNB-Windkomfortkriterien eingehalten.

Eine Gefahr oder beschränktes Risiko durch Wind auf Fußgängerniveau liegt gemäß der niederländischen Richtlinie NEN 8100 im Bereich des Bebauungsplanes und der nahen Umgebung nicht vor.



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: 3.8.2018).
- Bettgenhäuser et al. (2011): Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung. Schriftenreihe Climate Change des UBA. UFO-Planvorhaben 3708 41 110.
- Deutscher Wetterdienst (2016): Zugang zu den Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes, CDC FTP-Server, URL: ftp://ftp-cdc.dwd.de/.../.../pub/CDC/observations_germany/climate/hourly/wind/historical/ (18.05.2016)
- Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e.V.: DGNB-Kriterium SOC1.1, Thermischer Komfort im Freiraum
- DFG (1988) – Deutsche Forschungsgemeinschaft: Physikalische Grundlagen des Klimas und Klimamodelle. Abschlussbericht. Bonn. 93 S.
- Höppe, P. und H. Mayer (1987): Planungsrelevante Bewertung der thermischen Komponente des Stadtklimas. Landschaft und Stadt 19 (1), S. 22-29.
- Gross, G. (1997): ASMUS – Ein numerisches Modell zur Berechnung der Strömung und der Schadstoffverteilung im Bereich einzelner Gebäude. II: Schadstoffausbreitung und Anwendung. Meteorol. Zeitschrift, N.F. 6.
- Gross, G. (2010): Numerical simulation of the diurnal variation of wakes behind wind turbines. Meteorologische Zeitschrift, Vol.19.
- Gross, G. (2011): Validierung von ASMUS. Werkstattbericht. Institut für Meteorologie und Klimatologie, Leibniz Universität Hannover
- Gross, G. (2014): On the estimation of wind comfort in a building environment by microscale simulation, Meteorol. Zeitschrift, Vol. 23.
- Kuttler, W. (1999): Human-biometeorologische Bewertung stadtclimatologischer Erkenntnisse für die Planungs-praxis. In: Wiss. Mitt. aus dem Institut für Meteorologie der Universität Leipzig und dem Institut für Troposphärenforschung e.V. Leipzig. Band 13.
- Lohmeyer et al. (1992): Frankfurt Main Center, Klima- und Immissionsgutachten, Auftraggeber: Deutsche Grundbesitz Investmentgesellschaft mbH, Frankfurt.
- Mosimann, Th., P. Trute & Th. Frey (1999): Schutzgut Klima/Luft in der Landschaftsplanung. Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen, Heft 4/99.
- NEN, Nederlands Normalisatie Institut (2006): Niederländische Norm NEN 8100: Wind comfort and wind danger in the built environment.
- SenStadtUm (=Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin) (Hrsg.) (2010): Konzepte der Regenwasserbewirtschaftung. Gebäudebegrünung, Gebäudekühlung. Leitfaden für Planung, Bau, Betrieb und Wartung; Bearbeitung: Technische Universität Berlin, Hochschule Neubrandenburg.
- Thüringer Institut für Nachhaltigkeit und Klimaschutz GmbH (2012): Handbuch klimawandelgerechte Stadtentwicklung für Jena. ExWoSt-Modellprojekt Jenaer Klimaanpassungsstrategie JenKAS. In: Schriften zur Stadtentwicklung N°3.
- UBA (=Umweltbundesamt)(2015): Gebäudeklimatisierung in Deutschland. Im Internet: <http://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/produkte/fluorierte-treibhausgase-fckw/anwendungsbereiche-emissionsminderung/gebäudeklimatisierung> (Zugriff: 3.8.2018)
- VDI 3783 Blatt 9 (2005): Umweltmeteorologie – Prognostische mikroskalige Windmodelle - Evaluierung für Gebäude- und Hindernisumströmung, Beuth Verlag, Berlin.