

KLIMATISCHES GRUNDLAGENGUTACHTEN
KALTLUFT UND DURCHLÜFTUNG
ZUM GEPLANTEN VORHABEN BEBAUUNGSPLAN NR. I/7,
"FRANKFURTER STRAÙE, AM AUESTADION"

November 2020

Auftraggeber (AG)

Vinber GmbH
Im Druseltal 93
34131 Kassel

vinber

Ansprechpartner

Herr Bernardo Barba
Tel.: +49 561 5034252 1
E-Mail: b.barba@vinber.de

Auftragnehmer (AN)

Burghardt und Partner, Ingenieure
Am Sonnenhang 4
34128 Kassel



BPI

Burghardt und Partner, Ingenieure

Ansprechpartner

Dr. René Burghardt
Tel.: +49 561 76678963
E-Mail: info@lp-kassel.de

Gestattungserklärung / Erklärung des Verfassers:

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

KLIMATISCHES GRUNDLAGENGUTACHTEN – KALTLUFT UND DURCHLÜFTUNG - ZUM GEPLANTEN VORHABEN BEBAUUNGSPLAN NR. I/7, "FRANKFURTER STRAßE, AM AUESTADION"

uneingeschränkt, zur öffentlichen Verwendung.

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

Insofern nicht anders angegeben gilt für alle Abbildungen und Tabellen als Quelle:
Burghardt und Partner, Ingenieure (BPI)

Unterschrift



Dr. René Burghardt

Stempel

BPI

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

Kassel, den 16.11.2020

Inhaltsverzeichnis

Inhalt

I.	Einleitung.....	1
I.1	Auftragsgegenstand.....	1
I.2	Durchgeführte Analysen.....	1
I.2.1	Kaltluftanalyse (Produktion und Transport).....	1
I.2.2	Durchlüftung (Windfeldsimulation).....	4
II.	Untersuchungsraum & Topographie.....	5
III.	Planungssituation & Simulationsparameter.....	6
III.1	Planungssituation.....	6
III.2	Simulationsparameter.....	7
IV.	Simulationsergebnisse.....	8
IV.1	Kaltluft.....	8
IV.2	Durchlüftung.....	11
V.	Zusammenfassung.....	15
VI.	Anlagen.....	16
VI.1	Abbildungsverzeichnis.....	16
VI.2	Tabellenverzeichnis.....	16
VI.3	Literaturverzeichnis.....	16

I. Einleitung

I.1 Auftragsgegenstand

Im Rahmen des geplanten Vorhabens Bebauungsplan Nr. I/7, "Frankfurter Straße, Am Auestadion" wird ein klimatisches Grundlagengutachten erstellt. Der klimatisch-planerische Fokus liegt hierbei primär auf dem Aspekt einer möglichen Beeinträchtigung der Kaltluftversorgung (Entstehung und Transport) sowie auf der Untersuchung des Windfeldes durch das geplante Vorhaben.

Begründet werden die genannten Analysen, durch die teilweise Lage des Planungsraums im Kaltluftabflussbereich sowie im Übergangsbereich zu einer sich in Süd-Nord Richtung erstreckenden Luftleitbahn (vgl. Klimafunktionskarte der Stadt Kassel, 2017).

Bei dem vorliegenden Gutachten handelt es um ein Grundlagengutachten. Das bedeutet, dass nicht per se alle umsetzbaren klimatischen Analysen durchgeführt werden. Die Auswahl der nachfolgend durchgeführten Simulationen basiert auf den Festsetzungen „2020-08-25_Textl Festsetzungen“ der Stadt Kassel (Umwelt und Gartenamtes) vom 20.08.2020, sowie der fachlichen Einschätzung des Gutachters. Sollten im Zuge des Vorhabens weitere klimatische Untersuchungen gefordert, oder durch die in diesem Gutachten generierten Ergebnisse notwendig werden, kann auf der bestehenden Datenstruktur sowie den Ergebnissen aufgebaut werden.

I.2 Durchgeführte Analysen

I.2.1 Kaltluftanalyse (Produktion und Transport)

Auf mikro- und mesoskaliger Ebene beschreibt die Kaltluftentstehung den nächtlichen Abkühlungsprozess der bodennahen Luftschichten. Die Entstehung der Kaltluft beginnt während des Sonnenuntergangs, bedingt durch die fehlende solare Einstrahlung sowie die gleichzeitige thermische Ausstrahlung der oberen Bodenschicht, und dauert bis in die frühen Morgenstunden an.

Durch die höhere Dichte der erkalteten Luft verhält sie sich ähnlich einer Flüssigkeit und strömt in Abhängigkeit vom Gefälle in tiefere Regionen (siehe Abbildung 1). Eine signifikante Strömungsdynamik entwickelt sich ab ca. 1° bis 2° Gefälle und wird von der Rauigkeit der überströmten Bodenschichten beeinflusst.

Das Entstehungsgebiet sowie die Kaltluftproduktionsrate werden von dem vorhandenen Untergrund bestimmt. Hierbei fördern besonders unversiegelte Freiflächen (z.B. Wiesen, Brachen, Grünflächen etc.) mit einer niedrigen Vegetationshöhe die Kaltluftproduktion. Liegen diese Areale in einem reliefierten Gebiet (z.B. unbebaute Hanglage), werden die Kaltluftmassen über die topographischen Windsysteme (Hang- und Bergwinde) abge-

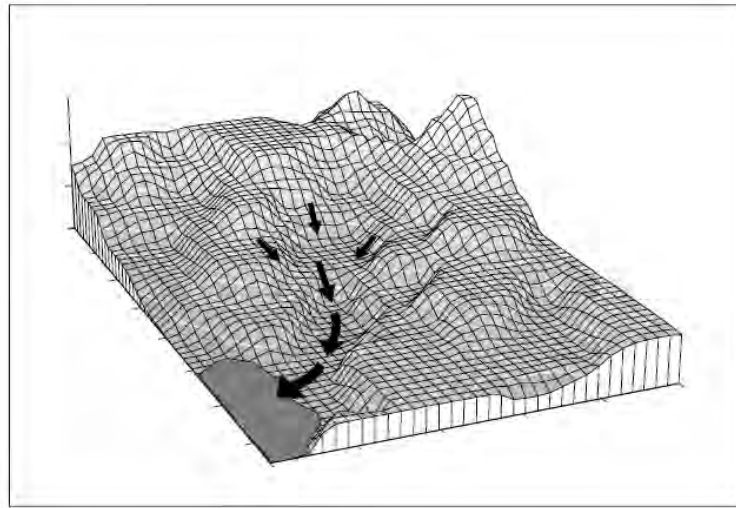


Abbildung 1: Topografisch bedingtes Kaltluft-Abflussregime (Zenger 1998)

leitet. Allerdings können Hindernisse, in Abhängigkeit ihrer Ausprägung, den Kaltluftabfluss behindern oder auch komplett zum Stopp bringen (siehe Abbildung 2 und Abbildung 3).

Fehlendes Gefälle bei diesen Kaltluftentstehungsflächen reduziert die Kaltluftproduktion nicht, limitiert allerdings den Wirkungsbereich durch den fehlenden Kaltluftabfluss. Unter Umständen können die Sogwirkungen vorhandener Flurwinde den Kaltlufttransport unterstützen. Waldgebiete auf stark geneigten Flächen (LANUV NRW 2018) tragen ebenfalls zur Kaltluftproduktion bei. Durch die Neigung des Geländes wird die Durchströmung des kühleren Stammraums (Aufheizung wird durch die Baumkronen verringert) unterstützt, wodurch der Kaltluftabfluss aus dem bodennahen Waldbereich möglich wird. In Abhängigkeit von Gefälle, Dauer und Einzugsgebiet kann eine Kaltluftschicht bis zu einer Höhe von über 30 Metern anwachsen.

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

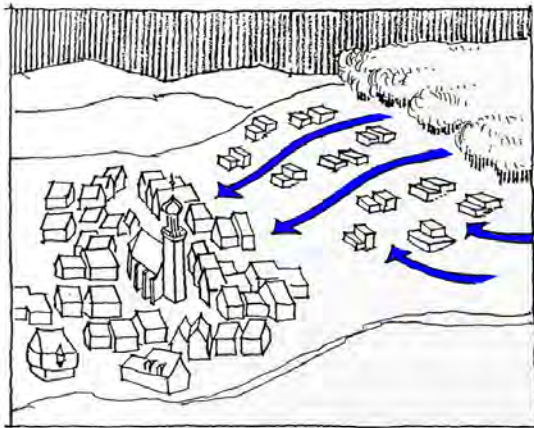


Abbildung 2: Beispiel für eine Hangbebauung mit talparalleler Riegelwirkung (VM BW 2012)

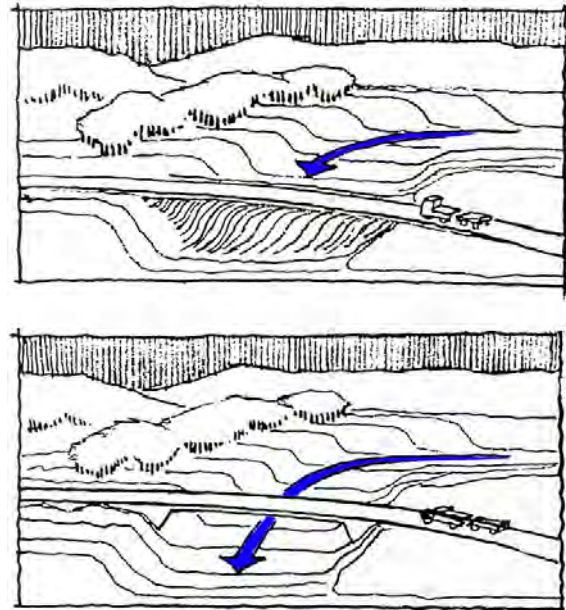


Abbildung 3: Beispiel für die Blockadewirkung eines Straßendamms (oben) und die Durchlässigkeit einer Brücke (unten) in Bezug auf einen Kaltluftstrom (VM BW 2012)

Tabelle 1: Zusammenstellung verschiedener Kaltluftentstehungsraten aus unterschiedlichen Studien in Abhängigkeit zur Art des Untergrunds

	Kubikmeter Kaltluft pro Quadratmeter Boden pro Stunde (m ³ /m ² /h)			
	Acker	Wiese	Wald	Siedlung
King (1973)	/	12	/	/
Gross (1987, 1989)	11	11	13	/
GEONet (2002)	10 - 20	/	5 - 40	/
GEONet (2011)	10 - 15	20	15	1

In der Regel handelt es sich bei diesen Luftmassen um weniger stark belastete Luft, weshalb sie auch in Zusammenhang mit dem städtischen Luftaustausch als „Frischlufte“ bezeichnet wird.

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

Zur Berechnung der Kaltluftproduktionsraten bzw. des Kaltluftabflusses wird die lizenzierte Software KLAM_21 des Deutschen Wetterdienst verwendet.

Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Berechnungen mit Hilfe des Klam_21 Simulationsprogramms auf Grundlage von offiziellen Landnutzungsklassifizierungen, Topographie und Bebauung durchgeführt werden. Im vorliegenden Fall in Kassel werden die Landnutzungsklassen aus dem GMES Urban Atlas vereinfacht (entsprechend der Standartvorgaben im Simulationsprogramm) aufgelöst, wodurch in den Ergebnissen zur Kaltluftproduktion / -höhe naturgemäß Unschärfen gegenüber der Realität auftreten können. Diese Unschärfen hängen von der

tatsächlichen Durchgrünung der in der Landnutzung definierten Siedlungsräume ab, die im Simulationsprogramm nicht dezidiert aufgelöst werden können. Die Ergebnisse werden ins GIS implementiert und mit weiteren Untersuchungsergebnissen verschnitten.

I.2.2 Durchlüftung (Windfeldsimulation)

Um die Interaktionen der vielen unterschiedlichen Faktoren realitätsnah zu simulieren, werden Windfeldsimulationen primär mit numerischen Strömungsmechanik-Modellen (CFD Computer Fluid Dynamics) durchgeführt.

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

Innerhalb des Geoinformationssystems kann die Simulationssoftware numerische Analysen turbulenter Strömungen über komplexer Topographie im urbanen und ruralen Raum durchführen. Als Eingangsparameter werden eine gitterartige Beschreibung der Geländehöhe, der Gebäude, der Rauheit sowie Windbeobachtungsdaten oder ein alternatives Grenzschichtprofil, welches in einer Datei vorliegt, verwendet. Das Windfeld wird in einem 3D-Raster berechnet und ermöglicht die Nachbearbeitung der Ergebnisse sowie den Export von Daten in ein GIS-konformes Austauschformat.

II. Untersuchungsraum & Topographie



Abbildung 4 Untersuchungsraum und Topographie

Der eigentliche Planungsraum befindet sich östlich der Frankfurter Straße auf dem Gebiet des ehemaligen Kinderkrankenhauses Park Schönfeld, entsprechend der Verortung im Bebauungsplan Nr. I/7 „Frankfurter Straße, Am Auestadion“. Da eine klimatische, und insbesondere die Betrachtung der Kaltluftversorgung und der Durchlüftung immer im weiteren städtischen Kontext betrachtet werden muss, um etwelige, vom eigentlichen Untersuchungsraum getrennte Einflussfaktoren und Rahmenbedingungen korrekt zu berücksichtigen, wurde der Untersuchungs- / Simulationsraum auf eine Ausdehnung von 4,6 km auf 2,5 km festgelegt. Es bleibt festzuhalten, dass das topographisch bedingte Kaltlufteinzugsgebiet in westlicher Richtung über diese Ausdehnung hinausreicht. Um jedoch möglichst detailliert die Veränderungen in Kontext der Kaltluftentstehung und des Kaltlufttransportes erfassen zu können, wurde der Berechnungsraum begrenzt.

In der topographischen Betrachtung zeigt sich, dass sich der Geltungsbereich des Planungsvorhabens in einem topographischen Übergangsbereich zwischen der Fulda- / Auenniederungen und den topographisch in Richtung Westen ansteigenden Stadtgebieten befindet. Der topographisch bedingte Abflusskorridor wird durch die Vegetationsflächen des Park Schönfelds sowie in westlicher Richtung anschließend durch die Freiflächen entlang des „Helleböhnweg“ (Marbachshöhe) dominiert.

III. Planungssituation & Simulationsparameter

III.1 Planungssituation

Für die durchgeführten Simulationen wurden jeweils die aktuelle Bestands- sowie die Planungssituation herangezogen. Während für den Bestand auf die aktuelle Gebäudegeometrie zurückgegriffen wurde, ist für den Planungsfall ein maximaler Flächen- und Volumenverbrauch angenommen wurden. Entsprechend wurde für das Hochhaus eine Kantenlänge von 20 m angenommen (entgegen der geplante Gebäudekantenlänge von 18 m). Visuell dargestellt wird die geplante Überbauung des Planungsraums in Abbildung 5. Die orange transparenten Volumenkörper stellen die Baugrenzen im 3-dimensionalen Raum in Kombination mit der maximal möglichen Gebäudehöhe dar. Diese dargestellten Volumenkörper dienen als Grundlage für die Simulation der Planungssituation für die Fragestellung der Kaltluft sowie der Durchlüftung.

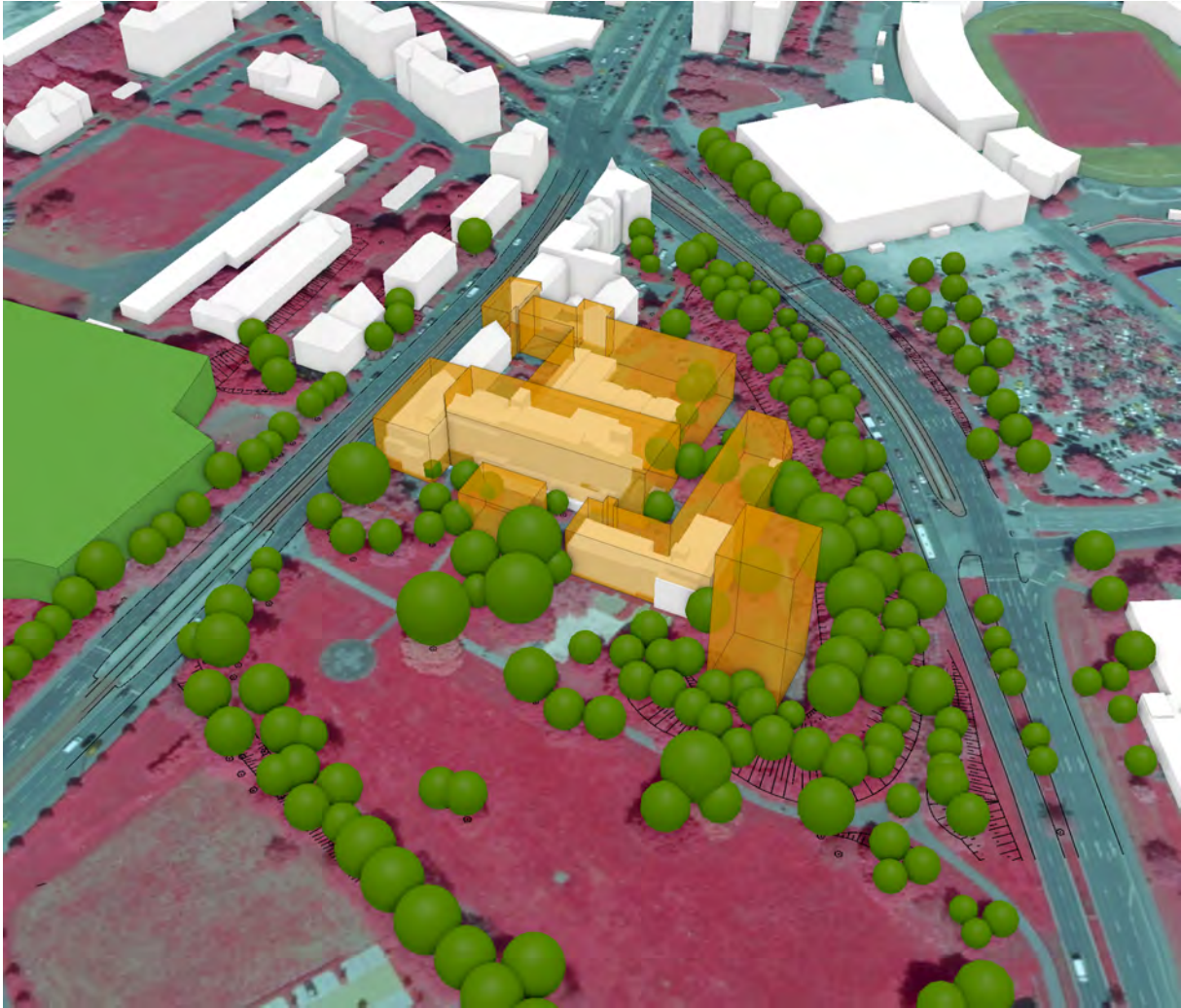


Abbildung 5 Darstellung der Bestands- und Planungssituation. Bestandsgebäude (weiß), Baugrenzen mit maximaler Bebauungshöhe (orange transparent), Bestandsbäume (grün), Park Schönfeld (dichter Baumbestand, grün flächig), Untergrund als Nah-Infrarot dargestellt.

III.2 Simulationsparameter

Simulation / Analyse	Parameter	Räumliche Auflösung
<i>Kaltluftproduktion & Kaltlufttransport</i>		
Strahlungsnacht ohne regionale Überströmung	Topographie, Landnutzung, Bebauung Simulationsdauer: 8 Stunden Zeitliche Schnitte nach 15 min., 30 min, 1 Std., 2 Std, 4 Std., 8 Std.	2 m
<i>Windfeldsimulation</i>		
Windrichtung aus 225° (Südwest)	2 m/s auf 1.5 m über Grund Schnitte auf 2 m, 15,5 m und 44 m	1 m

IV. Simulationsergebnisse

IV.1 Kaltluft

Entsprechend der in Kapitel III.2 definierten Simulationsparameter wurde die Kaltluftproduktion sowie der Kaltlufttransport für eine Strahlungsnacht ohne regionale Überströmung mit einer Standard-Simulationsdauer von 8 Stunden berechnet. Aufgrund der Geringfügigkeit der Einflussnahme der geplanten Bebauung, basierend auf den Simulationsergebnissen, werden nachfolgend exemplarisch nur die Ergebnisse zur Differenzbetrachtung nach 8 Stunden zwischen Bestand und Planung (Abbildung 6) sowie die Kaltluftschichtdicken nach 1 Stunde (Abbildung 7) und nach 8 Stunden (Abbildung 8), jeweils für den Bestands- und für den Planungsfall dargestellt. Alle Simulationsdaten werden im Rahmen des Gutachtens dauerhaft vorgehalten, so dass bei Bedarf auch andere zeitliche Schnitte betrachtet werden können.

Die nachfolgende in Abbildung 6 dargestellte Differenzdarstellung der relativen Kaltfluthöhe, verdeutlicht, dass das Planungsvorhaben keinerlei messbaren Einfluss auf die Ausprägung der nachts entstehenden Kaltluftschichtdicke hat.

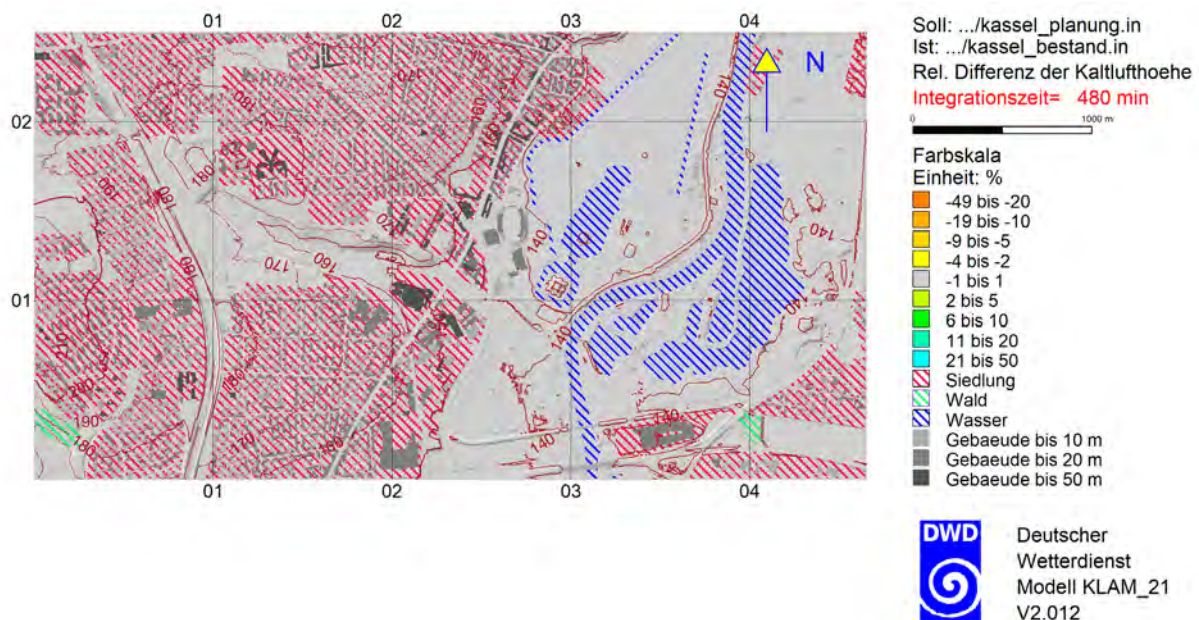


Abbildung 6 Differenzbetrachtung der relativen Kaltfluthöhe zwischen Bestand und Planung nach 8 Stunden

Nach einer Simulationsdauer von 8 Stunden ist keinerlei negative Einflussnahme der Planungssituation auf die Kaltluftproduktion und -verteilung zu erkennen. Die vollständige Egalität der Kaltluftschichtdicken zwischen Bestand und Planung wird bereits nach ca. 3 Stunden erreicht. Die zuvor auftretenden Differenzen treten ausschließlich innerhalb des Geltungsbereichs auf (vgl. Abgrenzung Geltungsbereich in Abbildung 4), und liegen im Durchschnitt im Bereich zwischen 0 % und -3 %. Unter Berücksichtigung des Umstandes, dass nicht das gesamte Kaltluftzugsgebiet in der Berechnung berücksichtigt wurde, ist davon auszugehen, dass mögliche, zu Beginn der Abkühlungsphase auftretende Differenzen noch geringer ausfallen. In einer typischen Darstellung der Kaltluftschichtdicken, wie in Abbildung 7 zu sehen, sind die Differenzen so gering, dass sie innerhalb einer Darstellungsklasse liegen.

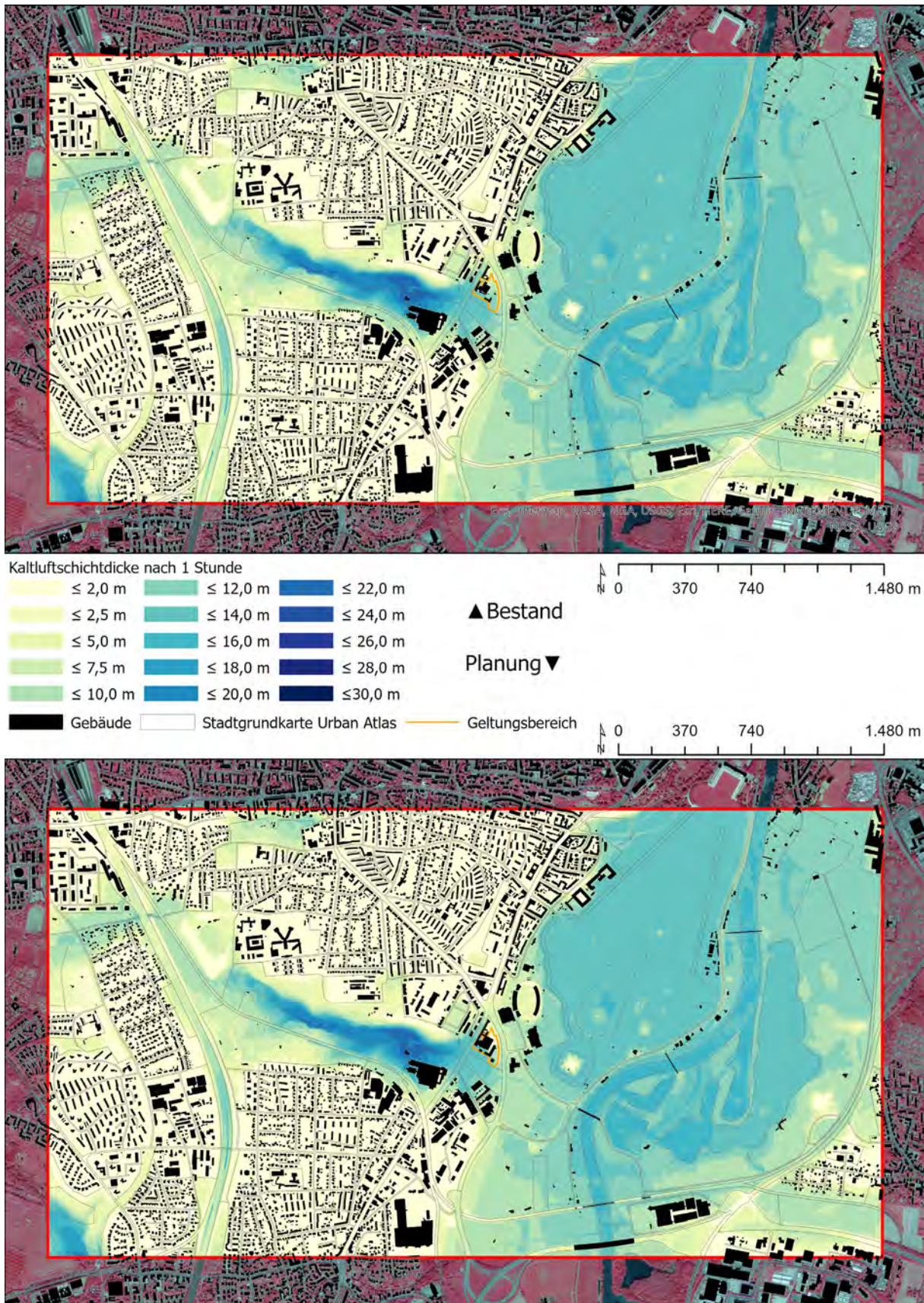


Abbildung 7 Darstellung der Kaltluftschichtdicken für Bestand und Planung nach 1 Stunde

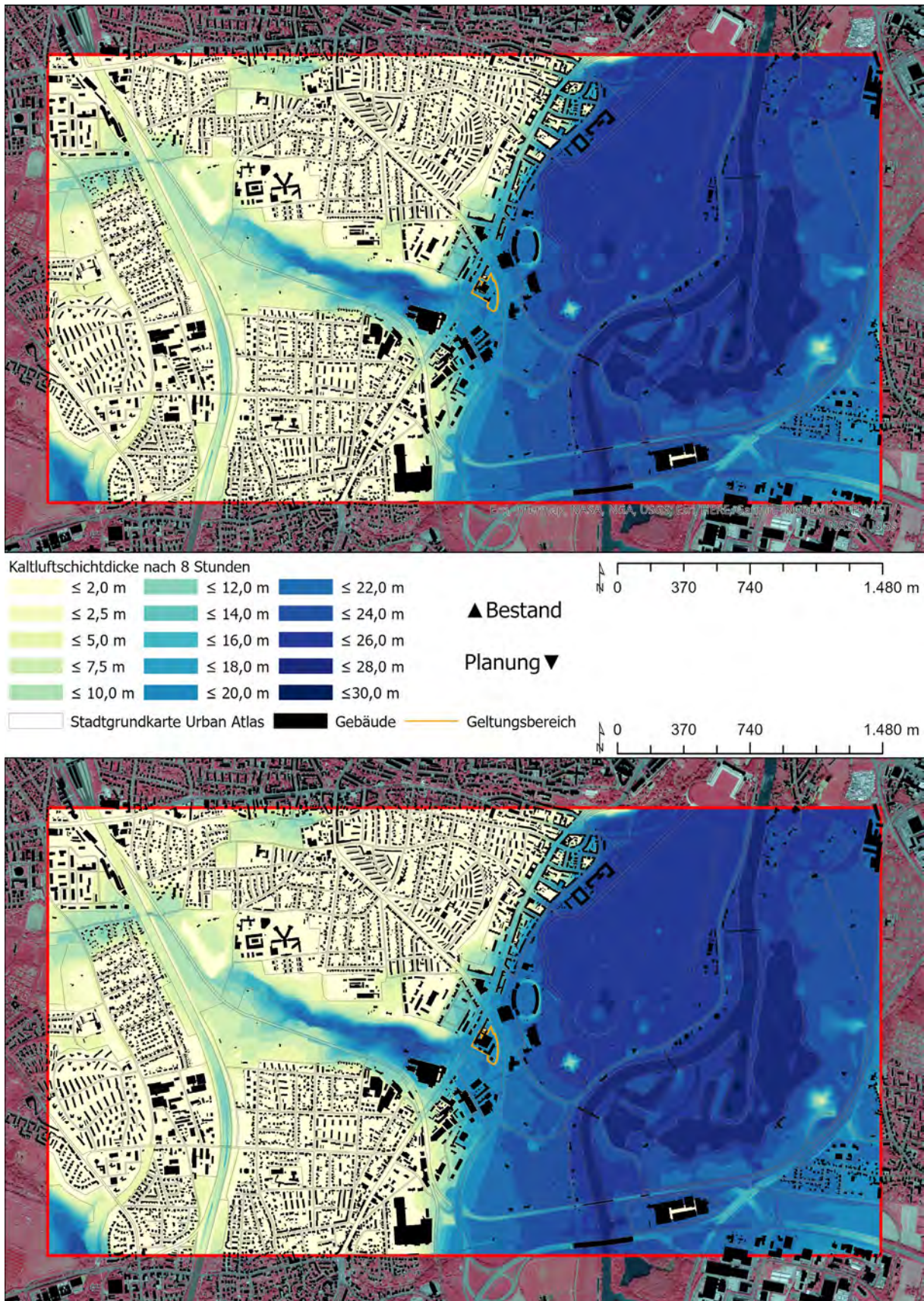


Abbildung 8 Darstellung der Kaltluftschichtdicken für Bestand und Planung nach 8 Stunden

IV.2 Durchlüftung

Während die Erfassung der Kaltluftsituation einer nächtlichen austauscharmen Strahlungsnacht für das urbane Gebiet von Bedeutung ist, betrachtet die Durchlüftungssituation eine dezidierte Anströmungsrichtung und das damit verbundene Durchlüftungspotential. Durch die Lage des Planungsvorhabens in, bzw. in der Nähe einer zentral verlaufenden Luftleitbahn muss geprüft werden, ob durch das Planungsvorhaben von durchlüftungsrelevanten Verschlechterungen auszugehen ist. Die Analyse umfasst den kompletten 3-dimensionalen Raum bis in eine Höhe von 500 m. Dadurch ist eine selektive Betrachtung einzelner horizontaler Schnitte möglich. Nachfolgend sind für die Planungssituation die Schnitte 2 m, 15,5 m und 44 m über Grund visualisiert (Abbildung 9, Abbildung 11 und Abbildung 13), sowie die für den jeweiligen Schnitt berechneten Differenzwerte zwischen Planungs- und Bestandssituation (Abbildung 10, Abbildung 12 und Abbildung 14). Alle Simulationsdaten werden im Rahmen des Gutachtens dauerhaft vorgehalten, so dass bei Bedarf auch andere zeitliche Schnitte betrachtet werden können.

Klar erkennbar ist die Einflussnahme der umgebenden Bestandsbebauung, der topographischen Besonderheiten (wie z.B. die Wallanlage entlang der östlichen Flanke des Geltungsbereichs) sowie der Parkstrukturen und den erfassten Solitärgehölzen. Je nach Höhe des horizontalen Schnittes variiert die durchschnittliche Windgeschwindigkeit. Nahe der Erdoberfläche entstehen die größten Reibungs-, Rauigkeits- und Barriereeffekte, so dass die hier die geringsten Durchschnittsgeschwindigkeiten auftreten. Mit steigender Höhe nimmt die Rauigkeit ab, wodurch es zu einer Ausprägung von höheren Durchschnittsgeschwindigkeiten kommt. Der Schnitt auf 15,5 m entspricht der Durchschnittshöhe des Dachniveaus der aktuellen Bestandsbebauung. Da aber auch das Dachniveau des Planungsfalls (ausgenommen des Hochhauses) auf einer ähnlichen Höhe (15 m bis 20 m) liegt, bietet sich dieser Schnitt als zusätzlicher Vergleich an, um potentielle Einflüsse auf das Windfeld auf Dachniveau zu erfassen. Abschließend ist auf einer Höhe von 44 m einzig das geplante Hochhaus als direktes Strömungshindernis im Geltungsbereich vorhanden. Da bei diesem Schnitt (2 m unterhalb der Dachkante) keinerlei Bestandsbebauung vorhanden ist, ist auf dieser Ebene mit den stärksten Differenzen in der durchschnittlichen Windgeschwindigkeit zu rechnen. Die Differenzbetrachtungen wurden ebenfalls für die Schnitte auf 2 m, auf 15,5 m sowie auf 44 m erstellt. Es zeigt sich, dass die in der Fläche stärkste Differenzentwicklung auf 15,5 m (Abbildung 12) vorkommt. Während im direkten Umfeld um die Strömungshindernisse (Gebäude) Reduktionen von -1 m/s bis -2,5 m/s und punktuell auch eine Reduktion bis zu -3 m/s möglich ist, zeigt sich entlang der südöstlichen / östlichen Flanke des Geltungsbereichs, bedingt durch das geplante Hochhaus als Strömungshindernis, eine Verlagerung des Windfeldes, wodurch es in diesem Bereich zu einer Zunahme der durchschnittlichen Windgeschwindigkeit um 1 m/s bis 3 m/s kommt. Auf Bodenniveau (2 m über Grund) sind die Veränderungen des Windfeldes am geringsten ausgeprägt (Abbildung 10), da die primäre Kubatur der Gebäude in der Planung erhalten bleibt, und nur das Hochhaus als „neues“ Strömungshindernis hinzukommt. Da dieses Gebäude jedoch von einer Wallsituation umgeben ist, die bereits im Bestand zu einer Windverschattung geführt hat, hat das Gebäude einen nur äußerst geringen Einfluss in der Differenzbetrachtung. Auf 44 m Höhe (Abbildung 14) treten erwartungsgemäß die größten Differenzen in der durchschnittlichen Windgeschwindigkeit, bedingt durch die fehlende Bestandsbebauung, auf. Es zeigt sich jedoch, dass diese sehr stark lokal begrenzt sind, und sich daraus keine weitläufigeren negativen Effekte auf das Windfeld erkennen lassen.

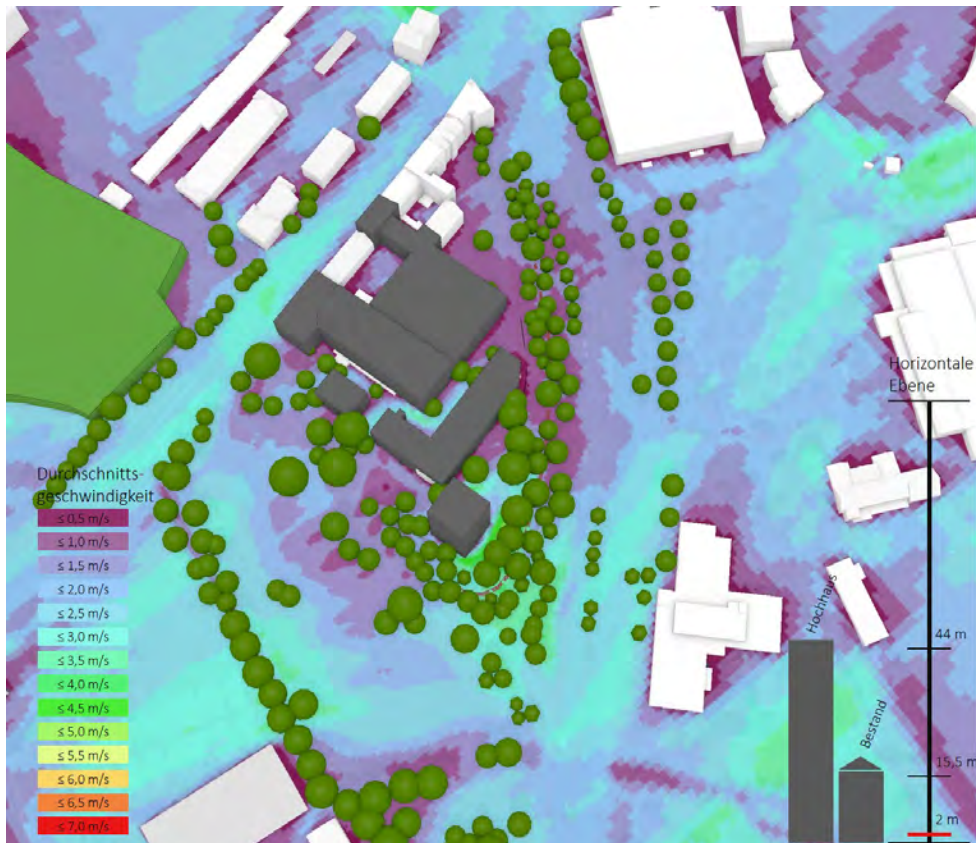


Abbildung 9 Mittleres Windfeld der Planungssituation bei Anströmung aus Südwest (225 °). Schnitt auf 2 m über Grund.

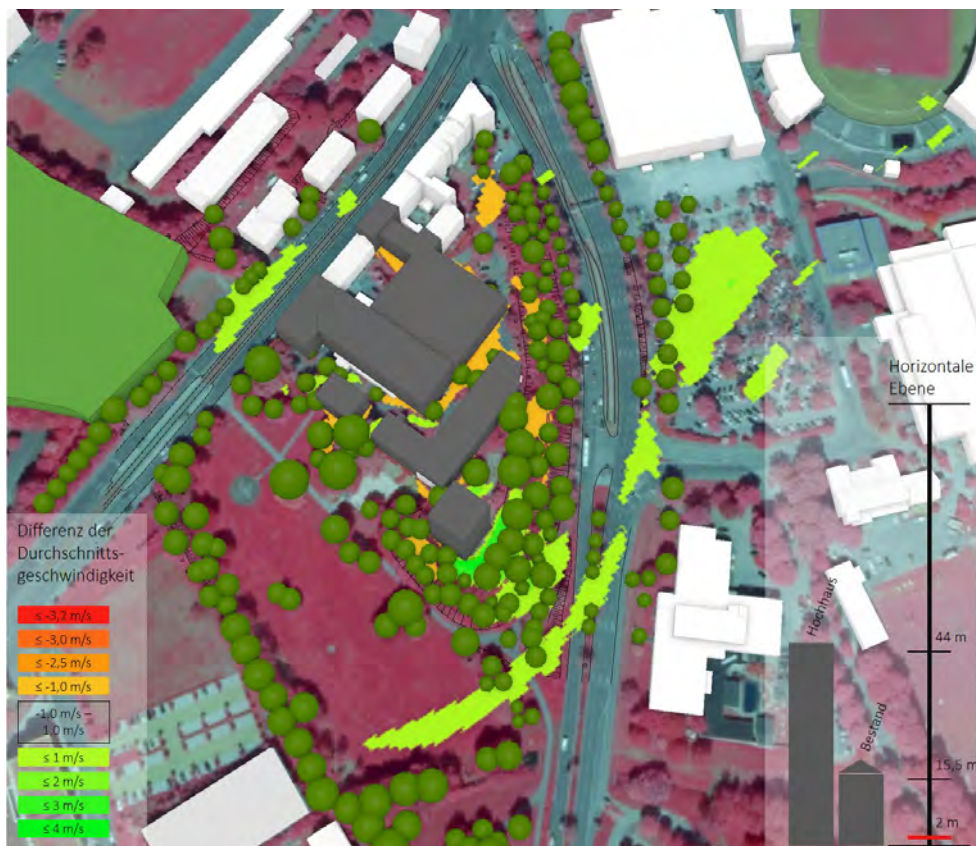


Abbildung 10 Differenzdarstellung der mittleren Windgeschwindigkeit zwischen Planung und Bestand bei Anströmung aus Südwest (225 °). Schnitt 2 m über Grund.

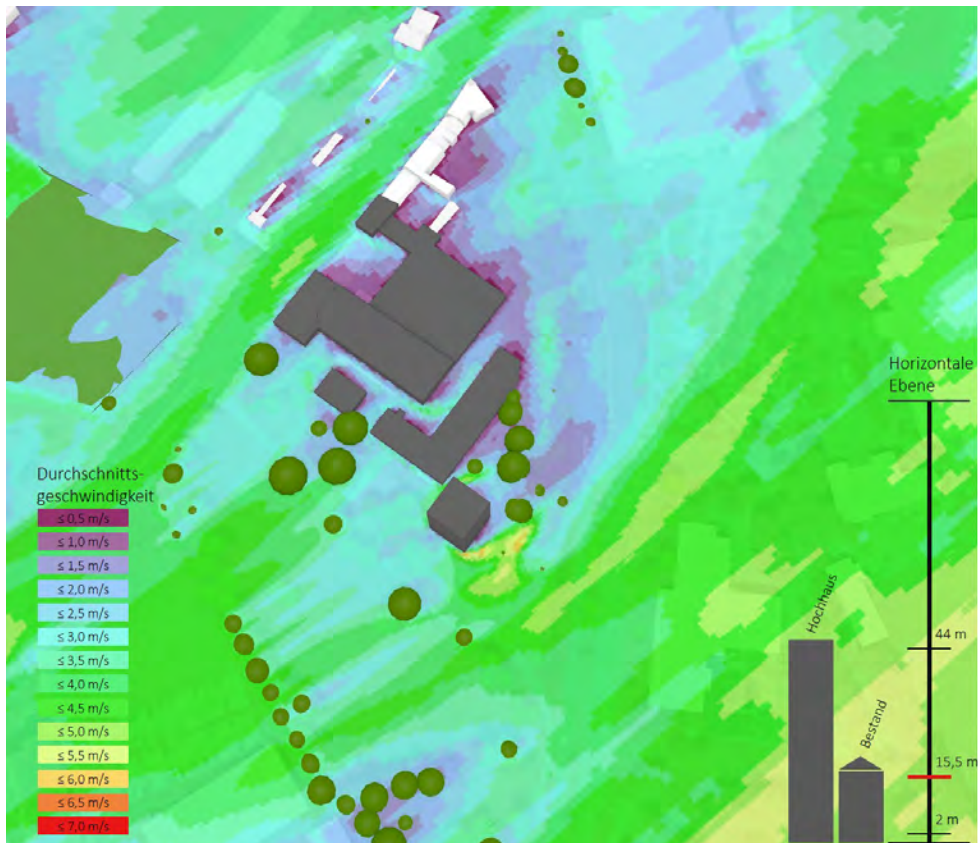


Abbildung 11 Mittleres Windfeld der Planungssituation bei Anströmung aus Südwest (225 °). Schnitt auf 15,5 m über Grund.

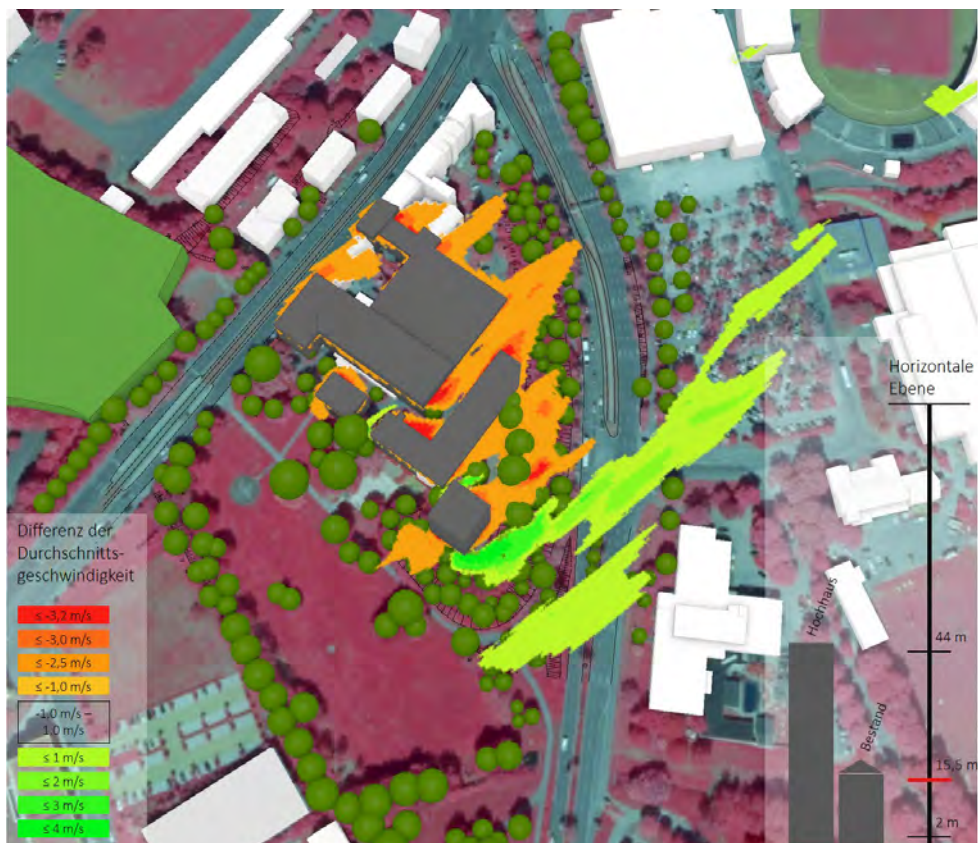


Abbildung 12 Differenzdarstellung der mittleren Windgeschwindigkeit zwischen Planung und Bestand bei Anströmung aus Südwest (225 °). Schnitt 15,5 m über Grund.

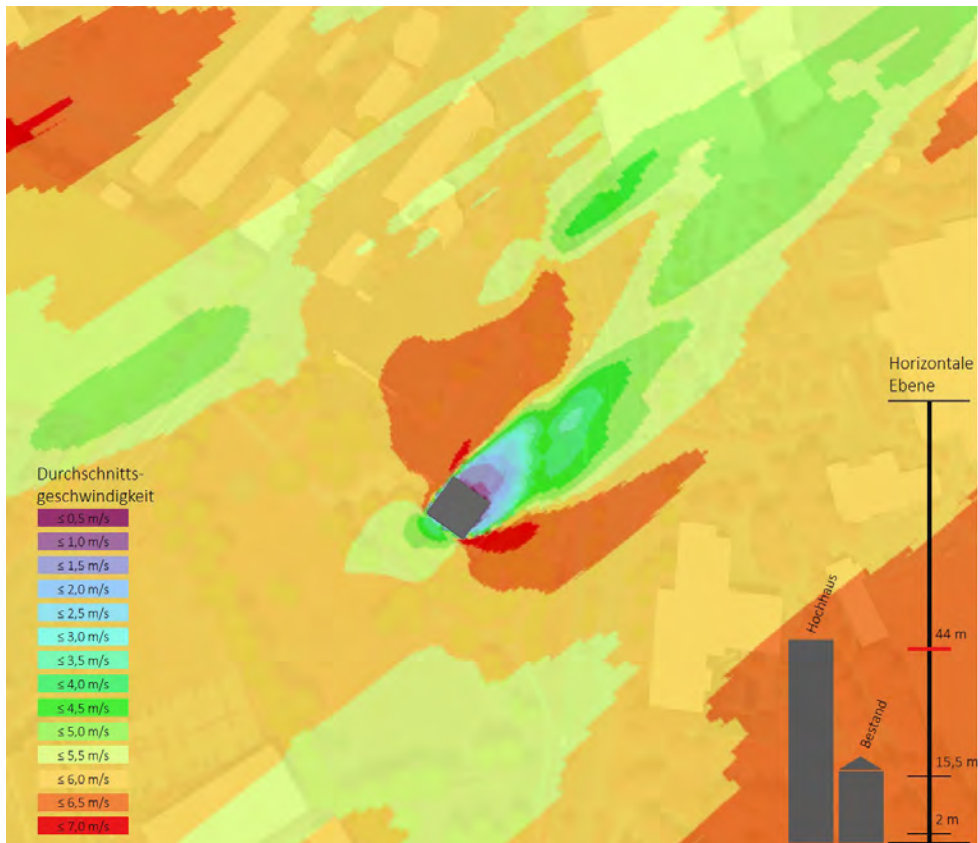


Abbildung 13 Mittleres Windfeld der Planungssituation bei Anströmung aus Südwest (225 °). Schnitt auf 44 m über Grund.

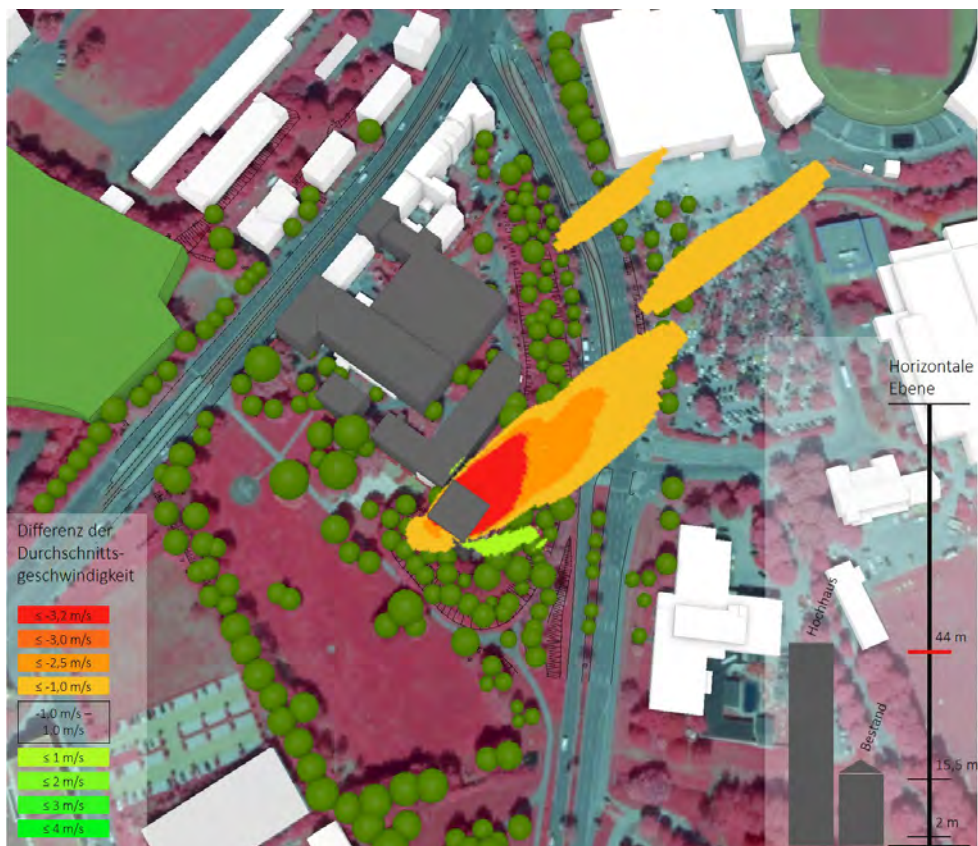


Abbildung 14 Differenzdarstellung der mittleren Windgeschwindigkeit zwischen Planung und Bestand bei Anströmung aus Südwest (225 °). Schnitt 44 m über Grund.

V. Zusammenfassung

Die Analysen zur Kaltluftentstehung und zum Kaltlufttransport zeigen, dass trotz der Lage des geplanten Hochhauses innerhalb einer Kaltluftabflussbahn keine Veränderungen in der Kaltluftschichtdicke festzustellen sind. Entsprechend ist beim Planungsfall nach der VDI 3787 Blatt 05 „Lokale Kaltluft“ kein planungsrelevanter Eingriff festzustellen. Daher sind die Themenfelder Kaltluftentstehung und Kaltlufttransport aus klimatischer Sicht für den weiteren Entwurfs- und Planungsprozess nicht entscheidungsrelevant. Dies bestätigt sich lokal im näheren Umfeld des Geltungsbereichs des Planungsvorhabens, sowie im weiteren städtebaulichen Einzugsbereich.

Die Durchlüftungsanalyse zeigt im Ergebnis ein ähnliches Bild wie die bereits angesprochenen Analyse zur Kaltluftentstehung und des Kaltlufttransportes. Die horizontalen Schnitte auf mehreren vertikalen Ebenen (2 m bodennah, 15,5 m Durchschnittsdachniveau Bestand, 44 m Dachniveau Planung Hochhaus) zeigen Veränderungen, die für eine Überbauung typisch sind. Durch den zusätzlichen Besatz mit Gebäuden auf zuvor vorhandenen Freiflächen entstehen neue Strömungshindernisse. Deren Auswirkungen auf das lokale und übergeordnete Windfeld sind jedoch ebenso in ihrer räumlichen Ausdehnung als auch in ihrem Wirkraum stark eingeschränkt, was in den Differenzdarstellungen der Abbildung 10, Abbildung 12 und Abbildung 14 verdeutlicht wird. Die Differenzen zwischen Bestand und Planung fallen im Kern deswegen so gering aus, da es sich um eine Nachverdichtung bzw. um einen Stadtumbau handelt und nicht um eine komplette Neuplanung auf einer zuvor unbebauten Freifläche. Obwohl die Windfeldsimulation nur für die regionaltypische Anströmung aus Südwest (225 °) (und auf Grundlage der in gleicher Richtung verlaufenden Luftleitbahn) durchgeführt wurde, sind Windfeldberechnungen aus weiteren Richtungen möglich, werden jedoch aufgrund der bereits vorliegenden Ergebnisse aus klimatischer Sicht als nicht notwendig eingestuft. Es kann von ähnlichen Ergebnissen ausgegangen werden, da auch bei einer Anströmung aus Süden (180 °) die Kubaturen der Gebäude eine ähnlich stark ausgeprägte Oberflächenrauigkeit verursachen würden. Durch die zu erwartenden Veränderungen in der Durchlüftung, sind klimatische Beeinträchtigungen auf das Stadtklima sowie eine planungsrelevante Verminderung der Wirksamkeit der Luftleitbahn nicht zu erwarten.

Basierend auf den Ergebnissen der durchgeführten Simulationen, und unter Annahme eines Planungsfalls mit maximaler Bebauung, wird deutlich, dass im Kontext der Kaltluftversorgung sowie der städtischen Durchlüftung keine negativen klimatischen Veränderungen zu erwarten sind. Dementsprechend wird keine vertiefende klimatische Analyse empfohlen.

VI. Anlagen

VI.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Topografisch bedingtes Kaltluft-Abflussregime (Zenger 1998)	2
Abbildung 2: Beispiel für eine Hangbebauung mit talparalleler Riegelwirkung (VM BW 2012) .	3
Abbildung 3: Beispiel für die Blockadewirkung eines Straßendamms (oben) und die Durchlässigkeit einer Brücke (unten) in Bezug auf einen Kaltluftstrom (VM BW 2012).....	3
Abbildung 4 Untersuchungsraum und Topographie.....	5
Abbildung 5 Darstellung der Bestands- und Planungssituation. Bestandsgebäude (weiß), Baugrenzen mit maximaler Bebauungshöhe (orange transparent), Bestandsbäume (grün), Park Schönfeld (grün flächig), Untergrund als Nah-Infrarot dargestellt.	7
Abbildung 6 Differenzbetrachtung der relativen Kaltluflthöhe zwischen Bestand und Planung nach 8 Stunden.....	8
Abbildung 7 Darstellung der Kaltluftschichtdicken für Bestand und Planung nach 1 Stunde.....	9
Abbildung 8 Darstellung der Kaltluftschichtdicken für Bestand und Planung nach 8 Stunden.	10
Abbildung 9 Mittleres Windfeld der Planungssituation bei Anströmung aus Südwest (225 °). Schnitt auf 2 m über Grund.	12
Abbildung 10 Differenzdarstellung der mittleren Windgeschwindigkeit zwischen Planung und Bestand bei Anströmung aus Südwest (225 °). Schnitt 2 m über Grund.	12
Abbildung 11 Mittleres Windfeld der Planungssituation bei Anströmung aus Südwest (225 °). Schnitt auf 15,5 m über Grund.	13
Abbildung 12 Differenzdarstellung der mittleren Windgeschwindigkeit zwischen Planung und Bestand bei Anströmung aus Südwest (225 °). Schnitt 15,5 m über Grund.	13
Abbildung 13 Mittleres Windfeld der Planungssituation bei Anströmung aus Südwest (225 °). Schnitt auf 44 m über Grund.	14
Abbildung 14 Differenzdarstellung der mittleren Windgeschwindigkeit zwischen Planung und Bestand bei Anströmung aus Südwest (225 °). Schnitt 44 m über Grund.	14

VI.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zusammenstellung verschiedener Kaltluftentstehungsraten aus unterschiedlichen Studien in Abhängigkeit zur Art des Untergrunds	3
--	---

VI.3 Literaturverzeichnis

Klimafunktionskarte der Stadt Kassel 2017, Stadt Kassel

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

VDI 2003, Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen, VDI-Richtlinie 3787, Blatt 5

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