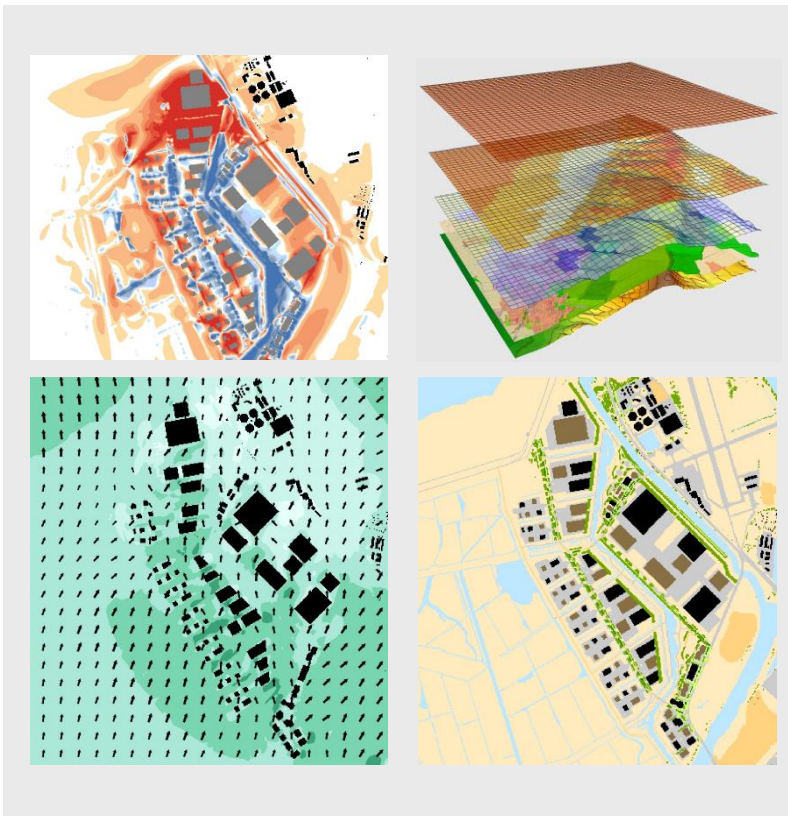


Expertise Klimaökologie: „Gewerbegebiet Lune Delta / Bremerhaven“

Modell-gestützte Analyse des Einflusses der
beabsichtigten Nutzungsänderung auf das Schutzgut Klima



Auftraggeber:

**Bremerhavener Gesellschaft für Investitions-
förderung und Stadtentwicklung mbH**

Am Alten Hafen 118
27568 Bremerhaven

Im Auftrag der BEAN mbH



GEO-NET Umweltconsulting GmbH

Große Pfaßstraße 5a
30161 Hannover

Tel. (0511) 3887200
FAX (0511) 3887201

www.geo-net.de

In Zusammenarbeit mit:



Anerkannt beratender Meteorologe (DMG)

Öffentlich bestellter Gutachter für Immissionsfragen und

Kleinklima der IHK Hannover und Hildesheim

Hannover, Dezember 2020



Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Einleitung | 3 |
| 2 | Methodik | 6 |
| 3 | Stadtklimatische Situation in der Nacht und Beurteilung der Nutzungsänderung | 6 |
| 3.1 | Lufttemperatur in der Nacht | 6 |
| 3.2 | Kaltluftprozessgeschehen in der Nacht..... | 9 |
| 3.3 | Wärmebelastung am Tage | 16 |
| 4 | Schlussfolgerung und planerische Hinweise | 20 |
| 5 | Literatur | 22 |
| 6 | Anhang | 23 |

Abbildungen

| | | |
|---------|---|----|
| ABB. 1: | LUFTBILD-AUSSCHNITT DES UNTERSUCHUNGSGEBIETES IM SÜDWESTTEIL BREMERHAVENS MIT DEM PLANGEBIET (DURCHBROCHEN VIOLETT UMRANDET)..... | 3 |
| ABB. 2: | DIGITALES GELÄNDEMOMELL [HÖHE Ü. NHN.] DES UNTERSUCHUNGSRUMES „GEWERBEGBEIBT LUNEPLATE / BREMERHAVEN“ IN 10 M HORIZONTALER AUFLÖSUNG. DAS PLANGEBIET IST DURCHBROCHEN VIOLETT UMRANDET..... | 4 |
| ABB. 3: | ABBILDUNGEN A) UND B) ZEIGEN DEN STATUS QUO UND DAS PLAN-SZENARIO IM PLANGEBIET (DURCHBROCHEN VIOLETT UMRANDET)..... | 5 |
| ABB. 4: | LUFTTEMPERATUR IM STATUS QUO IN 2 M ÜBER GRUND UM 4 UHR. DAS PLANGEBIET IST DURCHBROCHEN VIOLETT UMRANDET. | 7 |
| ABB. 5: | ÄNDERUNG DER LUFTTEMPERATUR IM PLAN-SZENARIO IM VERGLEICH ZUM STATUS QUO. DAS PLANGEBIET IST DURCHBROCHEN VIOLETT UMRANDET. | 8 |
| ABB. 6: | STRÖMUNGSFELD UND STRÖMUNGSGESCHWINDIGKEIT IM STATUS QUO IN 2 M ÜBER GRUND UM 04 UHR. DAS PLANGEBIET IST DURCHBROCHEN VIOLETT UMRANDET..... | 10 |
| ABB. 7: | ÄNDERUNG DER STRÖMUNGSGESCHWINDIGKEIT IM PLAN-SZENARIO IM VERGLEICH ZUM STATUS QUO. DAS PLANGEBIET IST DURCHBROCHEN VIOLETT UMRANDET..... | 11 |
| ABB. 8: | AUSPRÄGUNG DES KALTLUFTVOLUMENSTROMS IM STATUS QUO UM 04 UHR. DAS PLANGEBIET IST DURCHBROCHEN VIOLETT UMRANDET. | 12 |
| ABB. 9: | ÄNDERUNG DES KALTLUFTVOLUMENSTROMS IM PLAN-SZENARIO IM VERGLEICH ZUM STATUS QUO. DAS PLANGEBIET IST DURCHBROCHEN VIOLETT UMRANDET. | 13 |



| | |
|--|----|
| ABB. 10: AUSPRÄGUNG DER KALTLUFTPRODUKTIONSRATE IM STATUS QUO UM 04 UHR. DAS PLANGEBIET IST DURCHBROCHEN VIOLETT UMRANDET. | 14 |
| ABB. 11: ÄNDERUNG DER KALTLUFTPRODUKTIONSRATE IM PLAN-SZENARIO IM VERGLEICH ZUM STATUS QUO. DAS PLANGEBIET IST DURCHBROCHEN VIOLETT UMRANDET. | 16 |
| ABB. 12: AUSPRÄGUNG DER PET IM STATUS QUO IN 2 M ÜBER GRUND UM 14 UHR. DAS PLANGEBIET IST DURCHBROCHEN VIOLETT UMRANDET. | 17 |
| ABB. 13: ÄNDERUNG DER PET IM PLAN-SZENARIO IM VERGLEICH ZUM STATUS QUO. DAS PLANGEBIET IST DURCHBROCHEN VIOLETT UMRANDET. | 18 |

1 Einleitung

Das im Hinblick auf klimatische Auswirkungen zu untersuchende, ca. 144,5 ha große und im Südwesten Bremerhavens befindliche Plangebiet liegt am Ostrand des Naturschutzgebietes Luneplate im Bundesland Niedersachsen (**Abb. 1**). Es ist durch die Alte Lune im Osten von einem bestehenden Gewerbegebiet abgegrenzt, das den im Jahr 2016 stillgelegten Flugplatz Bremerhaven, die Zentralkläranlage sowie einige kleinere Fachbetriebe einschließt. Im Nordwesten begrenzt das Fahrwasser Außenweser das Untersuchungsgebiet.



Abb. 1: Luftbild-Ausschnitt des Untersuchungsgebietes im Südwestteil Bremerhavens mit dem Plangebiet (durchbrochen violett umrandet).



Der Untersuchungsraum ist kaum von orographischem Gefälle geprägt. Während der nördlich gelegene Deich mit seinen ca. 8 m ü. NHN die höchste Erhebung darstellt, befindet sich das flachste Gelände im Bewertungsraum mit etwa 1 m unter NHN im Bereich der Alten Lune (**Abb. 2 a**). Das Plangebiet selbst befindet sich auf einer Höhe von überwiegend 0 m bis 2 m ü. NHN, welche infolge der Umsetzung des Planvorhabens auf bis zu 3,6 m ü. NHN angehoben wird.

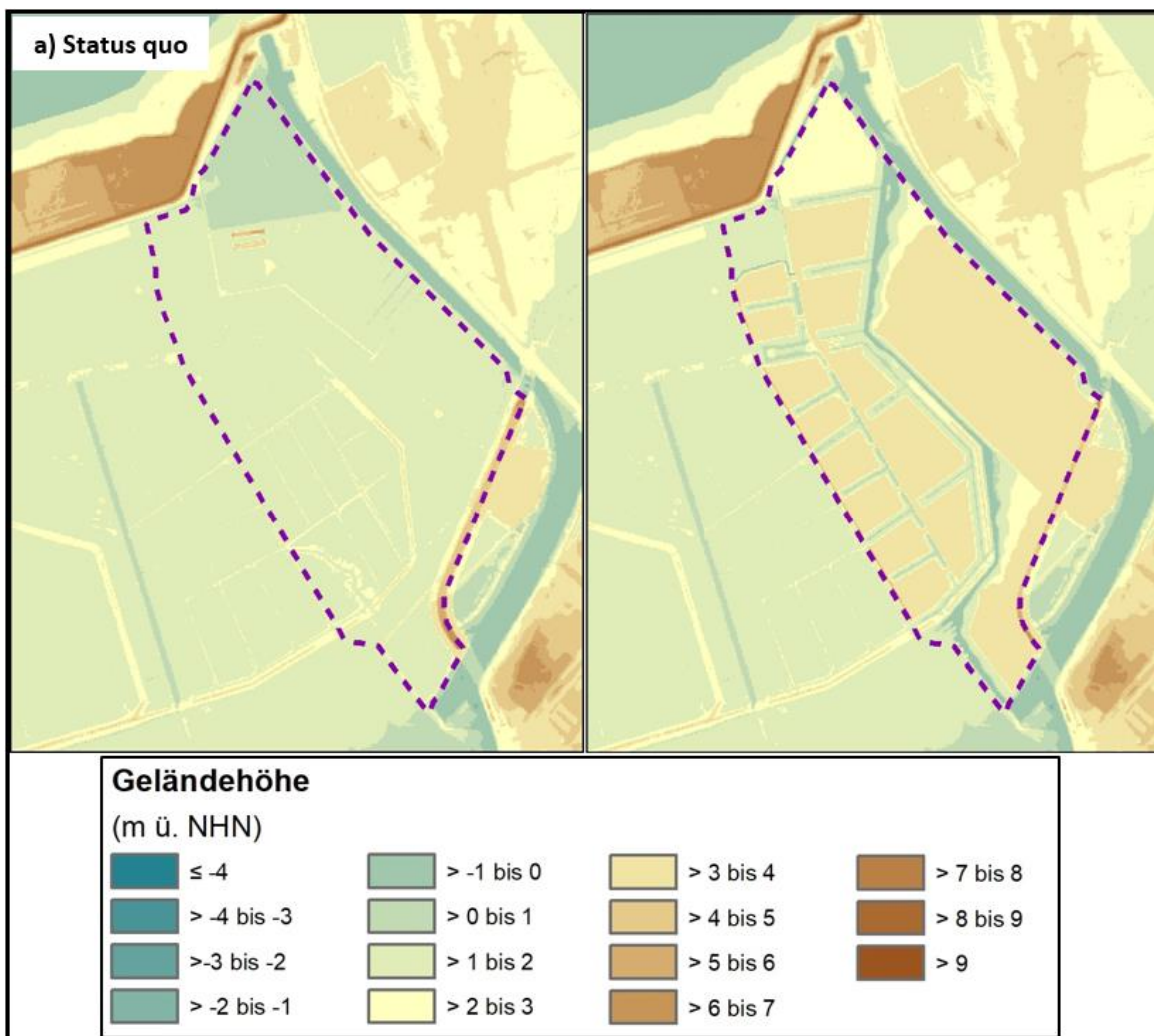


Abb. 2: Digitales Geländemodell [Höhe ü. NHN.] des Untersuchungsraumes „Gewerbegebiet Luneplate / Bremerhaven“ in 10 m horizontaler Auflösung. Das Plangebiet ist durchbrochen violett umrandet.

In der vorliegenden Expertise wird die aktuelle klimaökologische Situation im Plangebiet detailliert betrachtet. Dabei werden anhand eines Entwurfs einer möglichen Bebauung deren Auswirkungen auf die klimaökologischen Funktionen mithilfe von Modellrechnungen untersucht und beurteilt (Grundlage: Entwurf des Übersichtslageplans der Ingenieursgemeinschaft SWECO GmbH, urbanegestalt PartGmbH und CITYFÖRSTER Architecture + urbanism vom 11.05.2020). Weiterhin werden konkrete Planungshinweise gegeben, die eine klimaangepasste Gestaltung unterstützen.

Innerhalb des Plangebietes ist schrittweise der Ausbau von einer Gründungsplanfläche im Süden (Initialcluster), insgesamt 18 Warften verschiedener Flächengrößen sowie gemeinschaftlich genutzter Flächen,

den sog. Commons, vorgesehen (s. **Abb. A 1** im Anhang). Im B-Plan ist auf diesen Flächen eine 50-prozentige Begrünung je Gebäude vorgeschrieben. Dies wird im Modell vereinfacht durch 50 % vollständig begrünte und 50 % unbegrünte Dachflächen umgesetzt – eine Approximation, bei der vergleichbare Ergebnisse zu erwarten sind. Auch bei der Verwirklichung des Gebäudeumfeldes steht eine klimaangepasste Ausgestaltung, u.a. mit schattenspendenden, hitzeresistenten Bäumen, Büschen und sickerungsfähigen Belägen im Fokus. Gleichzeitig ist im Zentrum des Gebiets die Schaffung ein neues Retentionsgewässer geplant, welches ein 30-jähriges Starkregenereignis rückhalten kann und dessen Überläufe in die Lune abgegeben werden. Die Teiche im Norden des Plangebietes werden dagegen zugunsten zweier Warften in voraussichtlich drei B-Planabschnitten im Zeitraum zwischen 20 und 25 Jahren trockengelegt.

In der vorliegenden Analyse werden zwei Modellläufe durchgeführt (**Abb. 3**):

- Status quo (derzeitiger Zustand)
- Plan-Zustand 1 (Umsetzung des Bebauungsplans)

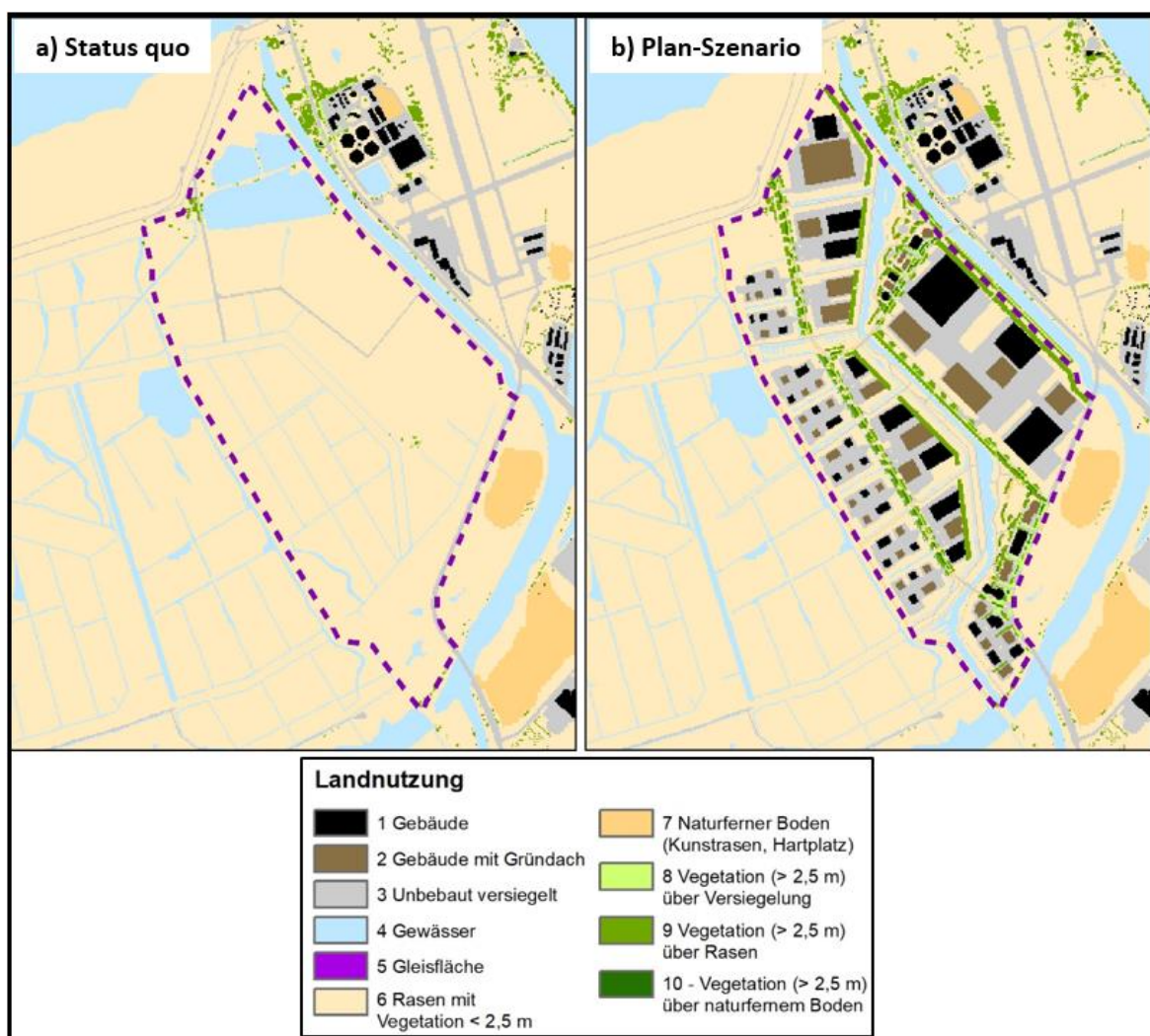


Abb. 3: Abbildungen a) und b) zeigen den Status quo und das Plan-Szenario im Plangebiet (durchbrochen violett umrandet).



Für die modelltechnische Umsetzung des Plan-Zustandes dient als Grundlage neben dem o.g. Übersichtslageplan der Ingenieursgemeinschaft (Stand 11.05.2020) die Broschüre „Lune Delta° - Entwicklungsprinzipien“ (CITYFÖRSTER und urbanegestalt 2018). Anhand dieser Pläne und in enger Abstimmung mit der Bremerhavener Gesellschaft für Investitionsförderung und Stadtentwicklung mbH (BIS) sowie dem Büro urbanegestalt PartGmbH wurde ein Plan-Szenario für das betreffende Gebiet entwickelt (**Abb. 3b**). Der Status quo der Landnutzung ist in **Abb. 3a** einzusehen.

2 Methodik

Bei numerischen Modellen wie FITNAH 3D müssen zur Festlegung und Bearbeitung einer Aufgabenstellung eine Reihe von Eingangsdaten zur Verfügung stehen. Nutzungsstruktur und Geländehöhe sind wichtige Eingangsdaten für die Windfeldmodellierung, da über die Oberflächengestalt, die Höhe der jeweiligen Nutzungsstrukturen sowie deren Versiegelungsgrad das Strömungs- und Temperaturfeld entscheidend beeinflusst wird.

Die Modellrechnung wurde für den Status quo sowie für ein Plan-Szenario durchgeführt, um auf dieser Basis die klimaökologischen Auswirkungen des geplanten Green Economy Gewerbegebiet Lune Delta° auswerten und beurteilen zu können. Das gesamte Untersuchungsgebiet hat bei einer Abmessung von ca. 2,1 km x 2,6 km eine Fläche von etwa 5,43 km². Mit der hohen räumlichen Auflösung von 5 m x 5 m ist es möglich, die Gebäudestrukturen realitätsnah zu erfassen und ihren Einfluss auf den Luftaustausch abzubilden.

Der Analyse liegt eine sommerliche Strahlungswetterlage zugrunde (wolkenloser Himmel, keine übergeordnete Windströmung), da die klimaökologischen Funktionen unter dieser Wetterlage fundiert untersucht werden können.

3 Stadtklimatische Situation in der Nacht und Beurteilung der Nutzungsänderung

Die Ergebnisse der Klimasimulation repräsentieren die Nachtsituation um 4 Uhr morgens sowie die Tagsituation um 14 Uhr. Bei den modellierten Parametern handelt es sich um die bodennahe Lufttemperatur in 2 m Höhe, das bodennahe Kaltluftströmungsfeld in 2 m Höhe, den Kaltluftvolumenstrom und die Kaltluftproduktionsrate (jeweils Nachtsituation) sowie die physiologisch äquivalente Temperatur (PET) als Maß für die Wärmebelastung am Tage.

Die Modellergebnisse werden je Parameter für den Status quo und das Plan-Szenario betrachtet.

3.1 Lufttemperatur in der Nacht

In der Nacht steht weniger der Aufenthalt im Freien, sondern die Möglichkeit eines erholsamen Schlafes im Innenraum im Vordergrund. Nach VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 besteht ein Zusammenhang zwischen



Außen- und Innenraumlufte, sodass die Temperatur der Außenluft die entscheidende Größe für die Beurteilung der Nachtsituation darstellt (VDI 2008). Als optimale Schlaftemperaturen werden gemeinhin 16 - 18 °C angegeben (UBA 2016), während Tropennächte mit einer Minimumtemperatur ≥ 20 °C als besonders belastend gelten. Da der Bewertungsraum jedoch keine Wohnbebauung einschließt, kann in diesem Fall keine Bewertung der Schlafqualität vorgenommen werden. Im Hinblick auf die Umsetzung der Planvariante ist viel mehr darauf zu achten, die Temperaturamplitude im Tagesgang möglichst gering zu halten – ein geringes Ausgangslevel der Temperatur um 4 Uhr nachts kann demzufolge dazu beitragen, nach Sonnenaufgang auch am Tage geringere Tagesmaxima zu erhalten.

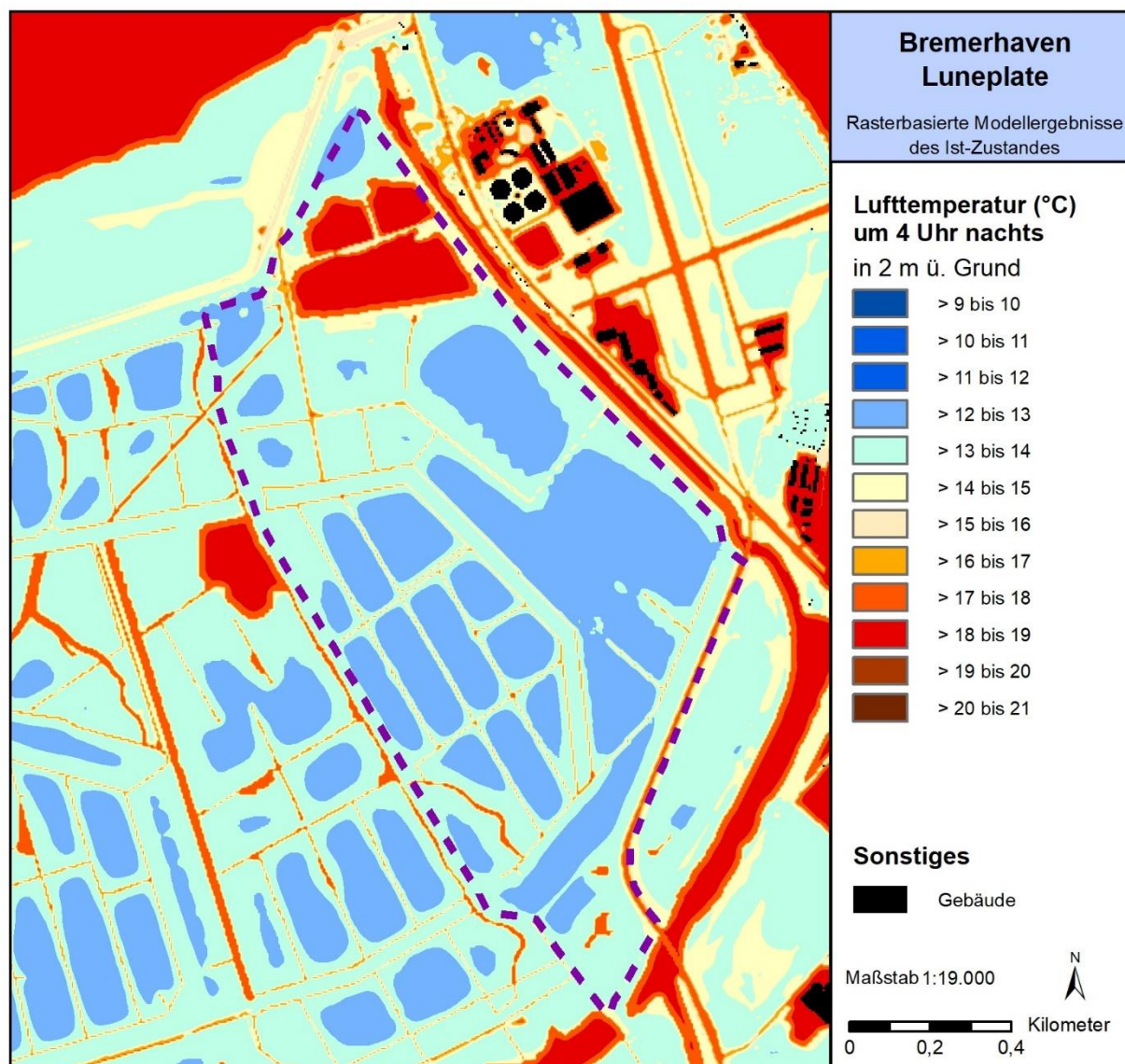


Abb. 4: Lufttemperatur im Status quo in 2 m über Grund um 4 Uhr. Das Plangebiet ist durchbrochen violett umrandet.

Abb. 4 zeigt das Temperaturfeld um 4 Uhr nachts in einer Höhe von 2 m über Grund. Im gegenwärtigen Zustand zeigt sich im Plangebiet eine überwiegend homogene Temperaturverteilung. So herrschen über den Agrarflächen im Osten des Planareals sowie über den Rasenflächen der Luneplate allgemein sehr geringe Temperaturen zwischen 12 und 14 °C. Ausreißer bilden auf diesen freien Flächen die Teiche und



Prile, mit vergleichsweise hohen Temperaturen von 18 – 19 °C, auch die Weser und die Alte Lune liegen innerhalb dieses Temperaturbereichs. Eine Erklärung liegt im verringerten Temperaturtagesgang von Wasser infolge von dessen hoher spezifischer Wärmekapazität.

Höhere Temperaturwerte von überwiegend mehr als 17 °C werden darüber hinaus in den umliegenden Bestandsgewerbearealen erreicht. Der Großteil der versiegelten Oberflächen im Bewertungsraum, wie Straßen oder die Landebahnen des stillgelegten Flughafens, liegen aufgrund ihrer freien Lage etwas unterhalb dieses Temperaturspektrums, bei Werten von 16 °C und darüber.

Abb. 5 zeigt die Änderung der nächtlichen Lufttemperatur von der aktuellen zur geplanten Situation. Auswirkungen beschränken sich weitgehend auf die Planfläche – das bestehende Gewerbegebiet erfährt keinerlei Temperaturänderungen.

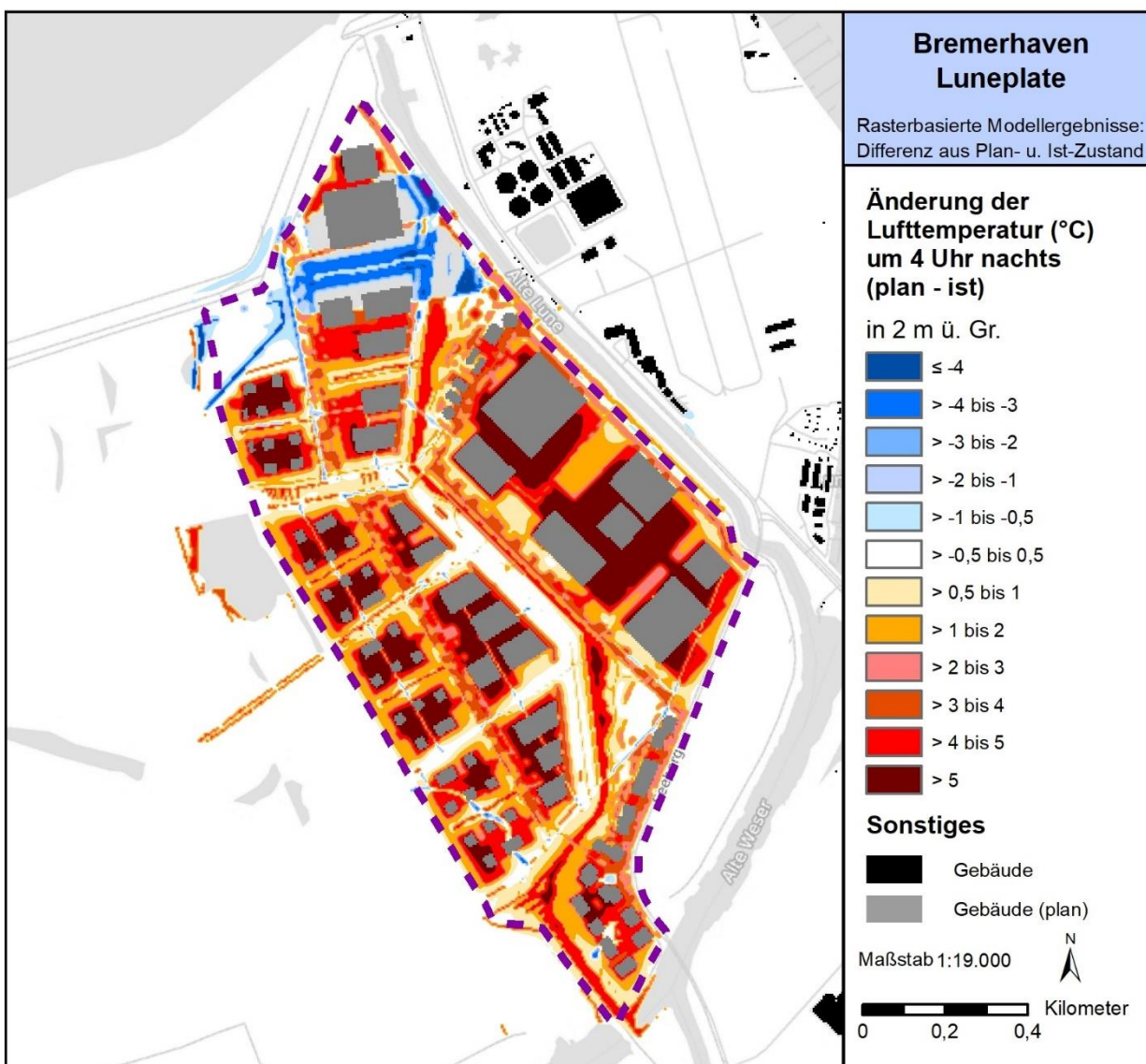


Abb. 5: Änderung der Lufttemperatur im Plan-Szenario im Vergleich zum Status quo. Das Plangebiet ist durchbrochen violett umrandet.

Die Abbildung macht deutlich, dass durch die geplante Bebauung vornehmlich eine deutliche Zunahme der Temperaturwerte zu erwarten ist. Insbesondere gebäudenah und auf den hochversiegelten Infrastrukturwegen der geplanten Gewerbefläche wird eine deutliche Temperaturerhöhung von über 5 K, verglichen mit dem Status quo, erreicht. Baumbestandene oder mit durchlässigeren Materialien geplante Wege wie etwa in den Commons oder entlang der S- und M-Warften bzw. zwischen M- und L-Warften (s. **Abb. A 1** im Anhang) erwärmen sich mit Werten von ca. 2 bis 4 K dagegen viel weniger stark. Zwar hindern Bäume durch ihre Kronendächer die im Boden gespeicherte Wärme daran, in Richtung der Atmosphäre rückzustrahlen, da jedoch tagsüber durch deren Schattenwurf bereits weniger Wärme gespeichert wurde, zeigt sich in den Alleen dennoch der genannte positive Effekt.

In der Nacht sind hindernisarme Grün- und Freiflächen als Ausgleichsflächen essenziell, was auch in der Differenzabbildung der Temperatur ersichtlich wird. Solche Bereiche erwärmen sich, bezogen auf den Status quo nur mäßig mit Temperaturänderungen von 0,5 bis 2 K. Infolgedessen ist insbesondere bei der Planung der Warften geboten, möglichst gering versiegelte Untergründe zu installieren, sofern dies der Flächenfunktion nicht im Wege steht.

Weitere Differenzmaxima, sowohl im Positiven bis über 5 K als auch im Negativen bis unter -4 K sind überall dort auszumachen, wo Wasserflächen erschlossen (Plangewässer) oder trockengelegt wurden (Teiche im Norden des Planareals).

3.2 Kaltluftprozessgeschehen in der Nacht

Die variable bodennahe Lufttemperaturverteilung bedingt horizontale und vertikale Luftdruckunterschiede, die wiederum Auslöser für lokale thermische Windsysteme sind. Die wichtigsten nächtlichen Ausgleichsströmungen dieser Art sind Hangabwinde und Flurwinde. Mit ihrer (dichten) Bebauung stellen Stadtkörper ein Strömungshindernis dar, so dass deren Luftaustausch mit dem Umland eingeschränkt ist. Speziell bei austauschschwachen Wetterlagen wirken sich diese Faktoren bioklimatisch zumeist ungünstig aus, wenn der Siedlungsraum schwach bis gar nicht mehr durchlüftet wird. Daher können die genannten Strömungssysteme durch die Zufuhr kühlerer (und frischer) Luft eine bedeutende klimaökologische (und immissionsökologische) Ausgleichsleistung für Belastungsräume erbringen. Da die potentielle Ausgleichsleistung einer grünbestimmten Fläche nicht allein aus der Geschwindigkeit der Kaltluftströmung resultiert, sondern zu einem wesentlichen Teil durch ihre Mächtigkeit mitbestimmt wird (d.h. durch die Höhe der Kaltluftschicht), wird auch der sogenannte Kaltluftvolumenstrom betrachtet.

Abb. 6 zeigt das zum nächtlichen Analysezeitpunkt ausgeprägte Kaltluftströmungsfeld in zwei Ebenen. Die Strömungsrichtung wird über die Pfeilrichtung in Form von Vektoren abgebildet. Die unterlegten Rasterzellen stellen zudem die Strömungsgeschwindigkeit flächenhaft in Farbstufungen dar. Die Werte beziehen sich auf eine Analysehöhe von 2 m über Grund. Die Geschwindigkeit der Kaltluftströmungen liegt verbreitet zwischen $< 0,1$ m/s bis über 0,5 m/s, wobei deren Dynamik räumlich variiert.

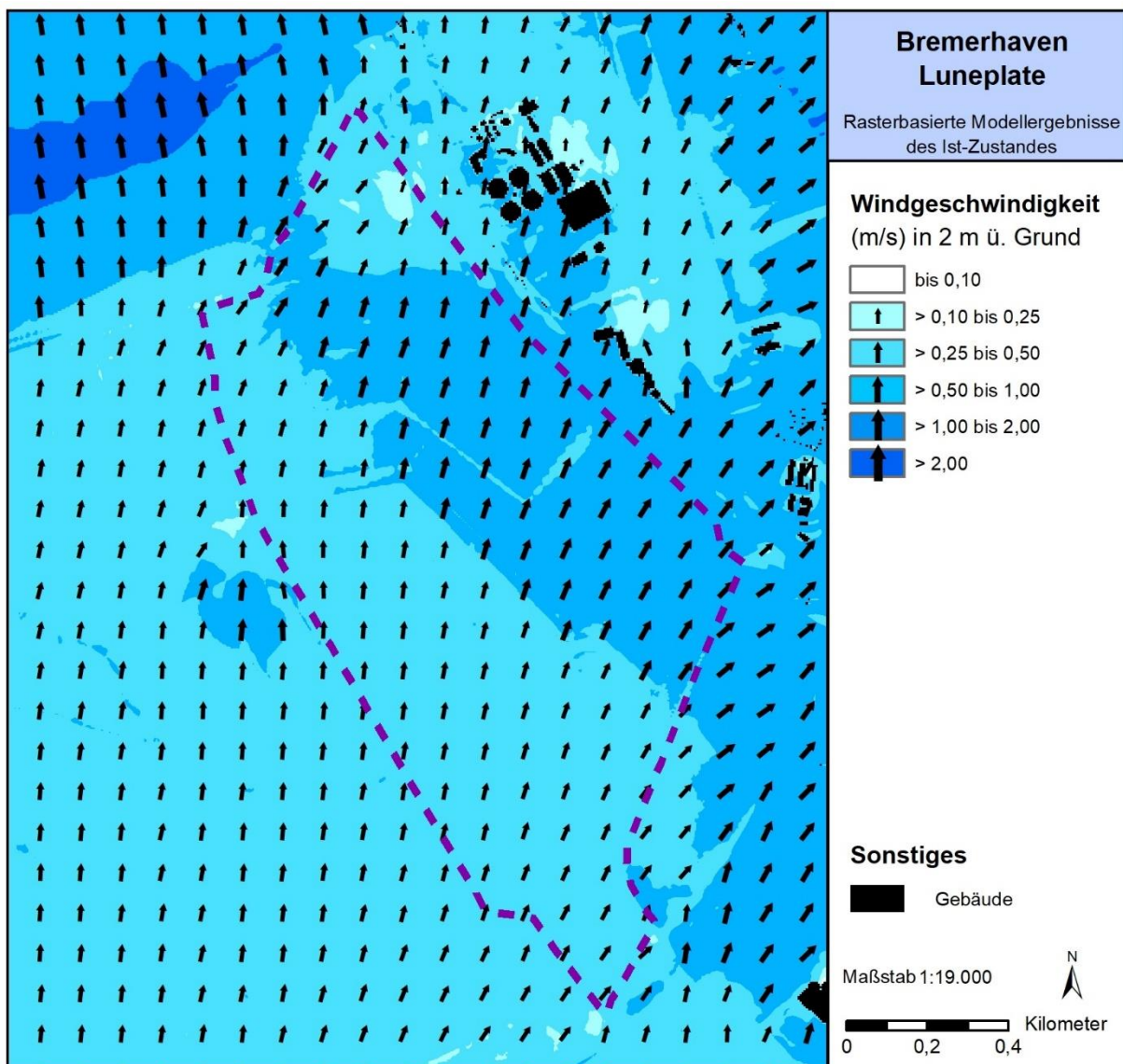
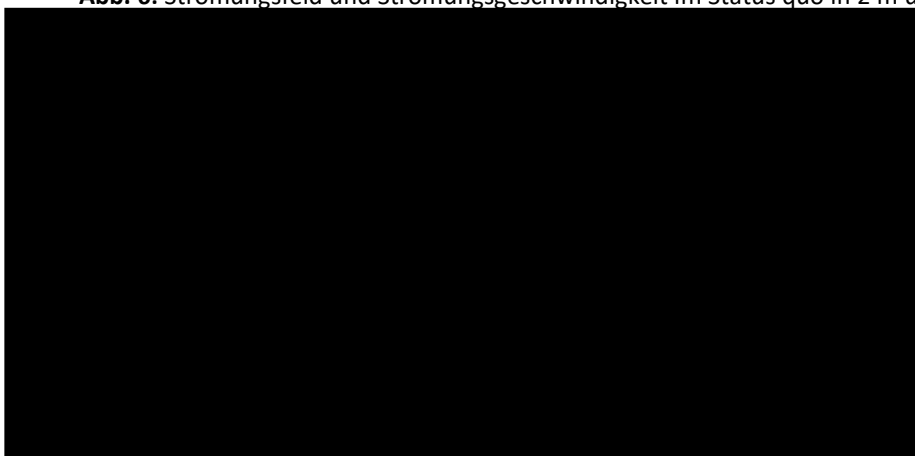


Abb. 6: Strömungsfeld und Strömungsgeschwindigkeit im Status quo in 2 m über Grund um 04 Uhr. Das Plangebiet



ergeren Rauigkeit der Wiesen- und
0,25 m/s und 1 m/s. Im Bereich der
rd-)Osten des Plangebietes frischt
diglich im Lee der Bestandgebäude
von deren Hinderniswirkung gerin-

Status quo und dem Plan-Szenario
lokal erhebliche Veränderungen in

Bezug auf das Strömungsgeschehen zu erwarten sind.

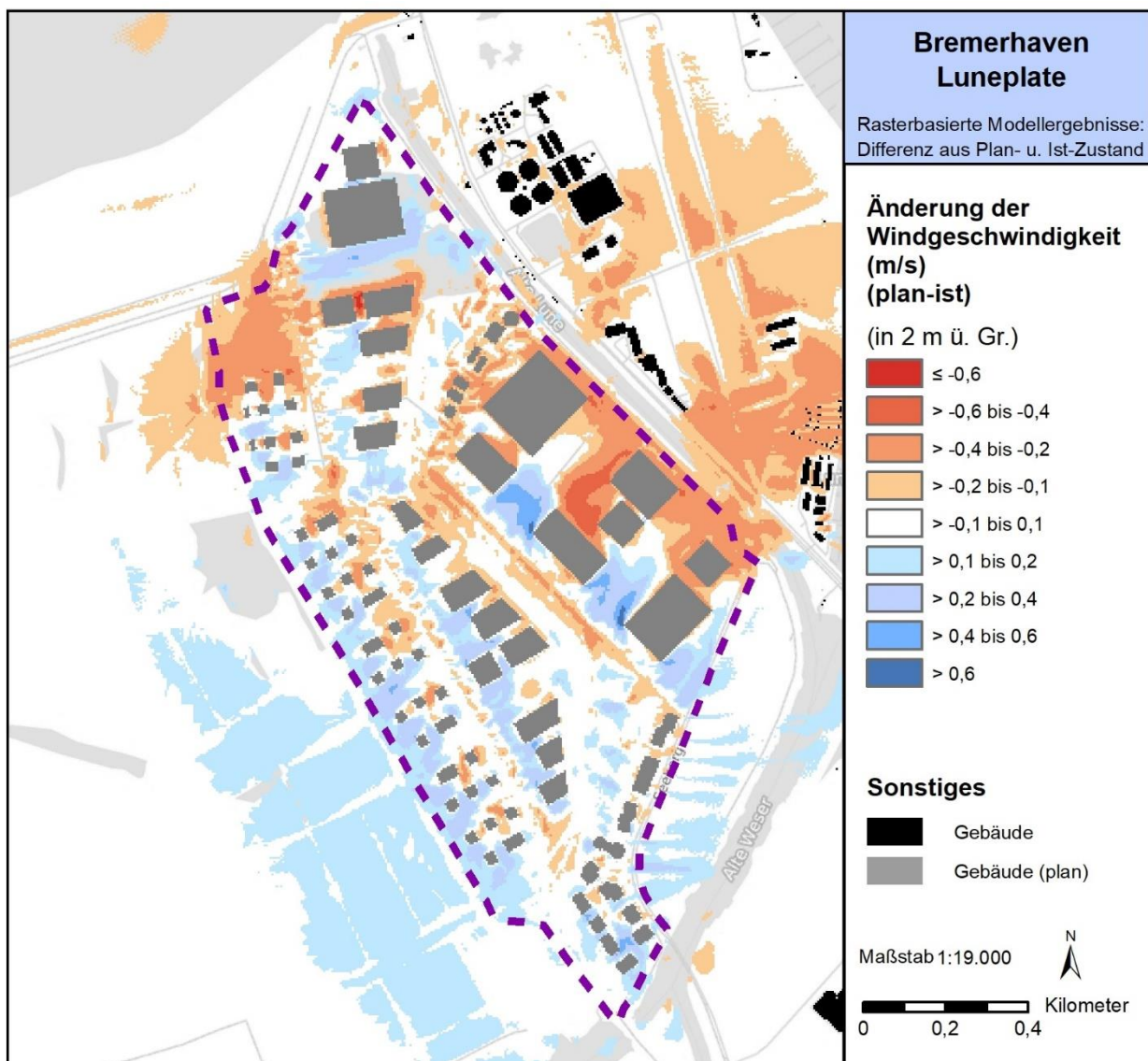


Abb. 7: Änderung der Strömungsgeschwindigkeit im Plan-Szenario im Vergleich zum Status quo. Das Plangebiet ist durchbrochen violett umrandet.

Am Südwestrand des Plangebietes werden die ersten Gebäude der S-Warften mit ihren geringen Flächen- und Höhen noch gut durchströmt – teils ist durch Umlenk- und Kanalisierungseffekte gar eine geringe bis mäßige Erhöhung der Windgeschwindigkeiten um bis zu 0,4 m/s zu beobachten. Während die Strömung durch die Hinderniswirkung der Bäume im Straßenraum anschließend leicht um ca. 0,2 m/s abgebremst wird, nimmt sie in der Folge im Luv der M-Warften wieder zu. Auf deren Leeseite ist in Verbindung mit der nächsten Baumallee wiederum mit einer Abnahme der Strömungsgeschwindigkeit zu rechnen.

Im Bereich der großen Gebäude auf den L-Warften sind die größten Effekte auf das Strömungsgeschehen zu erkennen. Durch die geplante extreme Erhöhung der Baumasse und der Oberflächenversiegelung in diesem Bereich werden große Mengen an Wärme im Material gespeichert, die in der Nacht stetig an hö-



her gelegene Luftschichten abgegeben werden. Um das daraus resultierende bodennahe Luftdefizit auszugleichen, wird dem vergleichsweise kühleren Umfeld Luft entzogen. Die auf diese Weise entstehenden thermischen Winde werden Flurwinde genannt. Diese Sogeffekte, insbesondere auf die L-Warften des Gewerbegebiets, ziehen eine Auffrischung des Strömungsgeschehens nach sich, mit Windgeschwindigkeiten, die teils mehr als 0,6 m/s über denen des Status Quo liegen. Gleichzeitig bremst die Baumasse durch ihre große Rauigkeit die Strömung im Lee wiederum um ca. 0,5 m/s ab. Auch im Windschatten des gesamten geplanten Gewerbegebietes im Bereich des stillgelegten Flughafenareals werden die Windgeschwindigkeiten um weitgehend 0,3 m/s abgeschwächt.

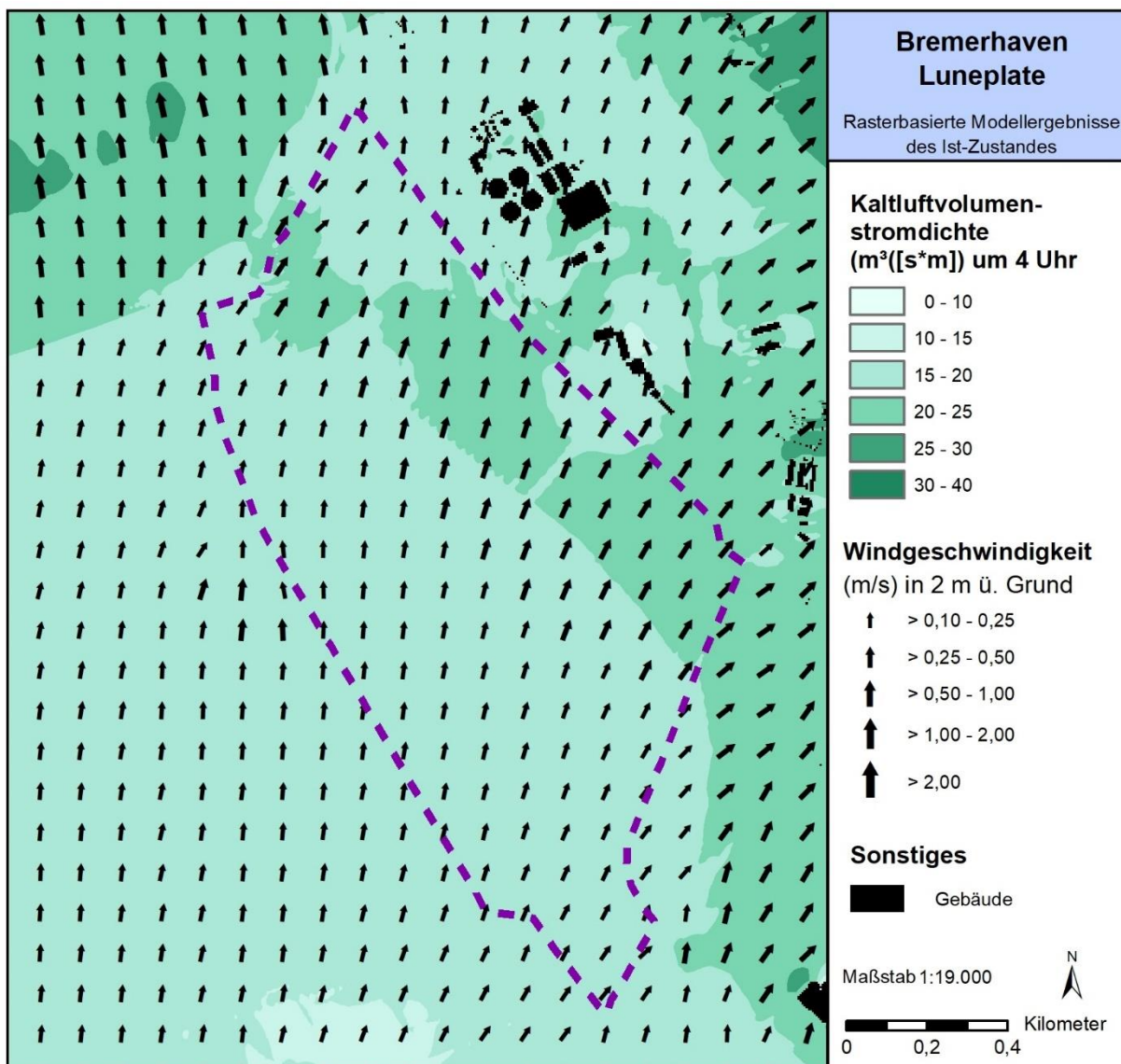


Abb. 8: Ausprägung des Kaltluftvolumenstroms im Status quo um 04 Uhr. Das Plangebiet ist durchbrochen violett umrandet.

Die räumliche Ausprägung des Kaltluftvolumenstroms im Untersuchungsraum geht im Wesentlichen mit der des bodennahen Strömungsfeldes einher (**Abb. 8**). Auf den großräumigen Freiflächen im Untersuchungsgebiet wird Kaltluft produziert und mit der Strömung in Richtung des Bestandsgewerbegebietes



und in Richtung der vergleichsweise warmen Wasserflächen der Weser, der Lune und des Fischereihafenbeckens transportiert. Letztere verursachen aufgrund der Materialeigenschaften von Wasser ebenfalls Flurwinde, ähnlich wie überwärmte Siedlungs- und Gewerbebereiche. Auf dem Festland ist das Feld des modellierten Kaltluftvolumenstroms sehr homogen, bei überwiegenden Werten von $15\text{-}20\text{ m}^3/[\text{s}\cdot\text{m}]$, im nördlichen und östlichen Teil des Planungsgebietes mit maximal $22\text{ m}^3/[\text{s}\cdot\text{m}]$ nur geringfügig höher. Maximale Kaltluftvolumenströme sind im Status quo über der Weser bzw. den Hafenbecken der Fischerei mit $26\text{ m}^3/[\text{s}\cdot\text{m}]$ aufzufinden.

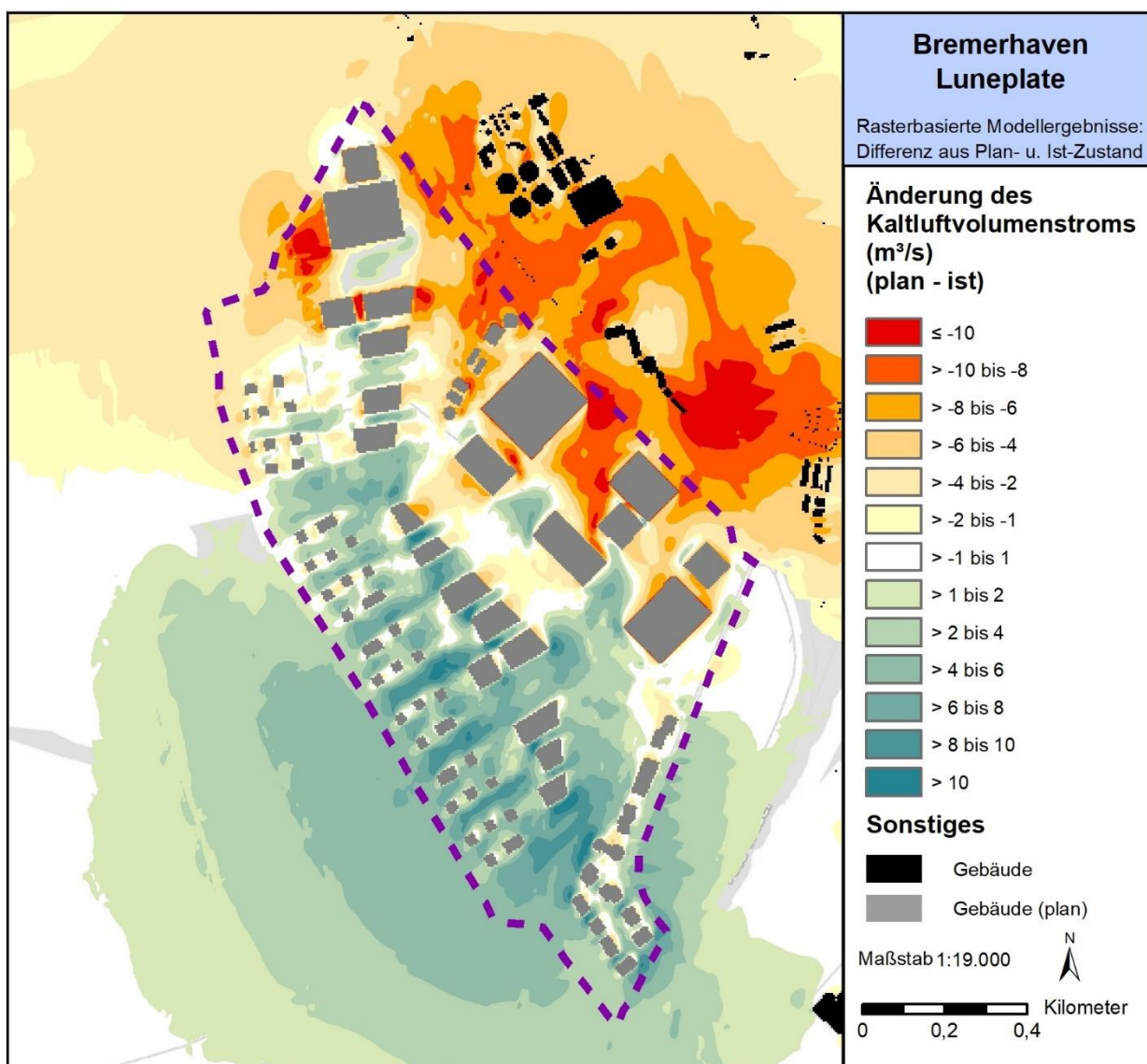
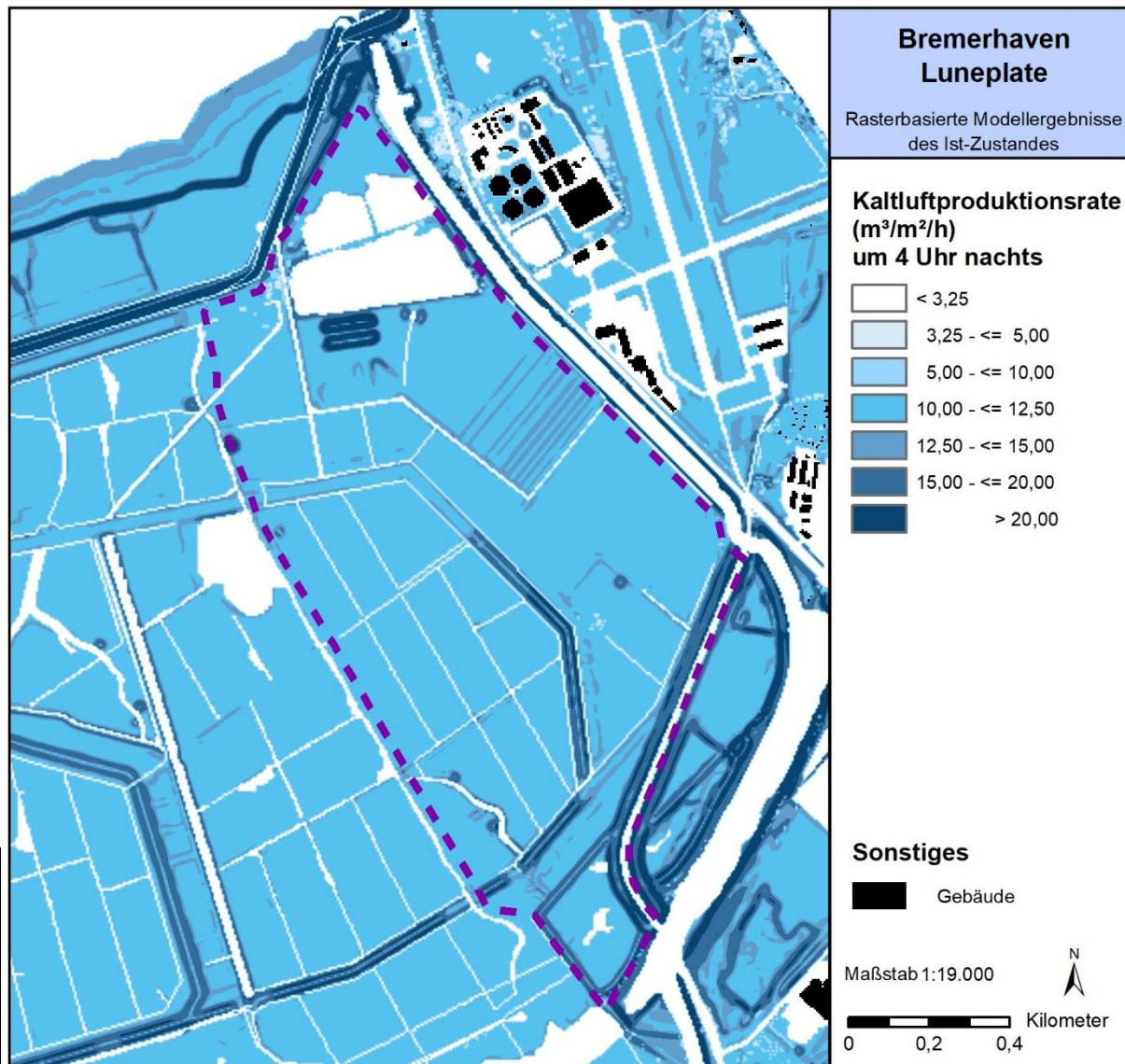


Abb. 9: Änderung des Kaltluftvolumenstroms im Plan-Szenario im Vergleich zum Status quo. Das Plangebiet ist durchbrochen violett umrandet.

Ausgehend vom vorliegenden Entwurf der geplanten Bebauung ist in der Änderung des Kaltluftvolumenstroms (**Abb. 9**) an der strömungszugewandten Südwestseite der Planfläche größtenteils eine Erhöhung des Kaltluftvolumenstroms von überwiegend 4 bis $10\text{ m}^3/[\text{s}\cdot\text{m}]$, im Maximum von über $11,5\text{ m}^3/[\text{s}\cdot\text{m}]$ zu erwarten. Wie beim Windfeld führen auch beim Feld des Kaltluftvolumenstroms die von West nach Ost



größer werdenden Gebäude sowie die zunehmende Versiegelung der Untergründe durch ihre Rauigkeit zu einer Abschwächung, die im Bereich des Bestandsgewerbegebietes mit einer negativen Änderung von etwa $12 \text{ m}^3/[\text{s} \cdot \text{m}]$ ihr Maximum erreicht. Da jedoch weder im Untersuchungsraum, noch in dessen unmittelbarer Umgebung Wohnbebauung vorliegt, deren Bewohner von Kaltluftvolumenströmen profitieren könnten, ist den genannten nächtlichen Parametern bei der abschließenden Beurteilung des geplanten Bauvorhabens eine untergeordnete Rolle zuzuschreiben.



Das Plangebiet ist durchbrochen violett

Das Untersuchungsgebiet zusätzlich Kalt-
wie viele Kubikmeter Luft sich pro

Quadratmeter innerhalb einer Stunde lokal durch Ausstrahlung abgekühlt haben. Die Abkühlungsrate hängt unter anderem von der Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität des Bodens ab. Für die Berech-



nung der Kaltluftproduktionsraten sind somit Kenntnisse über die thermischen Eigenschaften des Untergrundes von großer Bedeutung. In der hier durchgeführten Modellsimulation wurden einheitliche thermische Eigenschaften für den nicht versiegelten Untergrund angenommen, sodass das Wertefeld der Kaltluftproduktionsrate eine starke Abhängigkeit von der jeweiligen vergebenen Landnutzungs-kategorie aufweist (s. **Abb. 10**). Kaltluftproduktion ist überdies stark reliefbedingt, weshalb auf dem überwiegend flachen und homogenen Gelände des Untersuchungsraumes die Deichbereiche und Luneböschungen die größten Werte der Kaltluftproduktion mit mehr als $20 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ aufweisen. Die Wiesen, Weiden und Ackerflächen des Naturschutzgebietes Luneplate und des Plangebietes sowie die Freiflächen des stillgelegten Flughafengeländes produzieren Kaltluft im Bereich von 10 bis $12,5 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$. Auf versiegelten Flächen, wie Straßen, den Landesbahnen des Flughafen oder auf Wasserflächen wird keine Kaltluft produziert.

In **Abb. 11** ist die Änderung der Kaltluftproduktionsrate nach Umsetzung des geplanten Gewerbegebietes aufgetragen, welche sich nahezu ausschließlich auf den Bereich der Planfläche beschränkt. Die Aufschüttung der Warften auf bis zu $3,6 \text{ m}$ ü. NHN verursacht einerseits an deren Rändern eine Erhöhung der Kaltluftproduktionsrate um im Mittel $10\text{-}15 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$, im Maximum im Bereich der extremen Nutzungsänderung von Gewässer zu versiegelter Fläche um teils über $20 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$. Andererseits sind überall dort, wo Wiesen- oder Freiflächen (teil-)versiegelt wurden, Abnahmen der Kaltluftproduktionsrate festzustellen, mit einem Maximum von bis zu $30 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ weniger produzierter Kaltluft in der zweitnördlichsten M-Warft; im Mittel ist infolge der Umsetzung des geplanten Gewerbegebietes mit einer Abnahme zwischen 5 und $15 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ zu rechnen.

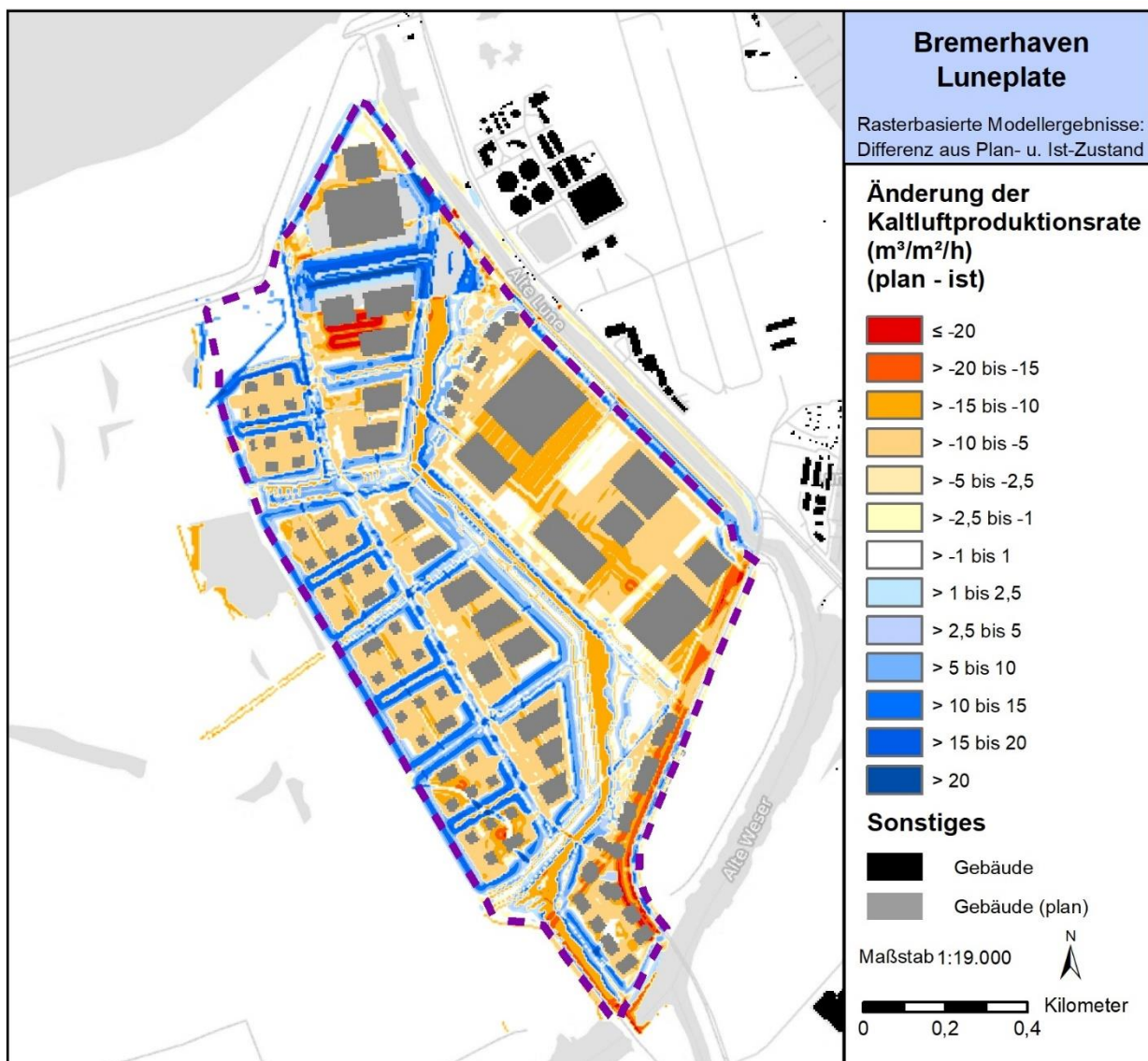


Abb. 11: Änderung der Kaltluftproduktionsrate im Plan-Szenario im Vergleich zum Status quo. Das Plangebiet ist durchbrochen violett umrandet.

3.3 Wärmebelastung am Tage

Neben der nächtlichen klimaökologischen Gunstwirkung der aktuellen Freiflächen im Untersuchungsgebiet ist überdies die auf Angestellte und Arbeiter des geplanten Gewerbegebietes einwirkende Wärmebelastung am Tage abzuschätzen und durch klimaangepasste Maßnahmen einzudämmen. Zur Bewertung der Wärmebelastung werden Indizes verwendet, die Aussagen zur Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit sowie zu kurz- und langwelligen Strahlungsflüssen kombinieren. In Modellen wird der Wärmeaustausch einer „Norm-Person“ mit seiner Umgebung berechnet und die Wärmebelastung eines Menschen abgeschätzt. Zur Bewertung der Tagsituation wird der human-bioklimatische Index PET (Physiologisch Äquivalente Temperatur) um 14 Uhr herangezogen (Matzarakis und Mayer 1996). Für die



PET existiert in der VDI-Richtlinie 3787, Blatt 9 eine absolute Bewertungsskala, die das thermische Empfinden quantifiziert (siehe Tabelle A 1 im Anhang, VDI 2004).

Abb. 12 zeigt die Verteilung der PET um 14 Uhr in 1,1 m über Grund für die derzeitige Situation.

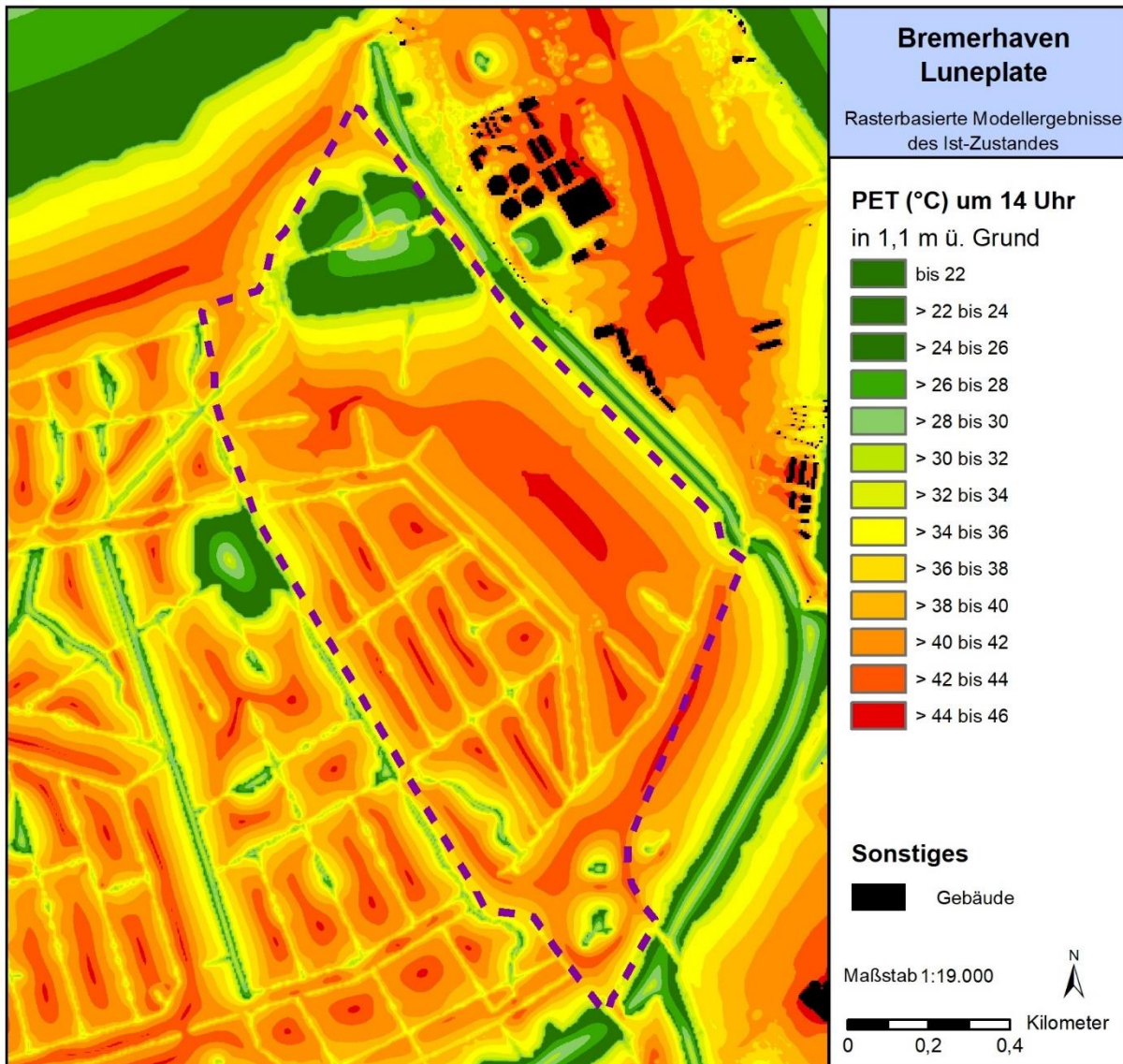


Abb. 12: Ausprägung der PET im Status quo in 1,1 m über Grund um 14 Uhr. Das Plangebiet ist durchbrochen violett umrandet.

Innerhalb des Untersuchungsgebietes zeigen, konträr zur Nachtsituation, die freien Flächen der Luneplate und der Landebahnen des Flughafens mit maximal ca. 45 °C die höchsten und die Gewässer von Lune, Weser und Hafenbecken sowie die Prile und Teiche im Untersuchungsraum mit teils unter 22 °C die geringsten PET-Werte an. Auch stark versiegelte Flächen wie das Bestandsgewerbegebiet im Nordosten neigen durch deren Materialeigenschaften dazu, solare Einstrahlung als Wärme zu binden. Mehrfachreflexionen zwischen versiegelten Untergründen und der Gebäudefassade verstärken diesen Effekt, sodass phasenweise stattfindende Verschattungen durch die Gebäude selbst die Umgebungstemperatur der Luft



nur unzureichend abkühlen können. Schattenspendende Bäume im Untersuchungsgebiet, etwa im Osten der Zentralkläranlage, kühlen die PET bodennah auf Werte um 30 bis 34 °C herunter.

Im Zuge der Realisierung des geplanten Gewerbegebietes wird die PET auf und im Umfeld der Planfläche modifiziert (**Abb. 13**).

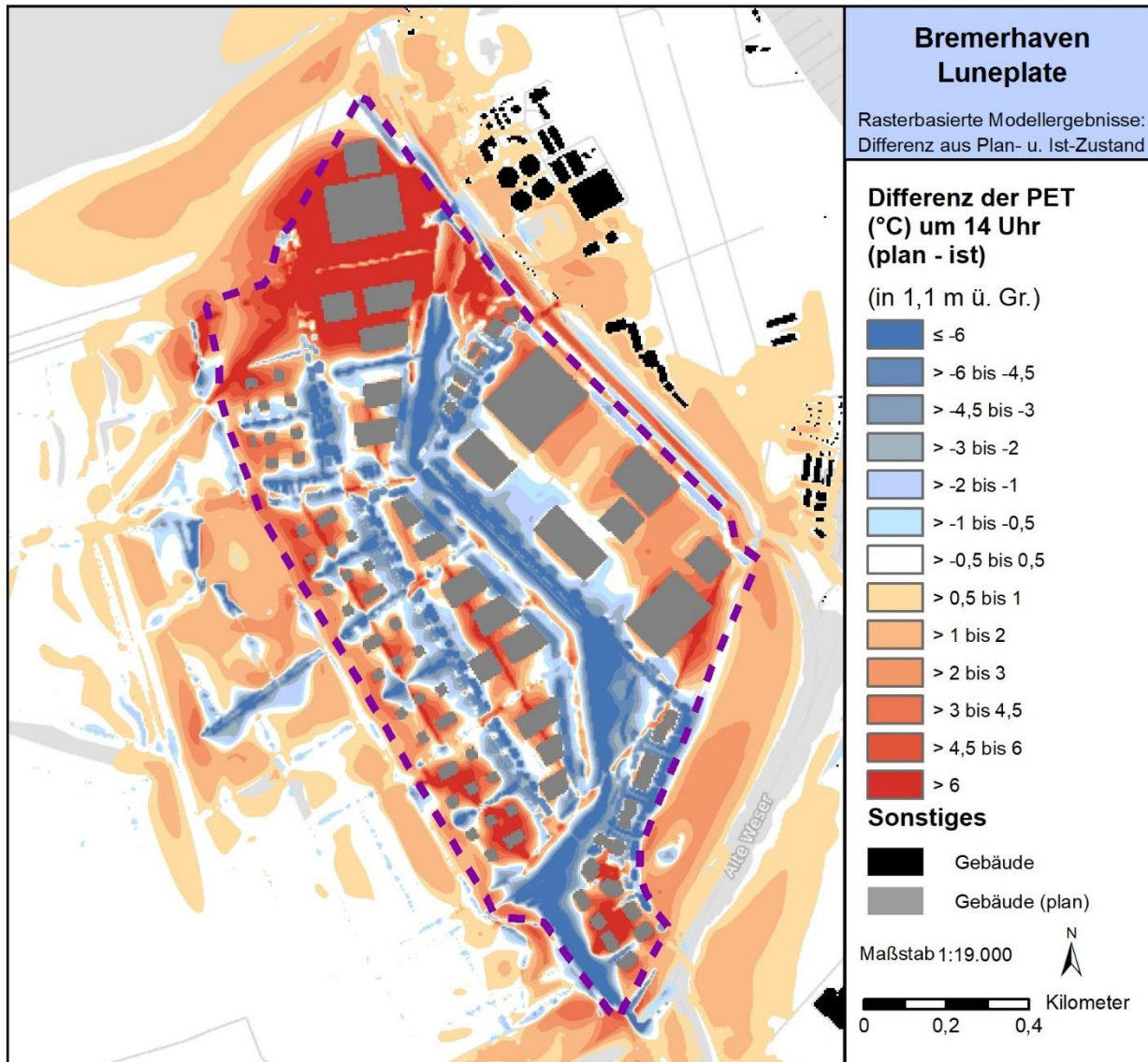
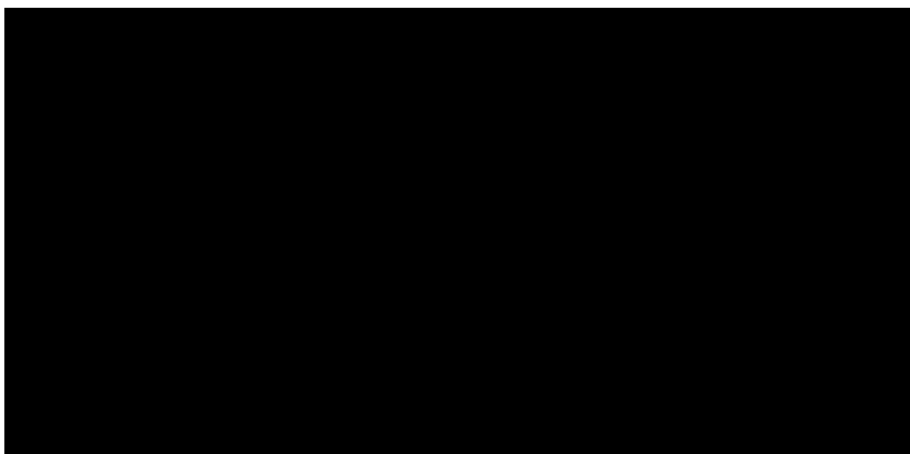


Abb. 13: Änderung der PET im Plan-Szenario im Vergleich zum Status quo. Das Plangebiet ist durchbrochen violett umrandet.

Positiv treten diejenigen von Frei- auf Wasserfläche umgenutzten Areale des im Plangebiet vorgesehenen Gewässers hervor, mit einer PET-Verringerung von weit über 6 K. Mit seiner vielfältigen, mikroklimatischen Ausgestaltung mit Schilfen, Büschen und Bäumen stellt dieser Bereich eine für die Arbeiter im neuen Gewerbegebiet wertvolle Ausgleichsfläche dar. Auch in den Straßenräumen wird durch großkronige, hitzeresistente Bäume bei im Mittel 4 bis 5 K geringeren PET-Werten im Vergleich zum Status quo ein angenehmes Umfeld geschaffen. Für die Planung der Warften selbst lag für diese Klimamodellierung



noch keine konkrete Ausgestaltung vor, sodass hierfür nur approximierte Gebäude, versiegelte Zufahrtswege und Freiflächen eingefügt wurden. Die Differenzkarte macht deutlich, dass auch bei der Landschaftsplanung in diesen Bereichen auf eine große Mikroklimavielfalt mit schattenspendenden Bäumen, Büschen und möglichst unversiegelten Oberflächen zu achten ist, da die Warften und der Initialcluster in ihrer momentanen, vereinfachten Ausgestaltung sehr hohe Temperaturzunahmen im Vergleich zum Ist-Zustand vorzuweisen haben. So werden vielerorts, etwa in großen Teilen der S- und M-Warften, aber auch in den L-Warften und dem Initialcluster PET-Erhöhungen von mindestens 1 K, oftmals aber weit über 6 K berechnet. Aufgrund der extremen Nutzungsänderung im Plangebiet, etwa von Teichen auf ein gebäudebestandenes, versiegeltes Umfeld wie im Norden des Untersuchungsgebietes vorgesehen, ist ein Vergleich von Plan- und Istzustand, der dementsprechend sehr große PET-Differenzen aufweist, zur klimaökologischen Bewertung nicht immer geeignet. In diesen Teilen des Untersuchungsgebietes sollte unterstützend die PET-Karte des Planzustandes hinzugezogen werden, um die Absolutwerte der PET mit ähnlich ausgestalteten Arealen zu vergleichen (vgl. **Abb. A 2** im Anhang). Hierbei wird ersichtlich, dass die Absolutwerte der PET in der nördlichsten L-Warft durchaus mit denen der darunterliegenden M-Warften zu vergleichen sind und daher beide Bereiche vergleichbare Klimaadaptionsmaßnahmen erfordern. Neben der Abbildung der PET im Planzustand sind alle weiteren modellierten Parameter des Planzustandes ebenfalls im Anhang zu finden (**Abb. A 3 bis A 6**).





4 Schlussfolgerung und planerische Hinweise

Die Planfläche, auf der die Umsetzung des Gewerbegebiets „Green Economy Gewerbegebiet Lune Delta“ angedacht ist, befindet sich am östlichen Rand des Naturschutzgebietes Luneplate inmitten von Agrarflächen. Aufgrund deren Lage fernab von bewohntem Siedlungsbereich, sind klimaökologische Auswirkungen ausschließlich auf das nordöstlich gelegene Bestandgewerbegebiet sowie auf die Arbeiter im Plangebiet selbst zu bewerten. Sofern Arbeiten im neuen Gewerbegebiet vorzugsweise tagsüber stattfinden, ist daher die Tagsituation und somit das Feld der PET priorisiert zu betrachten. Da durch ein ausgeprägtes nächtliches Kaltluftgeschehen im unmittelbaren Umfeld des zu erschließenden Gewerbebestands eine allgemeine Absenkung der Temperaturamplitude im Tagesgang erreicht werden kann, ist die Analyse der Änderung der nächtlichen Parameter im Zuge der Baumaßnahmen dennoch von großer Wichtigkeit.

Durch die geringe natürliche Verschattung werden aktuell nahezu überall im Untersuchungsgebiet am Tage sehr hohe PET-Werte erreicht. Eine Ausnahme bilden die Wasserflächen der Lune, der Weser und von Teichen sowie Prilen im Untersuchungsgebiet, in deren Nähe sich die PET deutlich absenkt. Aufgrund des neu geschaffenen Gewässers durch das Plangebiet werden in Zukunft für die Mitarbeiter des Gewerbegebietes ebenfalls kühle Rückzugsorte angeboten, deren Qualität durch Bäume, Büsche und Schilf im Uferbereich nochmals angehoben wird. Dennoch wird zusätzlich der Anteil versiegelter Bereiche im Plangebiet vergrößert, der lokal, im Vergleich zum Status quo, auch zu einer Verschlechterung der Aufenthaltsqualität am Tage beitragen wird. Da diese teils extremen Verschlechterungen mancherorts zwangsläufig aus einer Nutzungsintensivierung von Gewässer zu Gewerbe resultieren und eine hohe Aufenthaltsgüte aufgrund der besonderen Nutzungserfordernisse an Gewerbe oftmals nicht gegeben ist, ist die momentan beabsichtigte Landschaftsplanung als sehr positiv hervorzuheben.

In der Nacht ist durch die zu erwartende Vergrößerung des Bauvolumens und die dadurch erhöhte Wärmespeicherung ebenfalls mit höheren Temperaturen zu rechnen. Dabei muss jedoch beachtet werden, dass die Entwurfskonzepte der Warften und des Initialclusters noch keine detaillierten Grünplanungen enthalten, sodass die Überwärmung durch geeignete Grünmaßnahmen noch gemindert werden könnte. Die grün ausgestalteten Uferbereiche der Lune und die mit durchlässigen Belägen und Alleebäumen geplanten Straßen im Planareal, insbesondere im Bereich der Commons, wirken sich positiv auf die nächtlichen Temperaturen in der Umgebung aus. Durch die erhöhte Rauigkeit infolge der neuen Gebäude ist im Plangebiet indes mit Umlenkungen und Einschränkungen des Kaltluftströmungsfeldes zu rechnen.

Bevor im Folgenden Planungshinweise formuliert werden, ist festzuhalten, dass sich die Bereiche, in denen die Landschaftsplanung weitgehend abgeschlossen ist, wie das Luneufer oder die Commons, nahe dem Optimum der klimaökologischen Planung befinden. Die Hinweise beziehen sich daher vornehmlich auf die bisher ohne detaillierte Grünplanungen versehenen Warftbereiche:

- **Versiegelung so gering wie möglich halten** (mögliche Synergieeffekte: Regenwasserrückhalt)
 - Parkplätze nach Möglichkeit teilversiegelt gestalten (Rasengittersteine, etc.)



- Nicht für den Verkehr benötigte Flächen freihalten (Rasen)
- **Begrünung**
 - Parkplätze und Wege mit Bäumen begrünen (Verschattung)
- **Gebäude**
 - Bauvolumen so gering wie möglich halten (Aufrechterhaltung des Kaltluftströmungsfeldes)
 - Gebäudeausrichtung möglichst längs zur Strömungsrichtung (Nord-Süd)
 - (vorzugsweise intensive) Dachbegrünung (positive Effekte auf das Außenraumklima in Dach-niveau insb. am Tage, mögliche Synergieeffekte: Regenwasserrückhalt, Gebäudeenergie, Bio-diversität)
 - Außenliegender Sonnenschutz / Verschattungselemente an den Gebäuden
 - Dämmung der Gebäudehülle (Hitzeschutz, Synergieeffekte: Gebäudeenergie)
 - Wenn möglich Fassadenbegrünung der Süd-/Südwestfassaden (positive Effekte auf das Außen- und Innenraumklima, mögliche Synergieeffekte: Lärmschutz, Luftreinhaltung, Biodiversität)
 - Einsatz von Materialien mit geringer Erwärmung prüfen (Dachflächen ohne Begrünung mit hellen Materialien (höhere Albedo), sofern möglich natürliche Baumaterialien verwenden (bspw. Holz))



5 Literatur

CITYFÖRSTER UND URBANEGESTALT 2018: LUNE DELTA° – ENTWICKLUNGSPRINZIPIEN

MATZARAKIS, A. UND H. MAYER 1996: Another kind of environmental stress: Thermal stress. WHO Newsletter No. 18: 7-10

UBA 2016: Heizen, Raumtemperatur, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/umweltbewusstleben/heizen-raumtemperatur (13.10.2020).

VDI 2008: VDI-Richtlinie 3787 Blatt 2. Umweltmeteorologie. Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung. Teil I: Klima, Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.

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

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

Im Auftrag der

Bremerhavener Gesellschaft für Investitionsförderung und Stadtentwicklung mbH

Am Alten Hafen 118

27568 Bremerhaven

GEO-NET Umweltconsulting GmbH

Hannover, den 11.12.2020

Die Erstellung der Klimaexpertise erfolgte entsprechend dem Stand der Technik nach besten Wissen und Gewissen. Die Klimaexpertise bleibt bis zur Abnahme und Bezahlung alleiniges Eigentum des Auftragnehmers. Eigentum und Nutzungsrecht liegen bei den Auftraggebern.

6 Anhang

Tab. A 1: Zuordnung von Schwellenwerten für den Bewertungsindex PET in den Tagesstunden (Auszug nach VDI 2004).

| PET | Thermisches Empfinden | Physiologische Belastungsstufe |
|-------|-----------------------|--------------------------------|
| 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 |

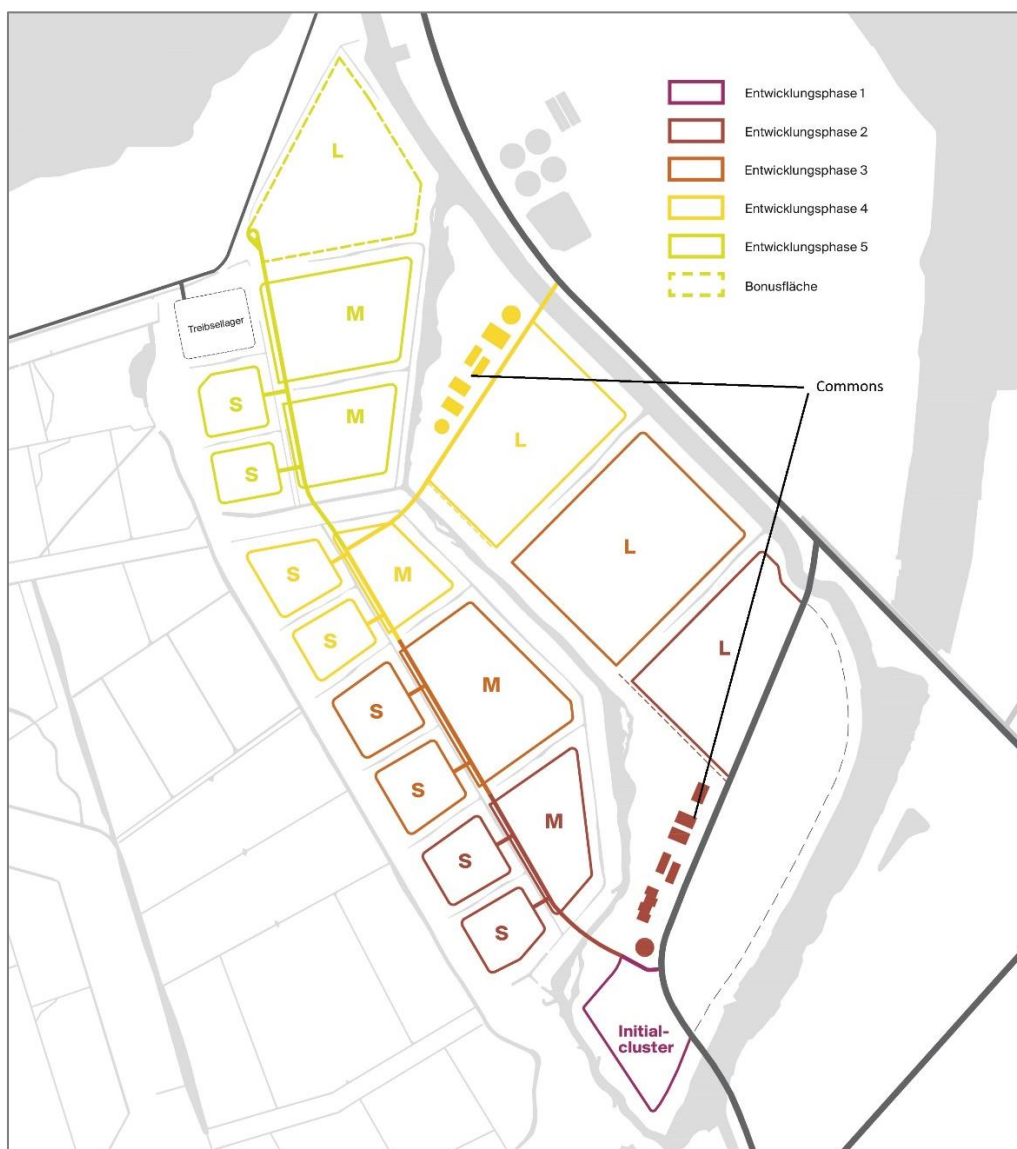


Abb. A 1: Entwicklungsphasen und Aufteilung des Gewerbegebietes Lune Delta° in S-, M- und L-Warften, den Initial-cluster und die Commons (nach CITYFÖRSTER und urbanegestalt 2018, modifiziert).

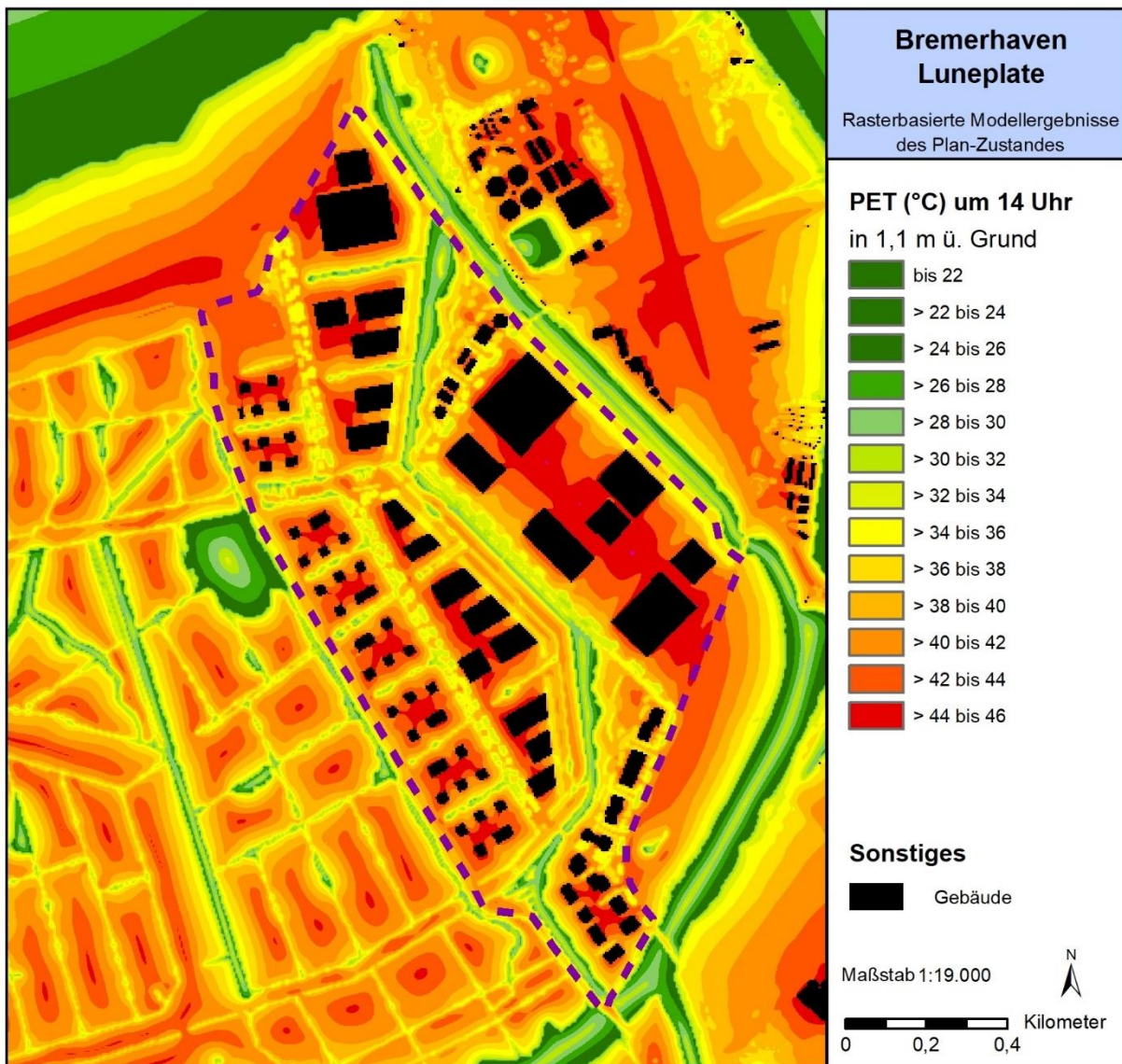


Abb. A 2: Ausprägung der PET im Planzustand in 1,1 m über Grund um 14 Uhr. Das Plangebiet ist durchbrochen violett umrandet.

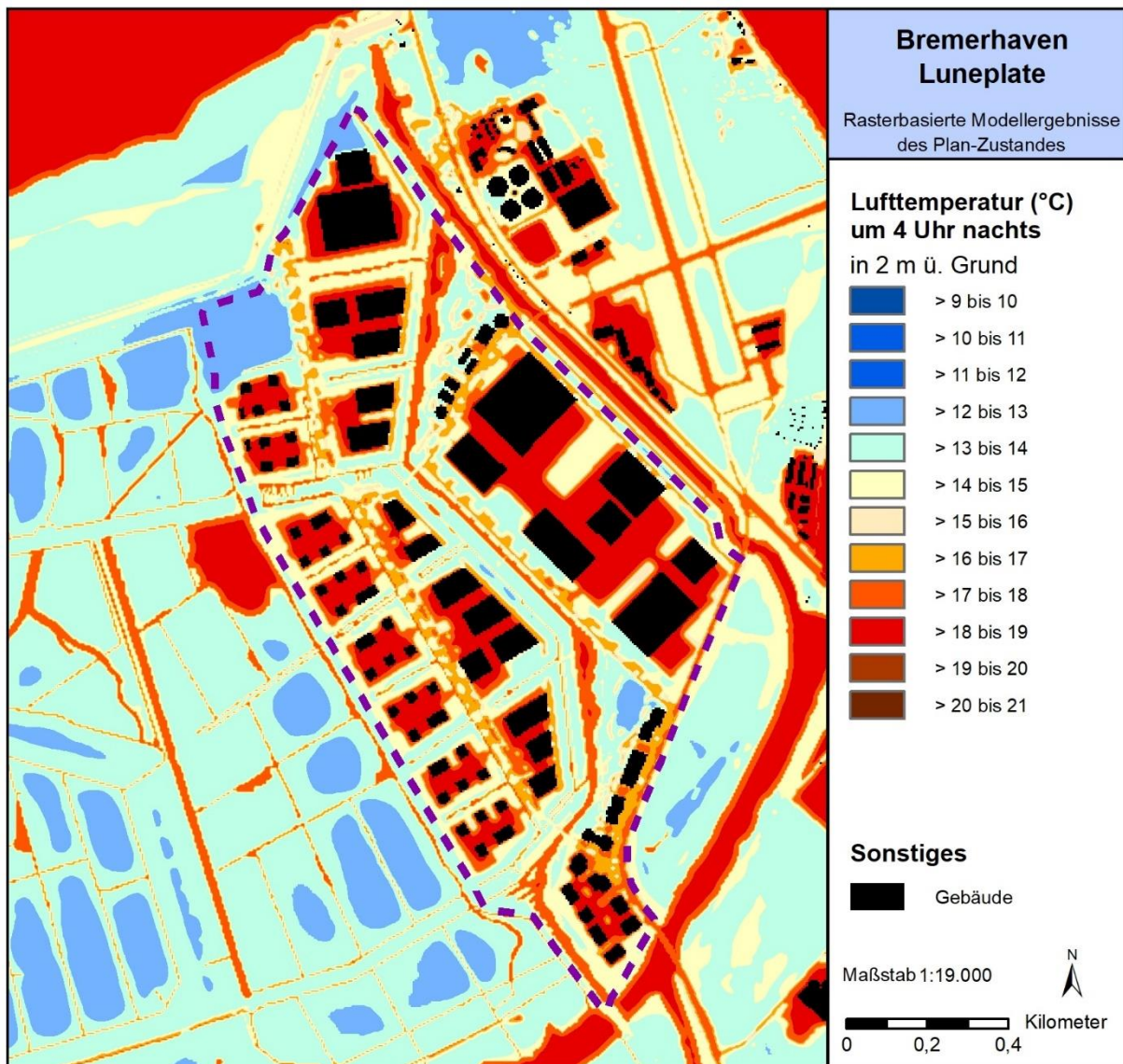


Abb. A 3: Lufttemperatur im Planzustand in 2 m über Grund um 4 Uhr. Das Plangebiet ist durchbrochen violett umrandet.

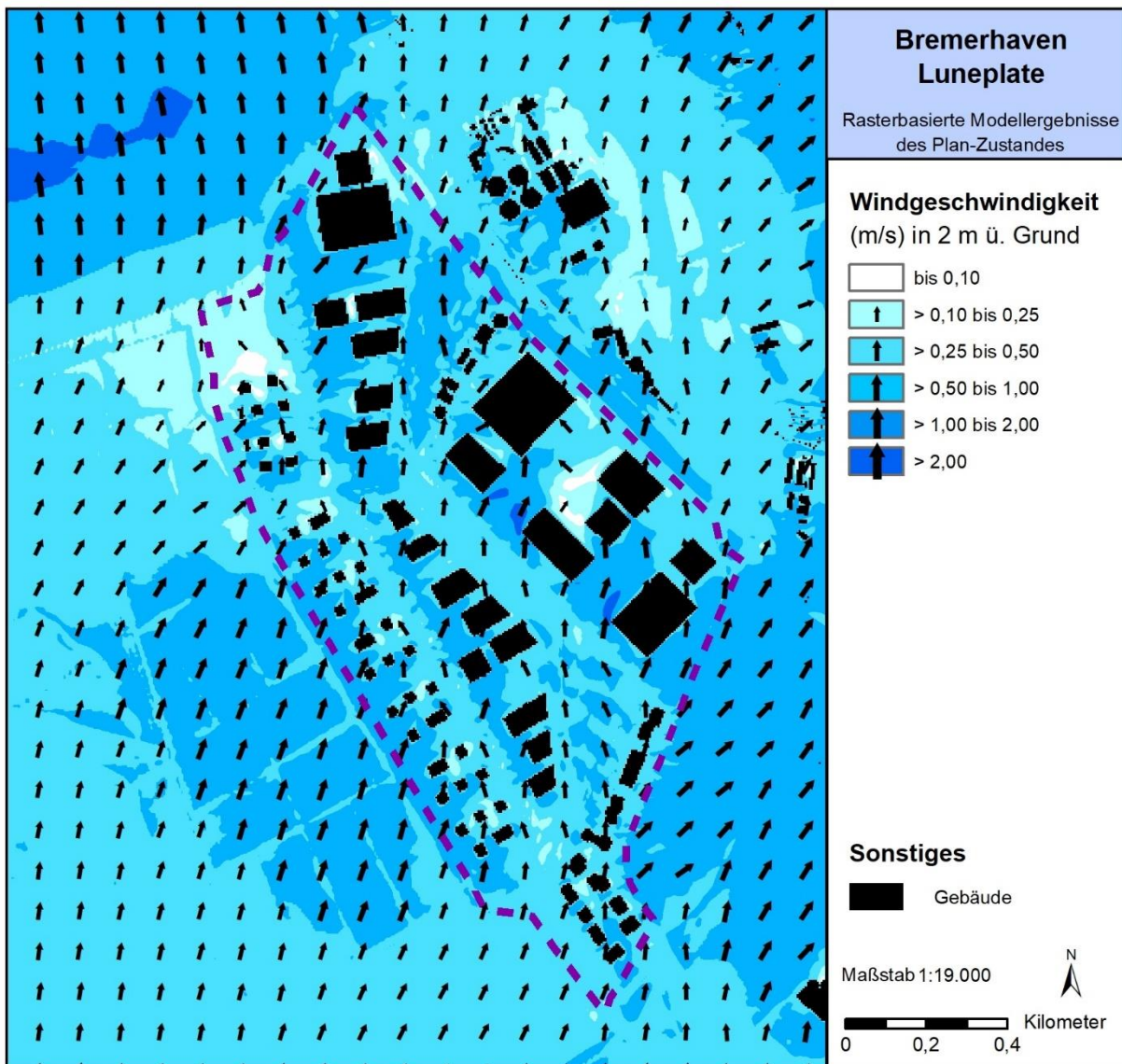


Abb. A 4: Strömungsfeld und Strömungsgeschwindigkeit im Planzustand in 2 m über Grund um 04 Uhr. Das Plangebiet ist durchbrochen violett umrandet.

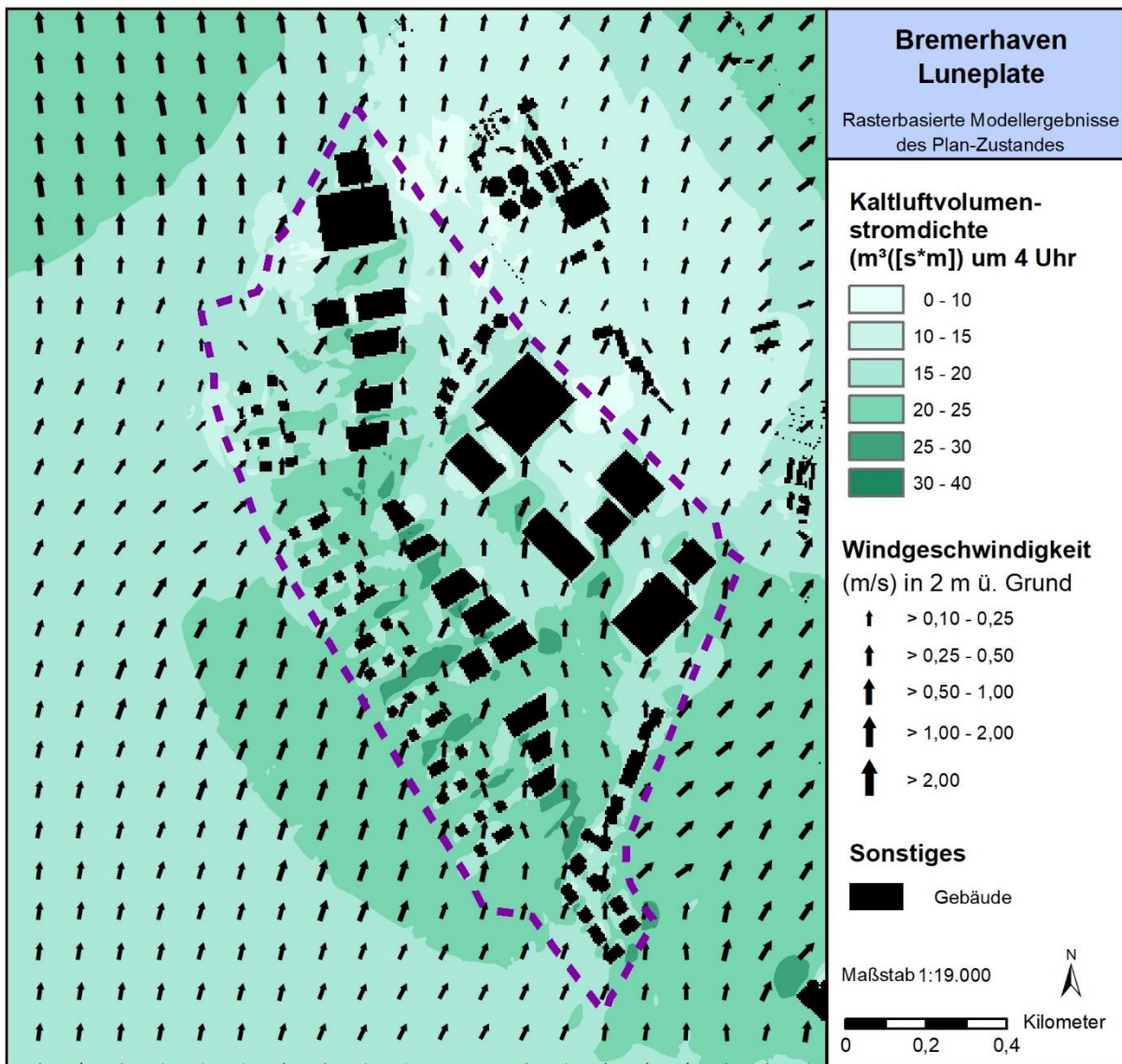


Abb. A 5: Ausprägung des Kaltluftvolumenstroms im Planzustand um 04 Uhr. Das Plangebiet ist durchbrochen violett umrandet.

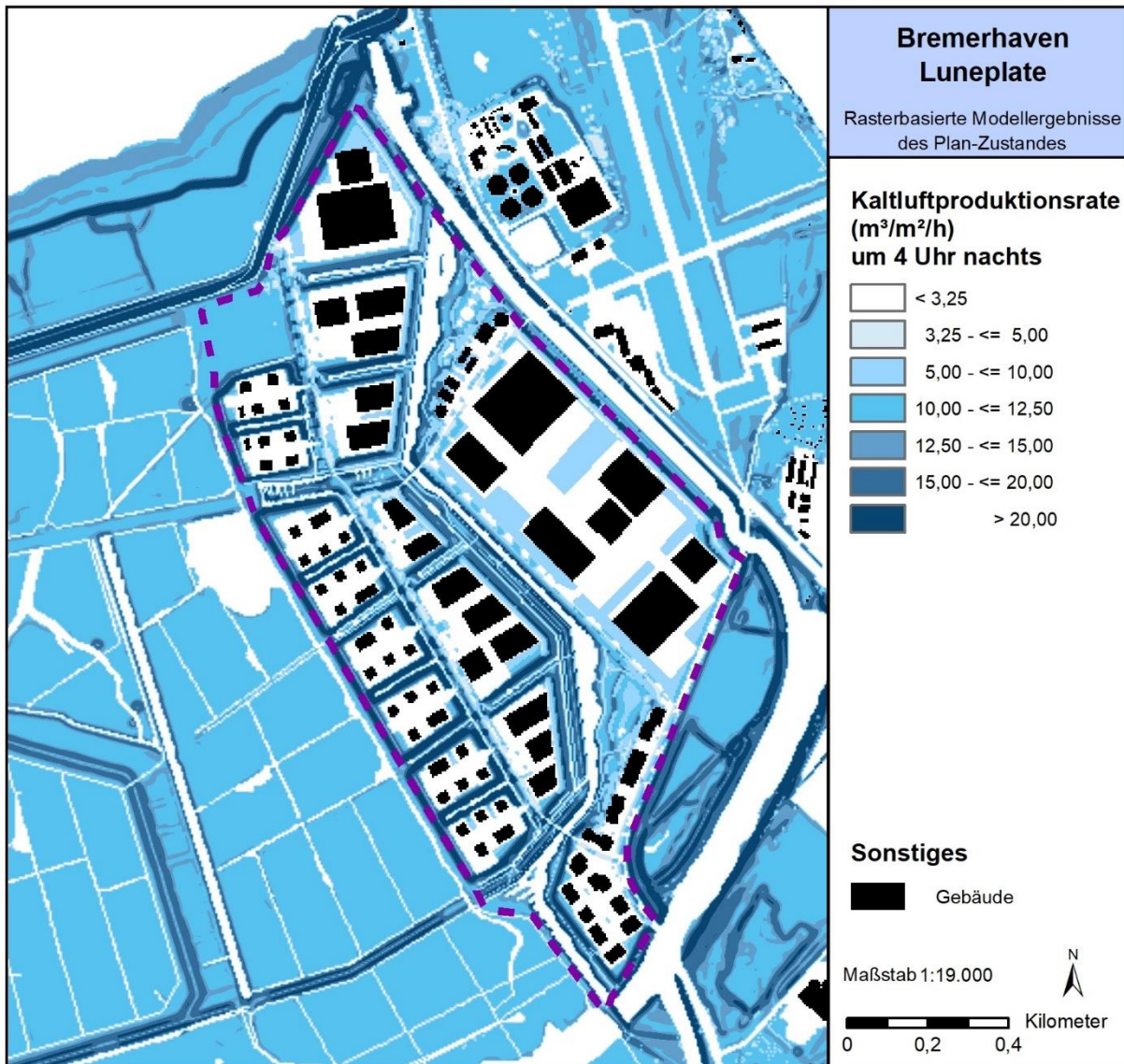


Abb. A 6: Ausprägung der Kaltluftproduktionsrate im Planzustand um 04 Uhr. Das Plangebiet ist durchbrochen violett umrandet.