



Lohmeyer

**Bebauungsplan 25/8 „Obere Fundel“  
in Bad Friedrichshall,  
Ausarbeitungen zum Lokalklima und  
zu Luftschadstoffen**

Auftraggeber:

Baader Konzept GmbH  
N7, 5-6  
68161 Mannheim

Bearbeitung:

Lohmeyer GmbH  
Niederlassung Karlsruhe

Dr. rer. nat. B. Brecht

Dipl.-Geogr. T. Nagel

Mai 2020  
Projekt 20030-20-02  
Berichtsumfang 97 Seiten

## **INHALTSVERZEICHNIS**

|                                                                         |           |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>ERLÄUTERUNG VON FACHAUSDRÜCKEN .....</b>                             | <b>1</b>  |
| <b>1 ZUSAMMENFASSUNG .....</b>                                          | <b>6</b>  |
| <b>2 AUFGABENSTELLUNG .....</b>                                         | <b>10</b> |
| <b>3 VORGEHENSWEISE .....</b>                                           | <b>11</b> |
| 3.1 Lokalklima .....                                                    | 11        |
| 3.1.1 Berechnungsverfahren PALM-4U .....                                | 12        |
| 3.1.2 Berechnungsverfahren MISKAM .....                                 | 13        |
| 3.2 Luftschadstoffe .....                                               | 14        |
| 3.2.1 Ausbreitungsrechnung mit MISKAM .....                             | 15        |
| 3.2.2 Zusammenfassung der Beurteilungswerte .....                       | 16        |
| 3.2.3 Überschreitungshäufigkeit der Stunden- und Tagesmittelwerte ..... | 16        |
| <b>4 BESCHREIBUNG DES UNTERSUCHUNGSGEBIETES .....</b>                   | <b>19</b> |
| 4.1 Meteorologische Daten .....                                         | 20        |
| 4.1.1 Kaltluftsimulationen .....                                        | 20        |
| 4.1.2 Windfeld- und Ausbreitungsberechnungen .....                      | 20        |
| 4.1.3 Schadstoffhintergrundbelastung .....                              | 25        |
| 4.1.4 Verkehrsdaten .....                                               | 25        |
| <b>5 ERGEBNISSE DER KALTLUFTSIMULATIONEN .....</b>                      | <b>30</b> |
| <b>6 ERGEBNISSE DER WINDFELDBERECHNUNGEN .....</b>                      | <b>57</b> |
| <b>7 LUFTSCHADSTOFFE .....</b>                                          | <b>69</b> |
| 7.1 Emissionen .....                                                    | 69        |
| 7.1.1 Betrachtete Schadstoffe .....                                     | 69        |
| 7.1.2 Methode zur Bestimmung der Emissionsfaktoren .....                | 69        |
| 7.1.3 Emissionen des untersuchten Straßennetzes .....                   | 71        |
| 7.2 Ergebnisse .....                                                    | 74        |
| 7.2.1 Stickstoffdioxidimmissionen .....                                 | 75        |



|                                                                                         |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 7.2.2 Feinstaub PM10 .....                                                              | 78        |
| <b>8 LITERATUR .....</b>                                                                | <b>82</b> |
| <b>A1 BEURTEILUNGSWERTE FÜR LUFTSCHADSTOFFKONZENTRATIONEN<br/>AN KFZ-STRASSEN .....</b> | <b>87</b> |
| <b>A2 FEHLERDISKUSSION FÜR IMMISSIONSBERECHNUNG .....</b>                               | <b>91</b> |
| <b>A3 EMISSIONEN DER STRASSENABSCHNITTE .....</b>                                       | <b>94</b> |

#### Hinweise:

Vorliegender Bericht darf ohne schriftliche Zustimmung der Lohmeyer GmbH nicht aus-  
zugsweise vervielfältigt werden.

Die Tabellen und Abbildungen sind kapitelweise durchnummeriert.

Literaturstellen sind im Text durch Name und Jahreszahl zitiert. Im Kapitel Literatur findet  
sich dann die genaue Angabe der Literaturstelle.

Es werden Dezimalpunkte (= wissenschaftliche Darstellung) verwendet, keine Dezimalkom-  
mas. Eine Abtrennung von Tausendern erfolgt durch Leerzeichen.

## ERLÄUTERUNG VON FACHAUSDRÜCKEN

### Klima

Als Klima definiert man das langjährige Mittel und die Schwankungen des jährlichen Ablaufs der Witterung eines Gebietes, wobei unter Witterung der Wetterzustand einer Zeitspanne von mehreren Tagen verstanden wird (Scherhag et al., 1977). Der Wetterzustand wird beschrieben durch meteorologische Größen wie Wind, Temperatur, Feuchte, Sonnenscheindauer, Strahlungsmenge und Niederschlag.

Man unterscheidet das regionale Klima (mehrere 10 km) und das lokale Klima (ca. 100 m bis mehrere km). Wichtige Einflussgrößen für das regionale und lokale Klima sind, ausgehend von der geographischen Situation und der Verteilung der großräumigen Wetterlagen, die Topographie (z. B. Geländeform, Exposition) und das Muster der Landnutzung.

Im Rahmen der hier vorliegenden Planung interessieren die Auswirkungen der Planung auf das lokale Klima der Umgebung und die zu erwartenden klimatischen Verhältnisse im unmittelbaren Nahbereich der Maßnahme.

### Temperaturgradient und Inversionen

Es entspricht einer physikalischen Gesetzmäßigkeit, dass die mittlere Lufttemperatur mit zunehmender Höhenlage eines Ortes abnimmt. Im Jahresmittel beträgt diese höhenbedingte Temperaturabnahme durchschnittlich 0.5 °C pro 100 m Höhenstufe. Im Sommer und Frühjahr erhöht sich der Betrag der Temperaturabnahme auf 0.6 °C pro 100 m Höhenstufe, während er im Herbst auf 0.4 °C und im Winter auf ca. 0.3 °C pro 100 m zurückgeht. Unter besonderen meteorologischen Bedingungen kann aber auch eine Temperaturzunahme mit zunehmender Höhenlage beobachtet werden. Hierbei spricht man von Inversionswetterlagen.

### Luftschichtungszustände

Wird ein Luftpaket aus seiner Ruhelage heraus vertikal verschoben, so ändert sich seine Temperatur. Ist nun der Temperaturverlauf der ruhend gedachten Umgebung so beschaffen, dass das Luftquantum durch positive oder negative Auftriebskräfte wieder in seine Ausgangsposition zurückgetrieben wird, so nennen wir die Temperaturschichtung **stabil**. Genügt umgekehrt eine kleine Verschiebung aus der Ruhelage zur endgültigen Entfernung des Luftpaketes, so liegt entsprechend eine **labile** Schichtung vor. Zwischen beiden Möglichkeiten liegt die thermisch **neutrale** Schichtung, bei der das vertikal verschobene Luftpaket in jeder Position in einem indifferenten Gleichgewicht ist, das heißt keine Auftriebskräfte auftreten.

Dieses Stabilitätsverhalten übt einen grundlegenden Einfluss auf den vertikalen Austausch aus. Eine stabile Schichtung wird im Vergleich zum neutralen Fall diesen Austausch behindern, im Extrem unterbinden. Thermische Labilität wird dagegen zu einer mehr oder minder starken Durchmischung eines Luftpörpers und damit zu einer Intensivierung des Vertikalaustausches mit daraus resultierenden niedrigeren Schadstoffkonzentrationen führen.

### **Kaltluftstaugebiete und Kaltluftsammelbereiche**

Geländemulden, Senken und Täler wirken als nächtliche Kaltluftsammelgebiete. Die dort in windschwachen wolkenarmen Strahlungsnächten von den Kaltlufteinzugsgebieten der Hänge und Höhen zusammenfließende Kaltluft lässt niedrigere nächtliche Temperaturminima entstehen, die am Tage - insbesondere im Sommer - durch die täkertypischen Übergangstemperaturen im statistischen Mittel wieder ausgeglichen werden.

### **Windsysteme**

#### **a) Allgemeines**

Als Wind wird in der Meteorologie die gerichtete Bewegung der Luft bezeichnet. Ursache des Windes sind Luftdruckunterschiede. Wirkt nur die Kraft eines horizontalen Druckgradienten, entsteht der Euler-Wind, der nur in kleinräumigen Phänomenen eine Rolle spielt. Wird bei großräumigen Bewegungen der Einfluss der Erdrotation spürbar, so tritt die Corioliskraft zur Druckgradientenkraft hinzu. Der Wind weht isobarenparallel und wird geostrophischer Wind genannt. Sind die Isobaren gekrümmt, so tritt die Zentrifugalkraft hinzu. Dieser Wind wird Gradientwind genannt und kommt dem realen Wind noch etwas näher als der geostrophische Wind. Werden Winde in der atmosphärischen Grenzschicht (Bodennähe) betrachtet, so ist zusätzlich die Kraft der Bodenreibung zu berücksichtigen.

Für die kleinräumigen Betrachtungen innerhalb der atmosphärischen Grenzschicht spielt die Corioliskraft keine relevante Rolle. Für die Luftbewegung und ihre räumliche Ausprägung (Windfeld) gewinnen Relief und Landnutzung an Bedeutung.

#### **b) allochthone Windsysteme**

Der Gradientwind als größte Näherung des realen Windes (siehe oben) ist als solcher nur in höheren Luftschichten ungestört zu beobachten. Die Erdoberfläche bremst die Luftbewegung. Die Reibungsschicht ist im Allgemeinen 1 000 bis 1 500 m hoch. Innerhalb dieser Reibungsschicht zeigt sich eine Zunahme der Windgeschwindigkeit mit der Höhe. Allochthone Wetterlagen sind Wetterlagen mit höheren Windgeschwindigkeiten, so genannte Gradientwindlagen.

### c) autochthone Windsysteme

Bei gradientschwachen Wetterlagen (Strahlungswetterlagen) oder bei einer Abkopplung der bodennahen Strömung durch stabile Schichtung der Atmosphäre können auch schwächere Druckunterschiede (durch lokal unterschiedliche Erwärmung) Luftströmungen von kaum spürbaren Luftbewegungen bis hin zu mittleren und hohen Windgeschwindigkeiten hervorrufen. Wie der Name also bereits impliziert, entstehen thermisch induzierte Windsysteme als Ausgleichsströmung zwischen verschiedenen thermischen Regimes innerhalb der atmosphärischen Grenzschicht. Vertreter thermisch induzierter Prozesse sind Land- und Seewind, Flurwinde, Berg- und Talwind und Kaltluftströmungen.

### **Emission / Immission**

Als Emission bezeichnet man die von einem Fahrzeug ausgestoßene Luftschadstoffmenge in Gramm Schadstoff pro Kilometer oder bei anderen Emittenten in Gramm pro Stunde. Die in die Atmosphäre emittierten Schadstoffe werden vom Wind verfrachtet und führen im umgebenden Gelände zu Luftschadstoffkonzentrationen, den so genannten Immissionen. Diese Immissionen stellen Luftverunreinigungen dar, die sich auf Menschen, Tiere, Pflanzen und andere Schutzgüter überwiegend nachteilig auswirken. Die Maßeinheit der Immissionen am Untersuchungspunkt ist  $\mu\text{g}$  (oder  $\text{mg}$ ) Schadstoff pro  $\text{m}^3$  Luft ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$  oder  $\text{mg}/\text{m}^3$ ).

### **Hintergrundbelastung / Zusatzbelastung / Gesamtbelastung**

Als Hintergrundbelastung werden im Folgenden die Immissionen bezeichnet, die bereits ohne die Emissionen des Straßenverkehrs auf den betrachteten Straßen an den Untersuchungspunkten vorliegen. Die Zusatzbelastung ist diejenige Immission, die ausschließlich vom Verkehr auf dem zu untersuchenden Straßennetz oder der zu untersuchenden Straße hervorgerufen wird. Die Gesamtbelastung ist die Summe aus Hintergrundbelastung und Zusatzbelastung und wird in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  oder  $\text{mg}/\text{m}^3$  angegeben.

### **Grenzwerte / Vorsorgewerte**

Grenzwerte sind zum Schutz der menschlichen Gesundheit vom Gesetzgeber vorgeschriebene Beurteilungswerte für Luftschadstoffkonzentrationen, die nicht überschritten werden dürfen, siehe z.B. Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes. Vorsorgewerte stellen zusätzliche Beurteilungsmaßstäbe dar, die zahlenmäßig niedriger als Grenzwerte sind und somit im Konzentrationsbereich unterhalb der Grenzwerte eine differenzierte Beurteilung der Luftqualität ermöglichen.

**Jahresmittelwert / Kurzzeitwert (Äquivalentwert)**

An den betrachteten Untersuchungspunkten unterliegen die Konzentrationen der Luftschadstoffe in Abhängigkeit von Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Verkehrsaufkommen etc. ständigen Schwankungen. Die Immissionskenngrößen Jahresmittelwert und weitere Kurzzeitwerte charakterisieren diese Konzentrationen. Der Jahresmittelwert stellt den über das Jahr gemittelten Konzentrationswert dar. Eine Einschränkung hinsichtlich Beurteilung der Luftqualität mit Hilfe des Jahresmittelwertes besteht darin, dass er nichts über Zeiträume mit hohen Konzentrationen aussagt. Eine das ganze Jahr über konstante Konzentration kann zum gleichen Jahresmittelwert führen wie eine zum Beispiel tagsüber sehr hohe und nachts sehr niedrige Konzentration.

Die Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (39. BImSchV) fordert die Einhaltung von Kurzzeitwerten in Form des Stundenmittelwertes der  $\text{NO}_2$ -Konzentrationen von  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , der nicht mehr als 18 Stunden pro Jahr überschritten werden darf, und des Tagesmittelwertes der  $\text{PM}_{10}$ -Konzentration von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , der maximal an 35 Tagen überschritten werden darf. Da diese Werte derzeit nicht direkt berechnet werden können, erfolgt die Beurteilung hilfsweise anhand von abgeleiteten Äquivalentwerten auf Basis der Jahresmittelwerte bzw. 98-Perzentilwerte (Konzentrationswert, der in 98% der Zeit des Jahres unterschritten wird). Diese Äquivalentwerte sind aus Messungen abgeleitete Kennwerte, bei deren Unterschreitung auch eine Unterschreitung der Kurzzeitwerte erwartet wird.

**Verkehrssituation**

Emissionen und Kraftstoffverbrauch der Kraftfahrzeuge (Kfz) hängen in hohem Maße vom Fahrverhalten ab, das durch unterschiedliche Betriebszustände wie Leerlauf im Stand, Beschleunigung, Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit, Bremsverzögerung etc. charakterisiert ist. Das typische Fahrverhalten kann zu so genannten Verkehrssituationen zusammengefasst werden. Verkehrssituationen sind durch die Merkmale eines Straßenabschnitts wie Geschwindigkeitsbeschränkung, Ausbaugrad, Vorfahrtregelung etc. charakterisiert. In der vom Umweltbundesamt herausgegebenen Datenbank „Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs HBEFA“ sind für verschiedene Verkehrssituationen Angaben über Schadstoffemissionen angegeben.

**Feinstaub /  $\text{PM}_{10}$  /  $\text{PM}_{2.5}$** 

Mit Feinstaub bzw.  $\text{PM}_{10}$  /  $\text{PM}_{2.5}$  werden alle Partikel bezeichnet, die einen größenselektierenden Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Partikeldurchmesser von

10 µm bzw. 2.5 µm eine Abscheidewirksamkeit von 50 % aufweist. Die PM10-Fraktion wird auch als inhalierbarer Staub bezeichnet. Die PM2.5-Fraktion gelangt bei Inhalation vollständig bis in die Alveolen der Lunge; sie umfasst auch den wesentlichen Masseanteil des anthropogen erzeugten Aerosols, wie Partikel aus Verbrennungsvorgängen und Sekundärpartikel.

## 1 ZUSAMMENFASSUNG

In Bad Friedrichshall ist der Bebauungsplan Nr. 25/8 „Obere Fundel“ in Bearbeitung. Auf bisher nicht bebauten Flächen im südlichen Bereich von Bad Friedrichshall sind gewerbliche Nutzungen und Wohnnutzungen vorgesehen.

Für diese Planungen waren im Rahmen des Bebauungsplanverfahrens Aussagen zu den lokalklimatischen Verhältnissen und den verkehrsbedingten Luftschadstoffen erforderlich.

Für die Einbindung lokalklimatischer Belange in die Bebauungsplanung bestehen keine einheitlichen Vorgaben zu inhaltlichen Themen und zu Beurteilungsgrößen. Dementsprechend werden in den Betrachtungen die lokalen Besonderheiten bezüglich lokalklimatischer Belange herangezogen und die Belange in den Vordergrund gestellt, die durch die Planungen modifiziert werden. Das betrifft beispielsweise die bodennahen Windfelder im Hinblick auf die Be- und Durchlüftungsverhältnisse, d. h. den möglichen Abtransport lufthygienisch oder thermisch belasteter Luftmassen.

Dementsprechend wurden für die Planung Kaltluftsimulationen unter Berücksichtigung der geplanten Bebauung mit dem prognostischen Modell PALM-4U mit einer hohen räumlichen Auflösung durchgeführt. Die jahresbezogenen Durchlüftungsverhältnisse wurden anhand der Windfeldberechnungen mit dem mikroskaligen Strömungsmodell MISKAM unter Berücksichtigung der Gebäudeumströmung in Kombination mit einer lokalen Windstatistik ermittelt.

Für die Berechnung der verkehrsbedingten Luftschadstoffe wurden die Schadstoffaufkommen durch den Kfz-Verkehr auf den bestehenden und geplanten Straßen mit dem Ausbreitungsmodell MISKAM betrachtet. Aus den für das Prognosejahr 2030 übergebenen Verkehrsbelegungsdaten wurden unter Berücksichtigung der vom Umweltbundesamt veröffentlichten aktuellen Emissionsfaktoren (HBEFA4.1, Stand 2019) für das Bezugsjahr 2024 als Jahr der Inbetriebnahme wesentlicher Teile der Planung die Emissionen auf allen Straßenabschnitten für den Prognosenullfall und den Planfall berechnet.

### Kaltluft

Von den Hängen östlich des Plangebietes strömen im Bestand bodennah Kaltluftmassen aus nordöstlichen Richtungen mit etwa 1 m/s über das Bebauungsplangebiet, bevor diese in das Neckartal hinab strömen. Dort reichen die nordöstlichen Strömungen bis zum Schleusenkanal, wo sie mit bodennahen Strömungen aus Nordwesten und Westen aufeinandertreffen. Im

nordwestlichen Bereich des Plangebietes, d. h. südlich der Amorbacher Straße, ergeben sich bodennah schwächere nördlich gerichtete Strömungen mit weniger als 0.5 m/s. Mit Umsetzung des Bebauungsplans „Obere Fundel“ ergeben sich aufgrund der Plangebäude deutliche Änderungen der Strömungsrichtungen und Strömungsgeschwindigkeiten. Im Nahbereich der Plangebäude sowie in deren Vorlauf und Nachlauf ergeben sich großteils Abnahmen der Strömungsgeschwindigkeiten. Die bodennahen Strömungen aus Nordosten reichen im Neckartal teilweise weiter bis etwa zum Schleusenkanal, teilweise ergeben sich Abnahmen der Reichweite um etwa 50 m. Durch die Umströmung der zentralen Plangebäude und der Barrierewirkung der nördlichen Plangebäude fallen die bodennah nördlich gerichteten Strömungen im nordwestlichen Bereich des Plangebietes großteils weg.

Bei Kaltluftbedingungen kühlen bodennah die Luftmassen intensiv ab, insbesondere über vegetationsbestandenen Flächen. Aufgrund der Planung verzögern sich im Bereich des Bebauungsplangebietes und dessen Nahbereich diese Abkühlungen, sodass im Nahbereich der Planungen bis zu 2 K höhere Lufttemperaturen in 2 m Höhe prognostiziert werden. Temperaturerhöhungen gegenüber dem Bestand von mehr als 0.5 K ergeben sich bis in etwa 150 m südlich der Planung und in kleinen Teilbereichen im Süden des Siedlungsgebietes von Bad Friedrichshall-Kochendorf. In weiter entfernt liegenden Bereichen sind geringere Änderungen zu erwarten.

Diese relativen und planungsbedingten Entwicklungen bleiben im Laufe der Kaltluftnächte bestehen.

### **Durchlüftungsverhältnisse**

Aus den jahresbezogenen Windfeldberechnungen ist zu schließen, dass sich die Änderungen der Durchlüftungsverhältnisse auf das Bebauungsplangebiet „Obere Fundel“ und deren direkte Nachbarschaft beschränken; eine wesentliche Änderung der Durchlüftungsverhältnisse für die in der Umgebung gelegenen Siedlungsbereiche ist daraus nicht abzuleiten. Auch mit der geplanten Bebauung sind in dessen Umgebung für den Stadtrand von Bad Friedrichshall ortsübliche bodennahen Windverhältnisse zu erwarten. In den Bereichen mit ausgewiesenen Verringerungen der bodennahen Windgeschwindigkeiten ist der bodennahe Luftaustausch verringert bzw. verzögert; damit werden die möglicherweise thermisch oder lufthygienisch belasteten Luftmassen etwas vermindert ausgetauscht.

### **Luftschadstoffe**



Die NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte werden im Prognosenullfall durch den Kfz-Verkehr auf den Hauptverkehrsstraßen geprägt. Am Fahrbahnrand der stark frequentierten Bundesstraße B 27 sind NO<sub>2</sub>-Konzentrationen bis 36 µg/m<sup>3</sup> und am Fahrbahnrand der Amorbacher Straße (K 2117) bis 32 µg/m<sup>3</sup> berechnet. An der zu den Straßen nächstgelegenen Randbebauung sind im Betrachtungsgebiet keine NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte über 32 µg/m<sup>3</sup> dargestellt. Zum Schutz der menschlichen Gesundheit ist entscheidend, ob die ermittelten Immissionen zu Überschreitungen der Grenzwerte an für die Beurteilung relevanter Bebauung, z.B. Wohnbebauung, führen. Damit sind in der Umgebung des Bebauungsplangebietes „Obere Fundel“ im Prognosenullfall auch an der zu den Straßen nächstgelegenen Bebauung NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte dargestellt, die den Grenzwert von 40 µg/m<sup>3</sup> deutlich nicht erreichen und nicht überschreiten.

Für den Planfall sind aufgrund der Verkehrszunahme und den durch die geplante Bebauung veränderten Durchlüftungsverhältnissen auch Zunahmen der NO<sub>2</sub>-Konzentrationen prognostiziert. Am Fahrbahnrand der stark frequentierten Bundesstraße B 27 sind NO<sub>2</sub>-Konzentrationen bis 40 µg/m<sup>3</sup> und an der verlegten Kreisstraße K 2117 bis 36 µg/m<sup>3</sup> am Fahrbahnrand berechnet. An der zu den Straßen nächstgelegenen Randbebauung sind im Betrachtungsgebiet keine NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte über 32 µg/m<sup>3</sup> dargestellt; die höchsten Konzentrationen sind an der Bebauung der Heilbronner Straße nördlich der Amorbacher Straße unter 32 µg/m<sup>3</sup> prognostiziert, wobei dort gegenüber dem Prognosenullfall eine verringerte Konzentration berechnet ist. An der Neckarsulmer Straße sind an der nächstgelegenen Bebauung NO<sub>2</sub>-Konzentrationen bis 29 µg/m<sup>3</sup> berechnet, die gegenüber dem Prognosenullfall etwas zunehmen. Am Riedweg sind an der Randbebauung NO<sub>2</sub>-Konzentrationen unter 26 µg/m<sup>3</sup> berechnet, womit sich die durch die geplante Bebauung eingeschränkten Durchlüftungsverhältnisse unwesentlich auf die verkehrsbedingten Konzentrationen auswirken. An der zur Amorbacher Straße nächstgelegenen Bebauung sind NO<sub>2</sub>-Konzentrationen unter 29 µg/m<sup>3</sup> berechnet, die gegenüber dem Prognosenullfall aufgrund verringertem Verkehr trotz planungsbedingten eingeschränkten Durchlüftungsverhältnissen etwas abnehmen. Innerhalb des Bebauungsplangebietes sind entlang der verlegten K 2117 und in der Umgebung der Seitenöffnungen der Parkdecks gegenüber der Hintergrundbelastung erhöhte NO<sub>2</sub>-Konzentrationen berechnet, die an der geplanten Bebauung jedoch nicht zu Werten über 29 µg/m<sup>3</sup> führen.

Damit sind im Bebauungsplangebiet „Obere Fundel“ und dessen Umgebung im Planfall auch an der zu den Straßen nächstgelegenen Bebauung NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte dargestellt, die den Grenzwert von 40 µg/m<sup>3</sup> deutlich nicht erreichen und nicht überschreiten.

Die berechneten PM10-Immissionen entsprechen im Prognosenullfall an der bestehenden Bebauung weitgehend der angesetzten Hintergrundbelastung von  $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . An der zur Heilbronner Straße nächstgelegenen Bebauung sind PM10-Jahresmittelwerte bis  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ermittelt. Der geltende Grenzwert der 39. BImSchV für PM10 von  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  im Jahresmittel wird im Prognosenullfall deutlich nicht erreicht. Der Schwellenwert von  $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$  im Jahresmittel zur Ableitung der PM10-Kurzzeitbelastung wird im Prognosenullfall ebenfalls nicht erreicht und nicht überschritten.

Für den Planfall mit Umsetzung des Bebauungsplans „Obere Fundel“ sind etwas erhöhte PM10-Immissionen am Fahrbahnrand der B 27 bis  $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und an der verlegten Kreisstraße K 2117 bis  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  am Fahrbahnrand berechnet. An der zu den Straßen nächstgelegenen Randbebauung sind im Betrachtungsgebiet keine PM10-Jahresmittelwerte über  $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$  dargestellt. Innerhalb des Bebauungsplangebietes sind entlang der verlegten K 2117 und in der Umgebung der Seitenöffnungen der Parkdecks gegenüber der Hintergrundbelastung etwas erhöhte PM10-Konzentrationen berechnet, die an der geplanten Bebauung jedoch nicht zu Werten über  $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$  führen. Damit wird an der geplanten und bestehenden Bebauung auch im Planfall mit Umsetzung des Bebauungsplans „Obere Fundel“ der geltende Grenzwert der 39. BImSchV für PM10 von  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  im Jahresmittel deutlich unterschritten. Der Schwellenwert von  $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$  im Jahresmittel zur Ableitung der PM10-Kurzzeitbelastung wird im Planfall ebenfalls deutlich unterschritten.

## **2 AUFGABENSTELLUNG**

In Bad Friedrichshall ist der Bebauungsplan Nr. 25/8 „Obere Fundel“ in Bearbeitung. Auf bisher nicht bebauten Flächen im südlichen Bereich von Bad Friedrichshall sind gewerbliche Nutzungen und Wohnnutzungen vorgesehen.

Für diese Planungen sind im Rahmen des Bebauungsplanverfahrens Aussagen zu den lokalklimatischen Verhältnissen und den verkehrsbedingten Luftschadstoffen erforderlich.

### 3 VORGEHENSWEISE

#### 3.1 Lokalklima

Für die Einbindung lokalklimatischer Belange in die Bebauungsplanung bestehen keine einheitlichen Vorgaben zu inhaltlichen Themen und zu Beurteilungsgrößen. Dementsprechend werden in den Betrachtungen die lokalen Besonderheiten bezüglich lokalklimatischer Belange herangezogen und die Belange in den Vordergrund gestellt, die durch die Planungen modifiziert werden. Das betrifft beispielsweise die bodennahen Windfelder im Hinblick auf die Be- und Durchlüftungsverhältnisse, d. h. den möglichen Abtransport lufthygienisch oder thermisch belasteter Luftmassen.

Das Plangebiet liegt südlich des bestehenden Siedlungsgebietes von Bad Friedrichshall und auf der Randhöhe östlich des Neckartals. In der Umgebung von Bad Friedrichshall sind u.a. durch das Relief bedingt nächtliche Kaltluftströmungen wirksam. Durch die baulichen Planungen im Bebauungsplangebiet „Obere Fundel“ ändern sich dort die Landnutzungen und die zusätzlichen Gebäude sind als Strömungshindernisse wirksam. Dadurch können bestehende regionale Windströmungen sowie lokal thermisch induzierte Winde, wie Kaltluftströmungen, beeinträchtigt werden. Die genannten Modifizierungen und Auswirkungen beziehen sich überwiegend auf die bodennahen Windverhältnisse und die Temperaturverhältnisse in der näheren Umgebung.

Die Kaltluftbildung und Entwicklung der Kaltluftströmung entsteht an wind- und wolkenarmen Tagen nach Sonnenuntergang, indem vegetationsbestandene Flächen gegenüber versiegelten Flächen oder Wasserflächen intensiver und rascher abkühlen. Damit kühlt auch die darüber gelegene Luftschicht intensiver und rascher ab. Bei geneigtem Gelände setzen sich diese kühlen Luftmassen der Geländeneigung folgend in Bewegung und bilden Hangabwinde. In Einschnitten und Tälern werden die Hangabwinde zusammengeführt und bilden intensive Kaltluftströmungen aus, die beispielsweise die nächtliche Belüftung von Siedlungsgebieten fördern können. In Mulden und vor lang gestreckten Hindernissen quer zur Kaltluftströmung entstehen Kaltluftstagnationsbereiche, die sehr stark auskühlen können. In solchen Kaltluftstagnationsbereichen liegt die bodennahe Lufttemperatur bei Kaltluftbedingungen um einige Kelvin unter der Lufttemperatur umliegender Bereiche. Damit besteht dort eine höhere Frostgefährdung.

Dementsprechend werden hier die Auswirkungen der Planungen auf die nächtlichen Kaltluftströmungen mit Modellsimulationen betrachtet. Für die vorliegende Planung werden Kaltluftberechnungen mit dem prognostischen Modell PALM-4U mit einer hohen räumlichen Auflösung durchgeführt, sodass die Um- und Überströmung der Baukörper im Plangebiet berücksichtigt werden kann und um qualitative sowie quantitative Aussagen über mögliche Modifikationen der Kaltluftströmungen zu erhalten. Betrachtet werden der derzeitige Zustand entsprechend der derzeitigen baulichen Nutzung und ein Planzustand mit einem vorgelegten städtebaulichen Entwurf.

Die geplanten Baukörper wirken sich aufgrund der Gebäudekonstellation ebenfalls auf die mittleren bodennahen Windverhältnisse aus. Dementsprechend werden Windfeldberechnungen unter Berücksichtigung der Gebäudeumströmungen mit dem dafür geeigneten mikroskaligen Strömungsmodell MISCAM sehr hoch aufgelöst durchgeführt. Betrachtet werden der bauliche Bestandsfall und ein Planzustand. Die Auswertungen erfolgen für die relevanten Hauptwindrichtungen.

### **3.1.1 Berechnungsverfahren PALM-4U**

Zur Simulation der Verteilung von Klimaparametern in Einzelsituationen wurde das numerische Modell PALM-4U (<https://palm.muk.uni-hannover.de/trac/wiki/palm4u>) verwendet, das z. B. die Variablen potentielle Temperatur, spezifische Feuchte und die Windkomponenten prognostisch berechnet. PALM-4U ist ein dreidimensionales mikroklimatisches Modell, das die Wechselwirkungen zwischen dem Boden, von Oberflächen und der Atmosphäre unter Berücksichtigung des Reliefs und der Landnutzung sowie von Strömungshindernissen, z. B. von Gebäuden oder der Vegetation, beschreibt. Es basiert auf den Grundgesetzen der Strömungs- und Thermodynamik und beinhaltet u. a. die Simulation von:

- Umströmungen und Überströmungen von Hindernissen, z. B. Gebäuden,
- Austausch von Wärme und Feuchte an natürlichen und anthropogenen Oberflächen,
- turbulenten Strömungen,
- Wechselwirkungen von Strahlung, Impuls und Wärme mit einer expliziten Vegetationsschicht,
- bioklimatischen Bewertungsindizes,

Für weiterführende Informationen sei auf die o. g. Internetadresse und Fachliteratur (z. B. Raasch und Schröter, 2001; Maronga et al., 2015, Maronga et al., 2019) verwiesen.

Grundlage der Simulationsrechnungen sind die Aufnahme des Reliefs und der Landnutzung sowie der Bebauung nach Lage und Höhe im Betrachtungsgebiet. Die Simulationen der Kaltluftströmungen werden in drei Schritten mit einem sogenannten Nesting-Verfahren (Gitterverfeinerung) durchgeführt. Um alle relevanten Kaltluftammelgebiete zu erfassen, wurde eine grobe Simulation mit 200 m horizontaler Maschenweite und 297 x 344 Gitterpunkten (59.4 km x 68.8 km) durchgeführt, vertikal reicht das Gitter bis in etwa 11 km Höhe bei einer bodennahen vertikalen Auflösung von 8 m. Mittels Nesting wurde ein kleineres Gebiet mit 40 m horizontaler Maschenweite und 400 x 495 Gitterpunkten (16.0 km x 19.8 km) darin berechnet; die vertikale Maschenweite ist ebenfalls 8 m in Bodennähe. Für das Betrachtungsgebiet wurde eine horizontale Maschenweite von 10 m bei 468 x 536 Gitterpunkten (4.7 km x 5.4 km) genutzt, um grobe Gebäudestrukturen dreidimensional darstellen zu können, die vertikale Auflösung beträgt in Bodennähe 4 m. Das Setup der Simulationen entspricht den Anforderungen der VDI-Richtlinie 3783 Blatt 7 „Prognostische mesoskalige Windfeldmodelle“ (VDI, 2017) und der VDI-Richtlinie 3783 Blatt 9 „Prognostische mikroskalige Windfeldmodelle“ (VDI, 2017).

Folgende Einteilung wurde für die vorkommenden Oberflächen gewählt:

- Gebäude unterschiedlicher Art und Alters (inneres Gebiet),
- versiegelte Oberflächen wie Straßen und Parkplätze,
- städtische Bebauung,
- Grünflächen bzw. Freiflächen,
- Sonderkulturen und Sträucher,
- Baumbestände bzw. Wald.

### **3.1.2 Berechnungsverfahren MISKAM**

In dem zu betrachtenden Gebiet führen die geplanten Gebäude zu Beeinflussungen der Strömungsbedingungen. Für diesen Bereich wird das mikroskalige Strömungs- und Ausbreitungsmodell MISKAM (Eichhorn, 1989 und 1995) zur Beschreibung der Strömungsverhältnisse eingesetzt. Das Modell MISKAM wurde anhand mehrerer Datensätze aus Windkanälen und Naturmessreihen überprüft und umfangreich validiert (Eichhorn, 1995, 2014; Schädler et al., 1996).

Grundlage der Simulationsrechnungen sind die Lage und Höhe der Bebauung im Bestand und Planfall. Die digital erfassten Gebäudekataster für den Referenzfall und die Planung werden für die Strömungsberechnungen in ein rechteckiges Rechengitter überführt. Die

Ausdehnung des Rechengitters setzt die Vorgaben der VDI-Richtlinie 3783 Blatt 9 „Prognostische mikroskalige Windfeldmodelle“ (VDI, 2017) um. Das hier angesetzte Rechengebiet ist sowohl horizontal als auch vertikal deutlich größer als das Untersuchungsgebiet um Randeffekte zu vermeiden (Ketzler et al., 1999) und um die Kriterien der o.g. VDI-Richtlinie zu erfüllen. Das Rechengitter besteht aus 448 x 393 Gitterboxen in horizontaler Richtung und umfasst eine Ausdehnung von circa 1 400 m x 1 100 m. Es wird ein nicht-äquidistantes Gitter verwendet, das in der Umgebung der Planung an der Bebauung eine feine horizontale Auflösung von 2 m aufweist und nach außen gröber wird. In vertikaler Richtung reicht das Gitter mit 42 Schichten bis in eine Höhe von 500 m über Grund, wobei die Schichten in Bodennähe mit 0.6 m fein aufgelöst sind.

Die Berechnungen erfolgen mit dem PC-Programm WinMISKAM Version 2019.6.0.2 vom 01.04.2020 ([www.lohmeyer.de/software](http://www.lohmeyer.de/software)) und dem Modell MISKAM Version 6.3 vom 29.07.2014. Mit dem mikroskaligen Strömungs- und Ausbreitungsmodell MISKAM werden Strömungsrechnungen für alle Windrichtungen in 10 Grad-Schritten entsprechend der vorliegenden lokalrepräsentativen Windstatistiken durchgeführt. Unter Verwendung der gemessenen Häufigkeiten der Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsverteilungen werden Jahreswerte der mittleren Windgeschwindigkeit für jede Box im Rechengitter berechnet.

### **3.2 Luftschadstoffe**

Bei der Verbrennung des Kfz-Kraftstoffes wird eine Vielzahl von Schadstoffen freigesetzt, die die menschliche Gesundheit gefährden können. Im Rahmen des vorliegenden lufthygienischen Gutachtens ist zu prüfen, ob die durch die geplanten Baumaßnahmen verursachten Auswirkungen die Konzentrationen der Luftschadstoffe (Immissionen) unter Berücksichtigung der bereits vorhandenen Hintergrundbelastung in gesetzlich unzulässigem Maße erhöhen. Durch den Vergleich der Schadstoffkonzentrationen mit schadstoffspezifischen Beurteilungswerten werden Rückschlüsse auf die Luftqualität gezogen. Für den Kfz-Verkehr relevant ist v.a. die 39. BImSchV.

Die vorliegende Untersuchung konzentriert sich unter Berücksichtigung der o. g. Grenzwerte und der derzeitigen Konzentrationsniveaus in Form eine Luftschadstoffleitkomponentenbetrachtung auf die v. a. vom Straßenverkehr erzeugten Schadstoffe Stickoxide und Feinstaubpartikel (PM<sub>10</sub>). Nach Aufhebung der 23. BImSchV durch die 33. BImSchV (2004) liegen keine Beurteilungswerte für Ruß mehr vor. Im Zusammenhang mit Beiträgen durch den Kfz-Verkehr sind die Schadstoffe Benzol, Blei, Schwefeldioxid SO<sub>2</sub>, Kohlenmonoxid CO

und PM<sub>2.5</sub> aufgrund der Emissionswerte und der derzeitigen Luftkonzentrationen von untergeordneter Bedeutung. Für Stickstoffmonoxid NO gibt es keine Beurteilungswerte. Die Beurteilung der Schadstoffimmissionen erfolgt durch Vergleich relativ zum entsprechenden Grenzwert.

### **3.2.1 Ausbreitungsrechnung mit MISKAM**

Die Ausbreitungsrechnungen erfolgen ebenfalls mit dem in Kap. 3.1.2 beschriebenen Strömungs- und Ausbreitungsmodell MISKAM.

Auf der Grundlage der verfügbaren Verkehrsmengen werden für das entsprechende Bezugsjahr die von den Kraftfahrzeugen emittierten Schadstoffmengen ermittelt. Die mittleren spezifischen Emissionen der Fahrzeuge einer Fahrzeugkategorie (Pkw, leichte Nutzfahrzeuge, Busse etc.) werden mithilfe des „Handbuchs für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs HBEFA“ Version 4.1 (UBA, 2019) bestimmt.

Die Emissionen werden in das Rechengitter übertragen und mit den oben erwähnten Windfeldern der Ausbreitungsrechnung mit dem mikroskaligen Strömungs- und Ausbreitungsmodell MISKAM zugeführt. Unter Einbeziehung der Auftretenshäufigkeit aller möglichen Fälle der meteorologischen Verhältnisse (lokale Wind- und Ausbreitungsklassenstatistik), der berechneten Emissionen des Verkehrs auf den Straßen innerhalb des Untersuchungsgebietes und des Wochengangs der Emissionen werden die im Untersuchungsgebiet auftretenden Immissionen berechnet. Für die Ermittlung der NO<sub>2</sub>-Immissionen werden die verkehrsbedingten Direktmissionen und ein vereinfachtes Chemiemodell zur Abbildung der NO-NO<sub>2</sub>-Konversion berücksichtigt (Düring et al., 2011).

Aus der Häufigkeitsverteilung der berechneten verkehrsbedingten Schadstoffkonzentrationen (Zusatzbelastung) werden die statistischen Immissionskenngrößen Jahresmittel- bzw. Kurzzeitwerte des untersuchten Luftschadstoffes ermittelt. Dieser Zusatzbelastung, verursacht vom Verkehr innerhalb des Untersuchungsgebietes, wird die großräumig vorhandene Hintergrundbelastung überlagert. Die Hintergrundbelastung, die im Untersuchungsgebiet ohne die Emissionen auf den berücksichtigten Straßen vorläge, wird auf der Grundlage von Messwerten an nahe gelegenen Standorten abgeschätzt.



### 3.2.2 Zusammenfassung der Beurteilungswerte

In **Tab. 3.1** werden die in der vorliegenden Studie verwendeten und im Anhang A1 erläuterten Beurteilungswerte für die relevanten Autoabgaskomponenten zusammenfassend dargestellt. Diese Beurteilungswerte sowie die entsprechende Nomenklatur werden im vorliegenden Gutachten durchgängig verwendet.

| Schadstoff      | Beurteilungswert       | Zahlenwert in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |                                                        |
|-----------------|------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------------------|
|                 |                        | Jahresmittel                           | Kurzzeit                                               |
| NO <sub>2</sub> | Grenzwert seit 2010    | 40                                     | 200 (Stundenwert, maximal 18 Überschreitungen/Jahr)    |
| PM10            | Grenzwert seit 2005    | 40                                     | 50 (Tagesmittelwert, maximal 35 Überschreitungen/Jahr) |
| PM2.5           | Grenzwert seit 2015    | 25                                     |                                                        |
| PM2.5           | Richtgrenzwert ab 2020 | 20                                     |                                                        |

Tab. 3.1: Beurteilungsmaßstäbe für Luftschadstoffimmissionen nach 39. BImSchV (2010) sowie Richtgrenzwert PM2.5 entsprechend EU-Luftqualitätsrichtlinie

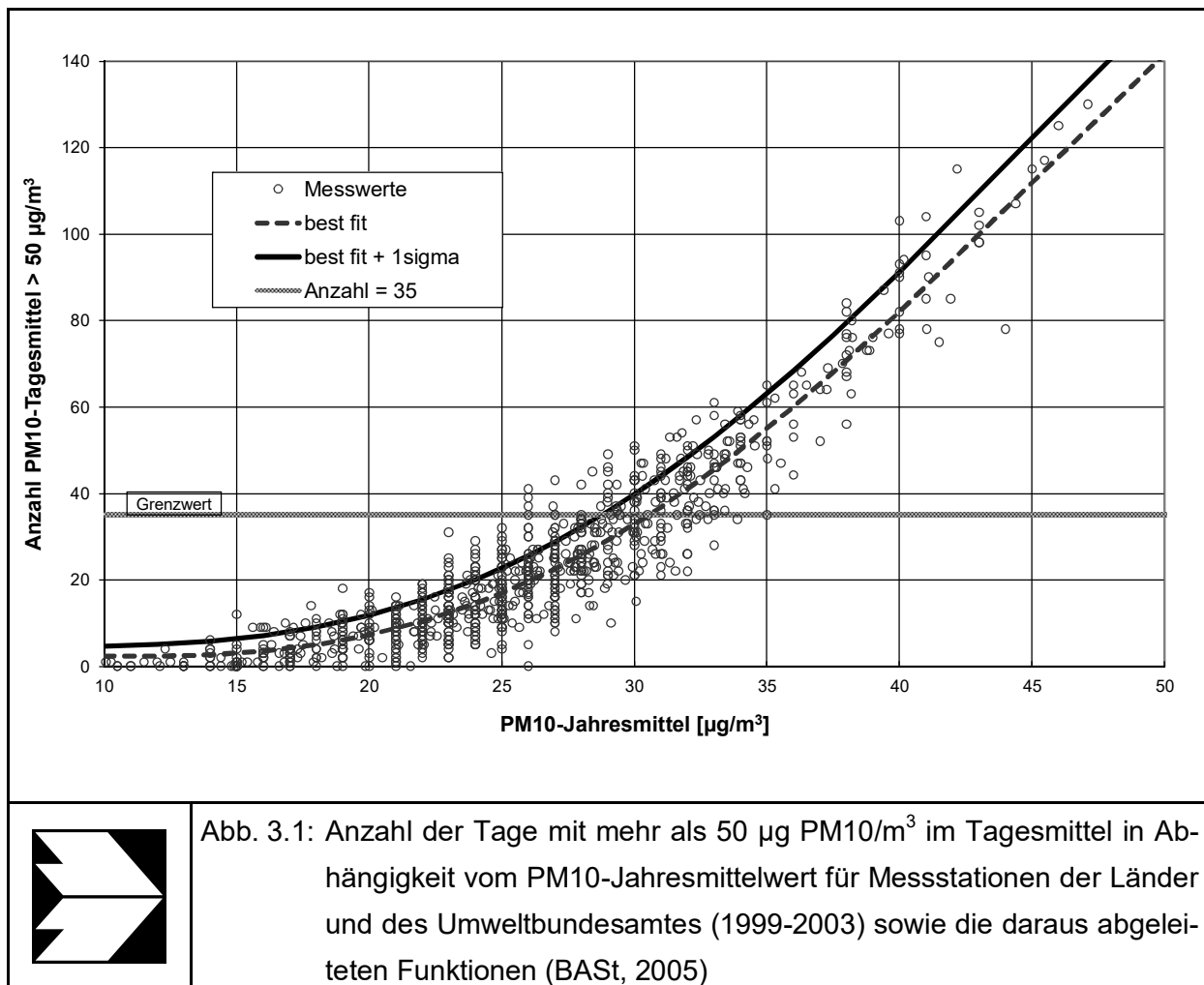
Die Beurteilung der Schadstoffimmissionen erfolgt durch den Vergleich relativ zum jeweiligen Grenzwert.

### 3.2.3 Überschreitungshäufigkeit der Stunden- und Tagesmittelwerte

Die 39. BImSchV definiert u.a. als Kurzzeitgrenzwert für NO<sub>2</sub> einen Stundenmittelwert von 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , der nur 18-mal im Jahr überschritten werden darf. Entsprechend einem einfachen praktikablen Ansatz basierend auf Auswertungen von Messdaten (Lohmeyer et al., 2000) kann abgeschätzt werden, dass dieser Grenzwert dann eingehalten ist, wenn der 98-Perzentilwert 115  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  bis 170  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nicht überschreitet. Die genannte Spannbreite, abgeleitet aus der Analyse von Messdaten verschiedener Messstellen, ist groß; die Interpretationen der Messdaten deuten darauf hin, dass bei einer Unterschreitung des 98-Perzentilwertes von 130  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (= Äquivalentwert) der genannte Grenzwert für die maximalen Stundenwerte eingehalten wird.

Zur Ermittlung der in der 39. BImSchV definierten Anzahl von Überschreitungen eines Tagesmittelwertes der PM10-Konzentrationen von 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  wird ein ähnliches Verfahren ein-

gesetzt. Im Rahmen eines Forschungsprojektes für die Bundesanstalt für Straßenwesen wurde aus 914 Messdatensätzen aus den Jahren 1999 bis 2003 eine gute Korrelation zwischen der Anzahl der Tage mit PM10-Tagesmittelwerten größer als  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und dem PM10-Jahresmittelwert gefunden (**Abb. 3.1**). Daraus wurde eine funktionale Abhängigkeit der PM10-Überschreitungshäufigkeit vom PM10-Jahresmittelwert abgeleitet (BASt, 2005). Die Regressionskurve nach der Methode der kleinsten Quadrate („best fit“) und die mit einem Sicherheitszuschlag von einer Standardabweichung erhöhte Funktion („best fit + 1 sigma“) sind ebenfalls in der **Abb. 3.1** dargestellt.



Im Oktober 2004 stellte die Arbeitsgruppe „Umwelt und Verkehr“ der Umweltministerkonferenz (UMK) aus den ihr vorliegenden Messwerten der Jahre 2001 bis 2003 eine entsprechende Funktion für einen „best fit“ vor (UMK, 2004). Diese Funktion zeigt bis zu einem Jah-

resmittelwert von ca.  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  einen nahezu identischen Verlauf wie der o.g. „best fit“ nach BAST (2005). Im statistischen Mittel wird somit bei beiden Datenauswertungen die Überschreitung des PM10-Kurzzeitgrenzwertes bei einem PM10-Jahresmittelwert von  $31 \mu\text{g}/\text{m}^3$  erwartet.

Im vorliegenden Gutachten wird wegen der Unsicherheiten bei der Berechnung der PM10-Emissionen sowie wegen der von Jahr zu Jahr an den Messstellen beobachteten meteorologisch bedingten Schwankungen der Überschreitungshäufigkeiten eine konservative Vorgehensweise gewählt. Dazu wird die in BAST (2005) angegebene „best fit“-Funktion um einen Sicherheitszuschlag von einer Standardabweichung erhöht. Mehr als 35 Überschreitungen eines Tagesmittelwertes von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Grenzwert) werden mit diesem Ansatz für PM10-Jahresmittelwerte ab  $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$  abgeleitet. Dieser Ansatz stimmt mit dem vom Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen vorgeschlagenen Vorgehen überein (LUA NRW, 2006).

## 4 BESCHREIBUNG DES UNTERSUCHUNGSGEBIETES

Die Stadt Bad Friedrichshall ist im Neckartal gelegen, das dort weitgehend eine Orientierung von Süden nach Norden aufweist, wobei der Neckar direkt in Bad Friedrichshall eine Verschwenkung nach Westen zwischen den von Osten einmündenden Tälern der Kocher und der Jagst aufweist und dann wiederum nach Norden umschwenkt. Südlich von Bad Friedrichshall schließen im Neckartal die Städte Neckarsulm und Heilbronn an.

Das Bebauungsplangebiet „Obere Fundel“ befindet sich am Südrand des südlichen Stadtteils Kochendorf östlich des Neckartals und erhebt sich bis um ca. 30 m über das Neckartal. In östlicher Richtung steigt das Gelände weiter an. Das Bebauungsplangebiet befindet sich östlich der dem Neckartal folgenden Bundesstraße B 27 und wird östlich in einem Bogen von der Kreisstraße K 2117 umfahren.

Im zentralen Bereich des Bebauungsplangebietes „Obere Fundel“ sind Sondergebiete ausgewiesen, die sich in einem Oval mit sieben Gebäudekomplexen um einen zentralen Innenbereich gruppieren. Die jeweiligen Gebäudekomplexe sind mit relativen Gebäudehöhen zwischen 18.5 m und bis 28.5 m über Gelände vorgesehen und weisen umschlossene Innenhofbereiche auf. Die Gebäudekörper sind über bauliche Zugangsbereiche miteinander verbunden. Im westlichen Bereich schließen bauliche Stellplatzanlagen mit 5 Parkebenen bzw. Parkdecks an, die gestuft in das bestehende Gelände eingefügt werden. Für diesen Bereich des Bebauungsplangebietes liegt ein städtebaulicher Entwurf vor, der hier übernommen wurde. Nördlich dieser Gebäudegruppe wird die verlegte Kreisstraße K 2117 durch das Bebauungsplangebiet von Osten nach Westen geführt. Nördlich dieser geplanten Straße und südlich der Amorbacher Straße erstreckt sich von Westen nach Osten eine geplante Ausweisung eines allgemeinen Wohngebietes mit einer zusammenhängenden, umschließenden Baugrenzfestlegung. Dort wird eine Gebäudehöhe bis 11 m über Grund festgelegt und eine Grundflächenzahl von 0.4; für die Strömungsberechnungen wurde mit diesen Festsetzungen eine provisorische Gebäudekonstellation entwickelt. Im nordöstlichen Bereich des Bebauungsplangebietes sind entlang der Amorbacher Straße Mischgebietsnutzungen mit drei voneinander getrennten Baugrenzausweisungen vorgesehen; die Gebäudehöhe wird mit bis zu 11 m über Grund und mit einer Grundflächenzahl von 0.6 festgeschrieben. Diese Bereiche werden mit flächenhaften Baukörpern entsprechend der Baugrenzen und zugelassen Bauwerkshöhen berücksichtigt. Im östlichen Bereich des Bebauungsplangebietes sind zwei Gewerbegebietsnutzungen mit eingetragenen Baugrenzen und Bauwerkshöhen bis 15 m über

Grund ausgewiesen, die für die Strömungsberechnungen mit flächenhaften Baukörpern entsprechend der Baugrenzen und zugelassen Bauwerkshöhen berücksichtigt werden.

**Abb. 4.1** zeigt die Lage des Bebauungsplangebietes mit bestehender und geplanter Bebauung.

## **4.1 Meteorologische Daten**

### **4.1.1 Kaltluftsimulationen**

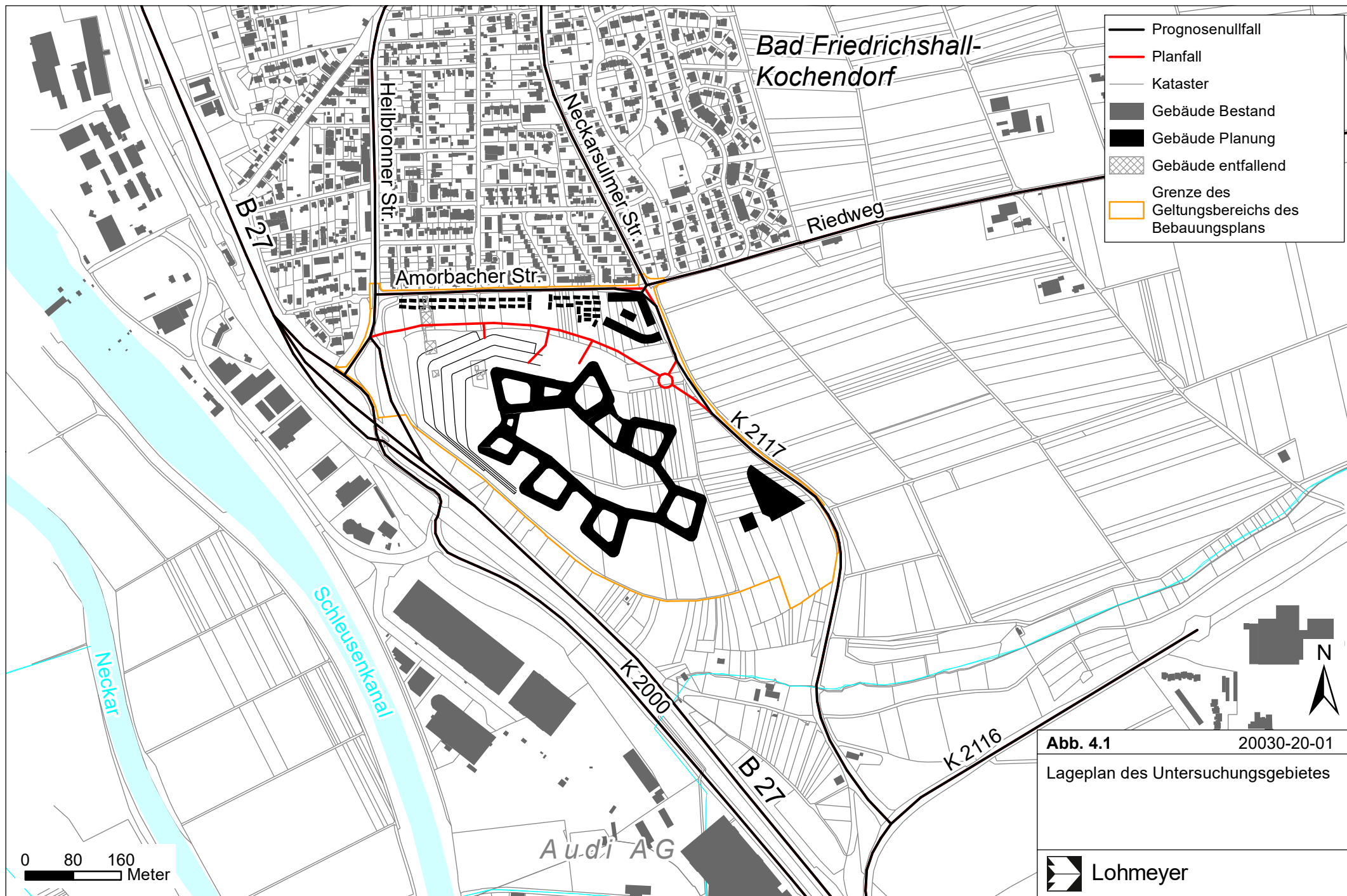
Für die Kaltluftsimulation wird beispielhaft ein schwachwindiger sommerlicher Strahlungstag ausgewählt, dessen abendliche Werte der Temperatur und Feuchte zur Initialisierung des Anfangszustandes der Simulationen mit PALM-4U genutzt werden. Hierzu liegen Messdaten der agrarmeteorologischen Station Oedheim vor. Die Station liegt etwa 3.3 km ostnordöstlich des Plangebietes bzw. etwa 2.5 km östlich des östlichen Siedlungsrandes von Bad Friedrichshall-Kochendorf. Eine sommerliche Episode mit mehreren aufeinanderfolgenden schwachwindigen Strahlungstagen gab es in der Umgebung des Betrachtungsgebietes beispielsweise Ende Juli 2018. **Abb. 4.2** zeigt den Tagesgang der Lufttemperatur, relativen Feuchte und Globalstrahlung an der agrarmeteorologischen Station Oedheim vom 23.07.2018 bis 25.07.2018.

Die Simulation der Kaltluftströmungen wurde mit PALM-4U für den 24.07.2018 um 18:30 Uhr mit den bodennahen Initialisierungswerten der Lufttemperatur von 30 °C und relativen Feuchte von 30 % bei Windstille gestartet. Repräsentative Höhenprofile wurden Radiosondendaten der Station Stuttgart-Schnarrenberg entnommen. Die Simulationsdauer war 12 Stunden, d. h. bis etwa Sonnenaufgang, um die Temperaturabweichungen zwischen dem Plan- und Bestandsfall bei dem morgendlichen Temperaturminimum zu erhalten.

### **4.1.2 Windfeld- und Ausbreitungsberechnungen**

Für die Berechnung der Windverhältnisse werden Winddaten benötigt. Das sind Angaben über die Häufigkeit verschiedener Ausbreitungsverhältnisse in den unteren Luftschichten, die durch Windrichtung, Windgeschwindigkeit und Stabilität der Atmosphäre definiert sind.

Das Betrachtungsgebiet liegt in einem Bereich, in dem keine langjährigen Windmessdaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) vorliegen. Die umliegenden DWD-Station befinden



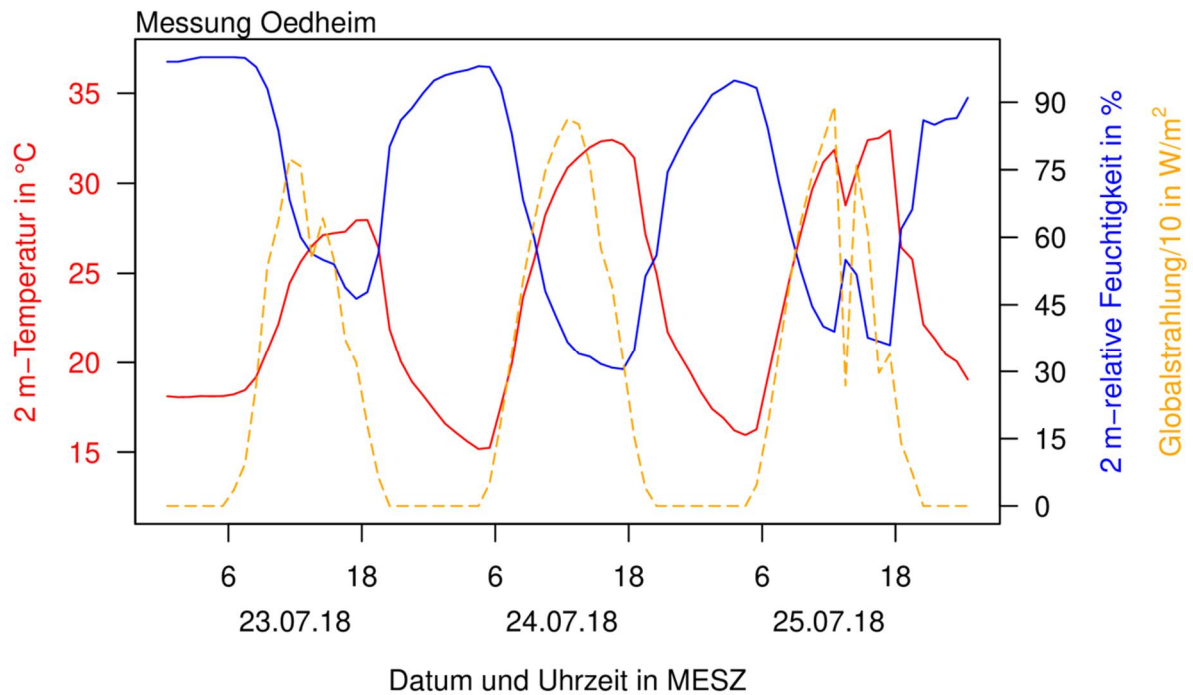


Abb. 4.2: Verlauf der Lufttemperatur und relativen Feuchte in 2 m Höhe sowie der Globalstrahlung an der agrarmeteorologischen Station Oedheim vom 23.07.2018 bis 25.07.2018 (Quelle: <https://www.wetter-bw.de>).

sich im Abstand von mehr 10 km in südlicher Richtung in Heilbronn, mehr als 20 km östlich in Öhringen oder mehr als 20 km westlich in Waibstadt. In Heilbronn werden ca. 5 km südlich vom Plangebiet an der Luftmessstation im Neckartal am Hangfuß auch Windmessungen durchgeführt, die aufgrund ihrer Lage nicht auf das Bbauungsplangebiet übertragbar sind.

Für Baden-Württemberg liegen Angaben der Windrichtungsverteilung in Form von synthetischen Windrosendarstellungen im 500 m Raster vor, die im Internet einsehbar sind (LUBW im Internet). Für das Plangebiet ist die entsprechende Windrose in **Abb. 4.3** dargestellt und zeigt als Hauptwindrichtungen südwestliche Winde, wobei ebenfalls südliche Winde entsprechend der Orientierung des Neckartals häufig vorkommen; nordöstliche Windrichtungen bilden ein weiteres Maximum.

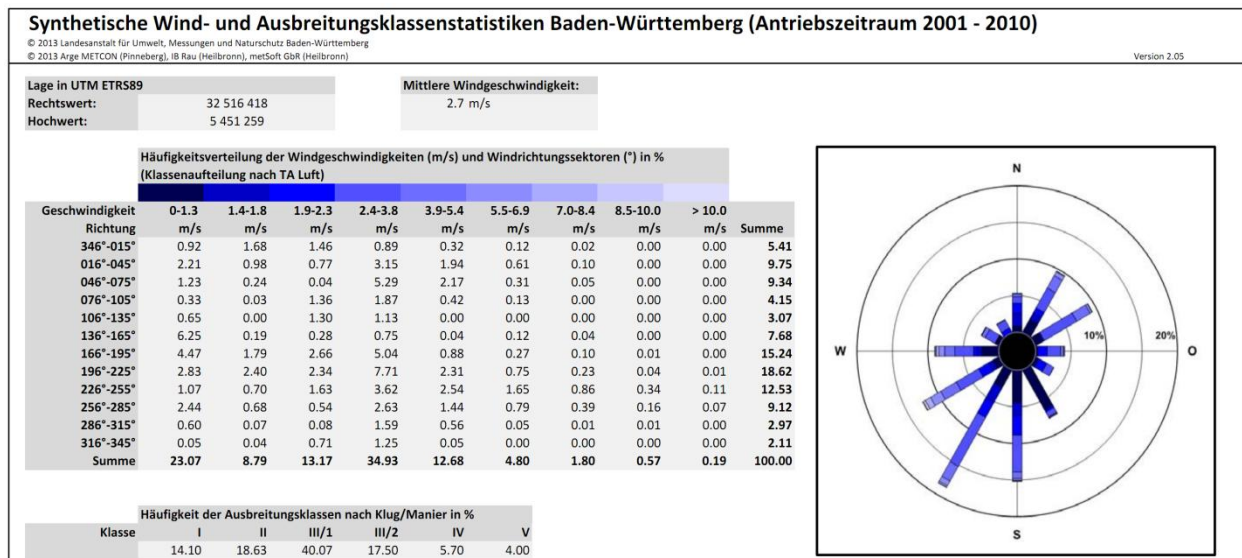


Abb. 4.3: Synthetische Windrose für den Bereich des Bebauungsplans „Obere Fundel“ in Bad Friedrichshall (Quelle: LUBW).

Weiter liegen für Deutschland flächenhaft regional repräsentative Winddaten der Jahre 2008 bis 2017 mit den Reanalysedaten des DWD (Bollmeyer et al., Borsche et al., Kaiser-Weiss et al., 2015; Borsche et al., 2016) vor, die als Flächenmittelwerte für ca. 6 km x 6 km verfügbar sind und in denen in entsprechender räumlicher Auflösung das Relief und die mittlere Landnutzung berücksichtigt sind. Aus diesen Daten wurden für die vorliegende Aufgabenstellung die Winddaten für den Kuppenbereich südöstlich von Bad Friedrichshall ausgelesen.

Die entsprechende Windrose ist in **Abb. 4.4** aufgezeigt. Die Hauptwindrichtungen werden durch Winde aus dem südwestlichen bis westlichen Sektor geprägt; Winde aus dem nordöstlichen Sektor kommen häufig vor und Winde aus dem südlichen Sektor sind ebenfalls mit erhöhter Häufigkeit vertreten. Die mittlere Windgeschwindigkeit wurde mit ca. 2.9 m/s in 10 m über der Landnutzung erfasst.

Für die Ausbreitungsrechnungen werden die beschriebenen Winddaten der Reanalysedaten für den südöstlichen Bereich von Bad Friedrichshall unter Berücksichtigung der Rauigkeiten in der Umgebung des Plangebietes herangezogen.



## Windverteilung in Prozent

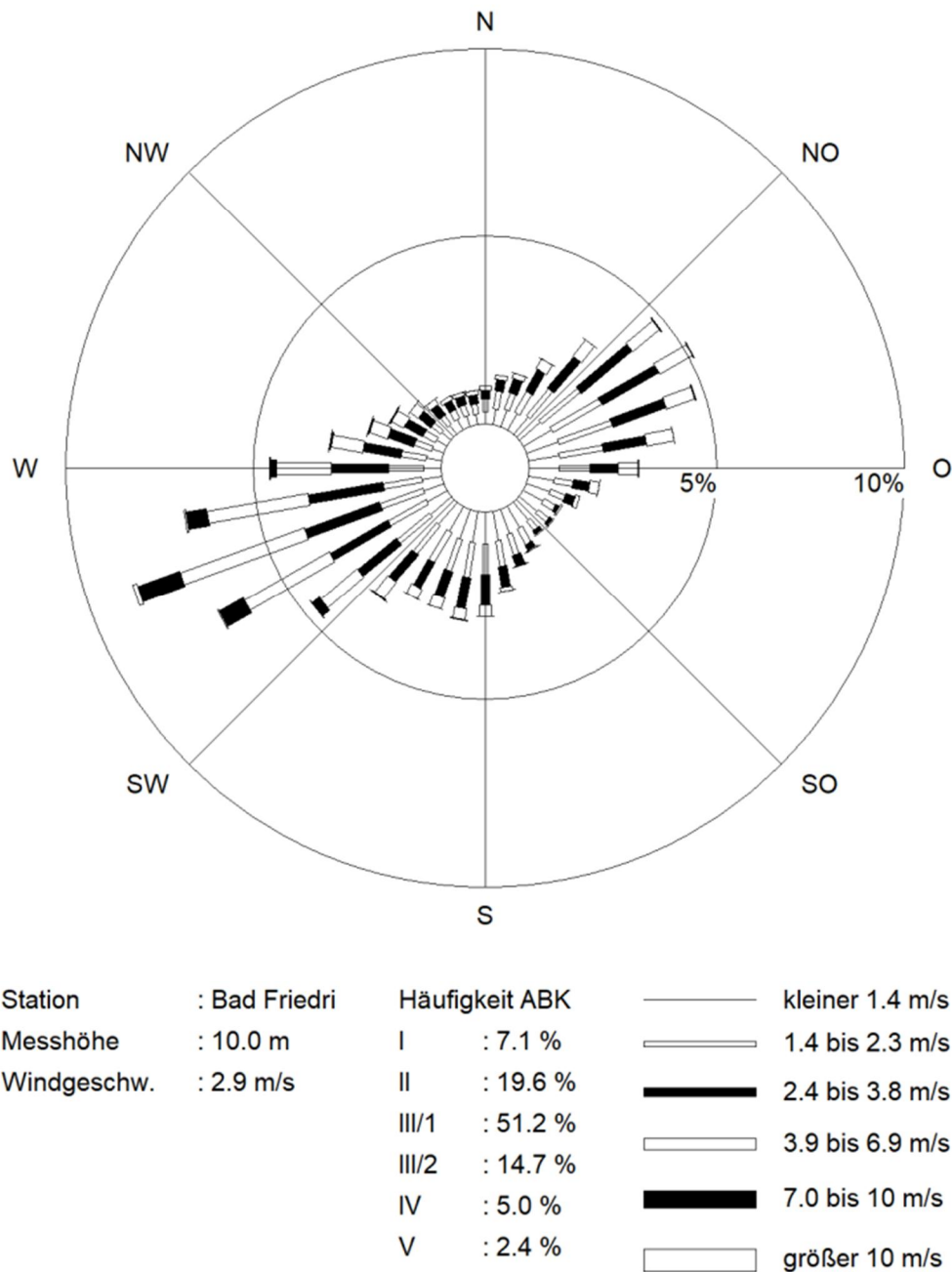


Abb. 4.4: Windrose der Reanalysedaten des DWD für den Zeitraum 2008 bis 2017 für den Bereich des Bebauungsplans „Obere Fundel“ in Bad Friedrichshall (Quelle: DWD).

### 4.1.3 Schadstoffhintergrundbelastung

Die Immission eines Schadstoffes im Nahbereich von Straßen setzt sich aus der großräumig vorhandenen Hintergrundbelastung und der straßenverkehrsbedingten Zusatzbelastung zusammen. Die Hintergrundbelastung entsteht durch Überlagerung von Immissionen aus Industrie, Hausbrand, nicht detailliert betrachtetem Nebenstraßenverkehr und weiter entfernt fließendem Verkehr sowie überregionalem Ferntransport von Schadstoffen. Es ist die Schadstoffbelastung, die im Untersuchungsgebiet ohne Verkehr auf den explizit in die Untersuchung einbezogenen Straßen vorliegen würde.

Die Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) betreibt das Messnetz für Luftschadstoffe in Baden-Württemberg. In den Jahresberichten über die Immissionsmesswerte sind u.a. Angaben zu den statistischen Kenngrößen der gemessenen Luftschadstoffe zu finden (LUBW, 2011-2020). Die vorliegenden Daten für die dem Untersuchungsgebiet nächstgelegenen Stationen sind auszugsweise in **Tab. 4.2** aufgeführt.

Die Messwerte weisen die relativ höchsten Konzentrationen für NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte und vor allem für die verkehrsnahen Messstandorte auf. Die PM<sub>10</sub>-Konzentrationen sind gegenüber den erfassten NO<sub>2</sub>-Konzentrationen deutlich geringer. Die Ozonkonzentration wird mit 45 µg/m<sup>3</sup> für die NO-NO<sub>2</sub>-Konversion mittels vereinfachtem Chemiemodell (Düring et al., 2011) angesetzt.

Aus den verfügbaren Messdaten der Station Heilbronn werden für die Immissionsprognosen die Werte der **Tab. 4.3** für die Hintergrundbelastung im Untersuchungsgebiet angesetzt.

### 4.1.4 Verkehrsdaten

Die Verkehrsbelegungsdaten wurden durch den Auftraggeber in Form von Plänen aus der „Verkehrsuntersuchung Bebauungsplan „Obere Fundel“ im Stadtteil Kochendorf“ von BS-Ingenieure mit dem Stand 10. März 2020 für den Nullfall – Prognose 2030 und den Planfall – Prognose 2030 zur Verfügung gestellt. Das sind für das Betrachtungsgebiet mit direkter Umgebung Angaben der durchschnittlichen werktäglichen Verkehrsstärken (DTV<sub>w</sub>) im Prognosejahr 2030 und für den Planfall Angaben und der LKW-Fahrten in Tabellenform. Die Verkehrsbelegungsdaten werden hier unverändert auf das Bezugsjahr 2024 angewendet, dem Bezugsjahr der möglichen Inbetriebnahme wesentlicher Teile der Planung.

| Schadstoffkomponente                                         |      | Heilbronn | Heilbronn<br>Weinsberger<br>Straße Ost | Ilfsfeld<br>König-Wilhelm-<br>Straße | Ingersheim<br>Tiefengasse | Pleidelsheim<br>Beihinger Str. |
|--------------------------------------------------------------|------|-----------|----------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| NO <sub>2</sub><br>Jahres-<br>mittel<br>in µg/m <sup>3</sup> | 2010 | 31        | 73                                     | -                                    | 57                        | 58                             |
|                                                              | 2011 | 31        | 71                                     | 50                                   | 56                        | 63                             |
|                                                              | 2012 | 29        | -                                      | 51                                   | 50                        | 56                             |
|                                                              | 2013 | 31        | 64                                     | 49                                   | 43                        | 48                             |
|                                                              | 2014 | 30        | 65                                     | 46                                   | 42                        | 48                             |
|                                                              | 2015 | 30        | 64                                     | 46                                   | 41                        | 49                             |
|                                                              | 2016 | 29        | 57                                     | 41                                   | 37                        | 47                             |
|                                                              | 2017 | 26        | 55                                     | 38                                   | -                         | 44                             |
|                                                              | 2018 | 28        | 52                                     | 33                                   | -                         | 39                             |
|                                                              | 2019 | 24        | 47                                     | 30                                   | -                         | 36                             |
| PM10<br>Jahres-<br>mittel<br>in µg/m <sup>3</sup>            | 2010 | 24        | 36                                     | -                                    | -                         | 31                             |
|                                                              | 2011 | -         | 34                                     | 28                                   | 28                        | 29                             |
|                                                              | 2012 | -         | -                                      | 26                                   | 25                        | 25                             |
|                                                              | 2013 | -         | 30                                     | 25                                   | -                         | 26                             |
|                                                              | 2014 | -         | 28                                     | 26                                   | 23                        | 24                             |
|                                                              | 2015 | 22        | 27                                     | -                                    | -                         | -                              |
|                                                              | 2016 | 20        | 24                                     | -                                    | -                         | -                              |
|                                                              | 2017 | 20        | 24                                     | -                                    | -                         | -                              |
|                                                              | 2018 | 20        | 25                                     | -                                    | -                         | -                              |
|                                                              | 2019 | 18        | 22                                     | -                                    | -                         | -                              |
| PM10-<br>Über-<br>schrei-<br>tungsta-<br>ge<br>(Anzahl)      | 2010 | 19        | 63                                     | -                                    | -                         | 40                             |
|                                                              | 2011 | -         | 54                                     | 37                                   | 37                        | 42                             |
|                                                              | 2012 | -         | -                                      | 23                                   | 20                        | 19                             |
|                                                              | 2013 | -         | 29                                     | -                                    | 24                        | 26                             |
|                                                              | 2014 | -         | 22                                     | 18                                   | 9                         | 15                             |
|                                                              | 2015 | 10        | 17                                     | -                                    | -                         | -                              |
|                                                              | 2016 | 3         | 9                                      | -                                    | -                         | -                              |
|                                                              | 2017 | 13        | 13                                     | -                                    | -                         | -                              |
|                                                              | 2018 | 5         | 7                                      | -                                    | -                         | -                              |
|                                                              | 2019 | -         | 31                                     | -                                    | 2                         | 11                             |

Tab. 4.2: Jahreskenngrößen der Luftschadstoff-Messwerte an Messstationen in der Umgebung des Untersuchungsgebietes (LUBW, 2011-2020)

| Schadstoff      | Jahresmittelwert<br>in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |
|-----------------|-------------------------------------------------|
| NO <sub>2</sub> | 24                                              |
| PM10            | 18                                              |

Tab. 4.3: Angesetzte Schadstoffhintergrundbelastung im Untersuchungsgebiet im Bezugsjahr 2019/2024

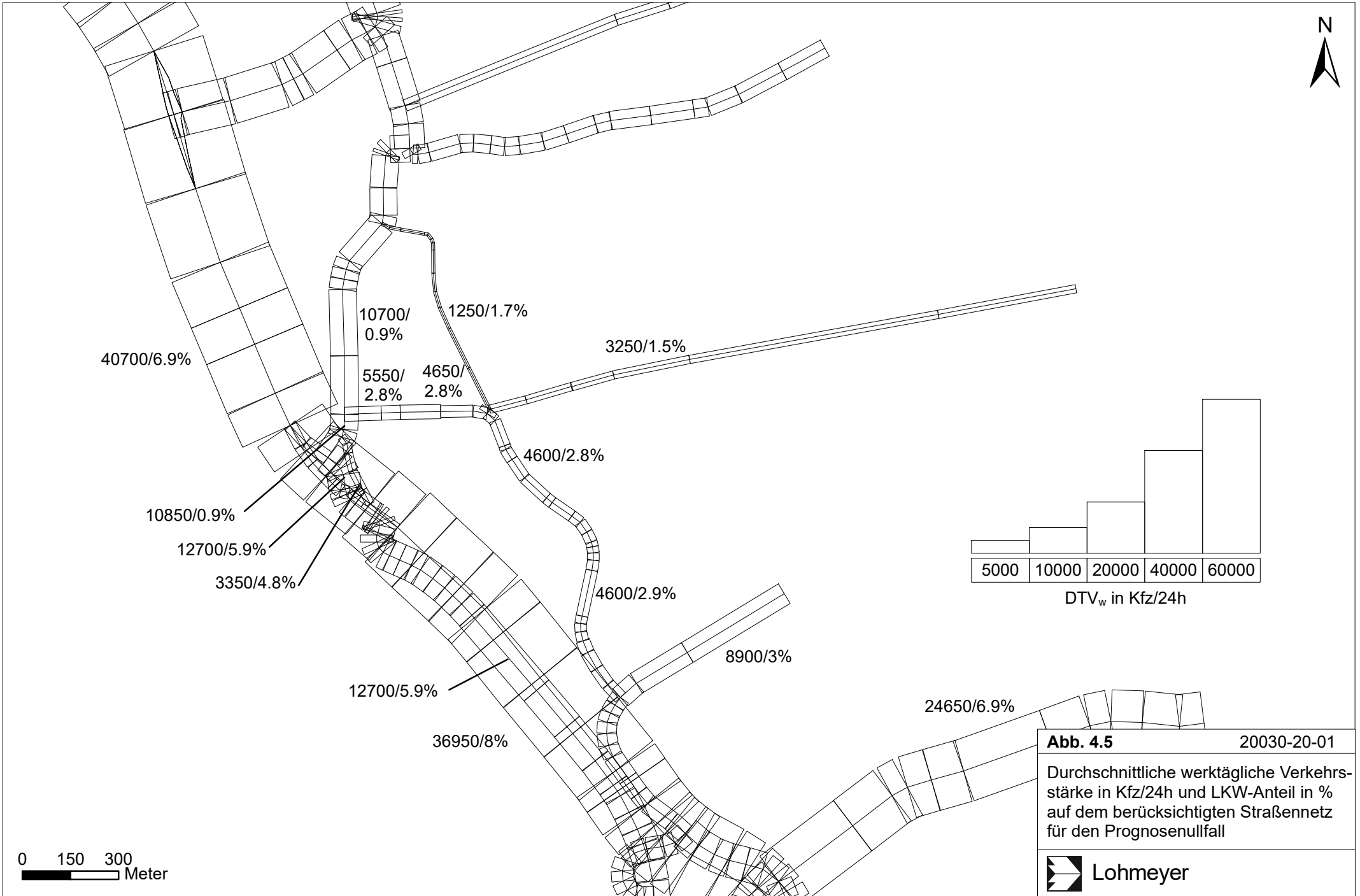
Die Verkehrsbelegungsdaten sind für die zu betrachtenden Untersuchungsfälle in **Abb. 4.5** und **Abb. 4.6** aufgezeigt.

Für die geplanten Stellplatzanlagen im Bebauungsplangebiet sind die Angaben über die Anzahl der Stellplätze je Parkebene und deren Frequentierung der Ausarbeitung „Stadt Bad Friedrichshall, Bebauungsplan „Obere Fundel“, Verkehrs- und Schalltechnische Untersuchung, 3. Fortschreibung“ von Ingenieurbüro Zimmermann mit Stand 30.4.2020 entnommen. Insgesamt sind fünf Parkierungsgeschosse vorgesehen, die in zwei Bauabschnitten untergliedert sind. Für die vorliegenden Berechnungen wird der Endzustand mit beiden Bauabschnitten herangezogen.

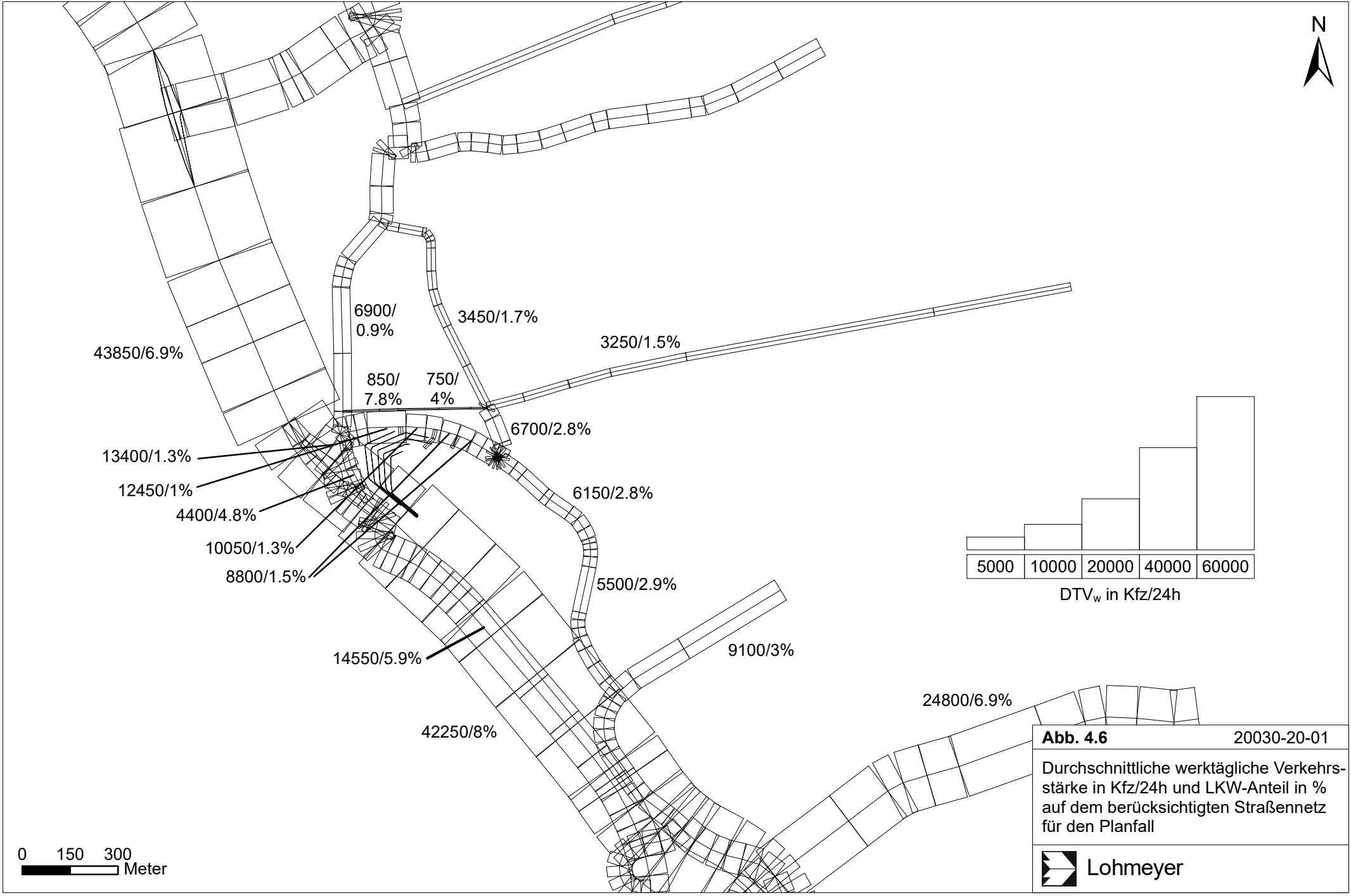
Die unterste Parkebene wird mit PG 5 bezeichnet und ist mit 830 Stellplätzen, die darüber gelegene Parkebene PG 4 mit 800 Stellplätzen vorgesehen, die beide über eine gemeinsame Zu- und Ausfahrt an die verlegte K 2117 angebunden werden. Die Parkebene PG 3 umfasst 800 Stellplätze, die Parkebene PG 2 umfasst 505 Stellplätze und die Parkebene PG 1 umfasst 200 Stellplätze, die über eine zweite Zu- und Ausfahrt an die verlegte K 2117 angebunden werden. Im 2. Bauabschnitt wird die Parkebene PG 2 um 750 Stellplätze und die Parkebene PG 1 um 600 Stellplätze erweitert, die jeweils über eine dritte Zu- und Ausfahrt an die verlegte K 2117 angebunden werden.

Das ergibt insgesamt 4 485 Stellplätze, für die im Mittel zwei Fahrten pro Tag angesetzt werden.

Zur Berechnung der zeitlichen Verteilung der Emissionen werden zusätzlich zu den Verkehrsstärken und LKW-Anteilen die Verkehrstagesganglinien an Werktagen, Samstagen und Sonntagen benötigt, die insbesondere der Ermittlung der Kurzzeitbelastungen dienen. Die für die Berechnung verwendeten Verkehrstagesganglinien sind als typische Verkehrstagesganglinien für die B 27 bei Bad Friedrichshall-Kochendorf aus der Fachliteratur (BAST, 2018) entnommen.



0 150 300  
Meter



**Abb. 4.6** 20030-20-01

Durchschnittliche werktägliche Verkehrsstärke in Kfz/24h und LKW-Anteil in % auf dem berücksichtigten Straßennetz für den Planfall

 Lohmeyer

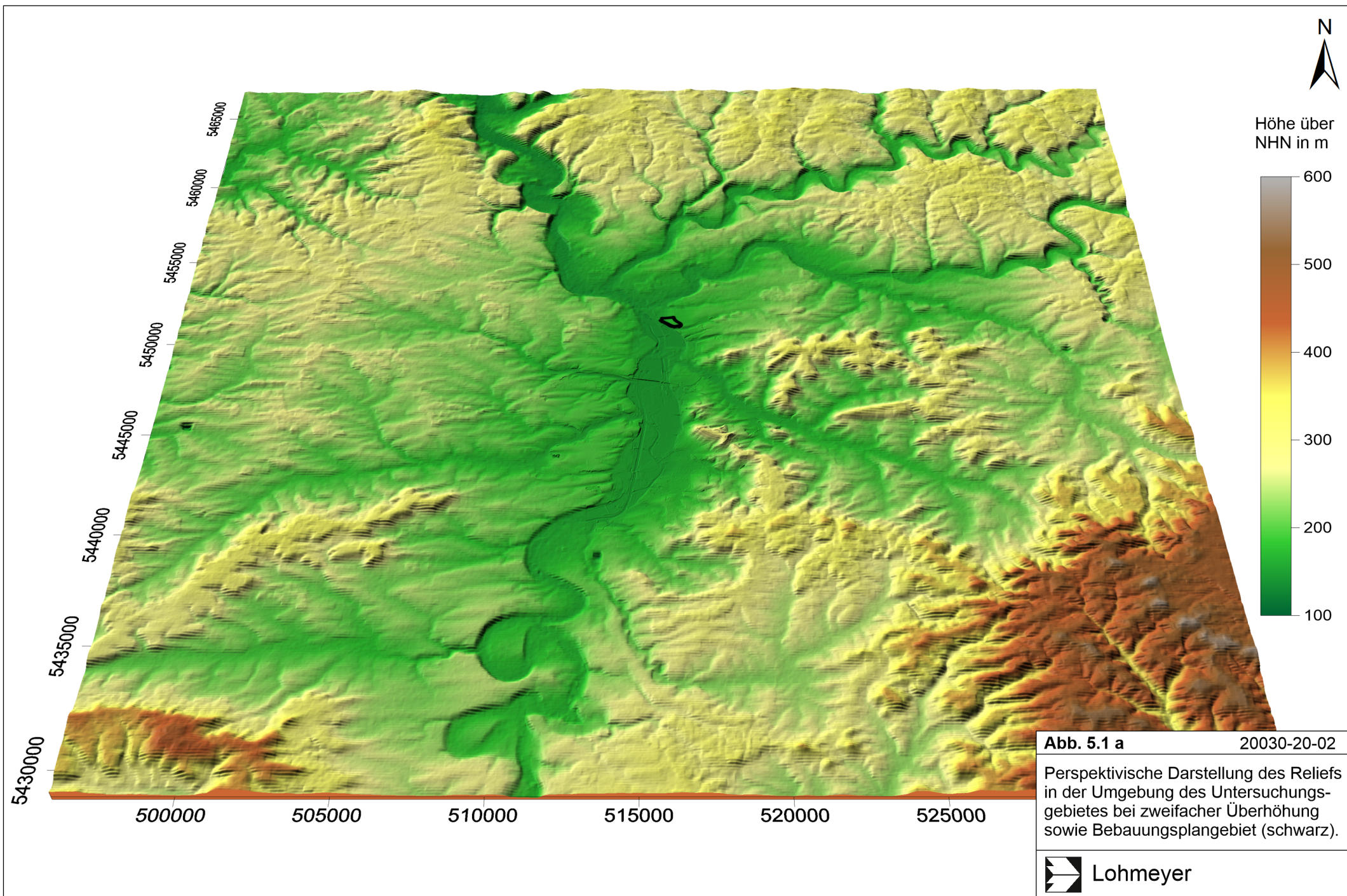
## 5 ERGEBNISSE DER KALTLUFTSIMULATIONEN

Für das Aufzeigen der Auswirkungen der geplanten Nutzungsänderungen auf die Kaltluftströmungen wurden Simulationen für den baulichen Bestand und den Planfall mit dem Modell PALM-4U durchgeführt. Dafür wurde ergänzend zum Untersuchungsgebiet das umliegende Gelände mit den Geländeanstiegen berücksichtigt (**Abb. 5.1 a**). Das Gebiet wurde so groß gewählt, dass die Einflüsse der umliegenden Geländeerhebungen auf die Kaltluftströmungen erfasst werden.

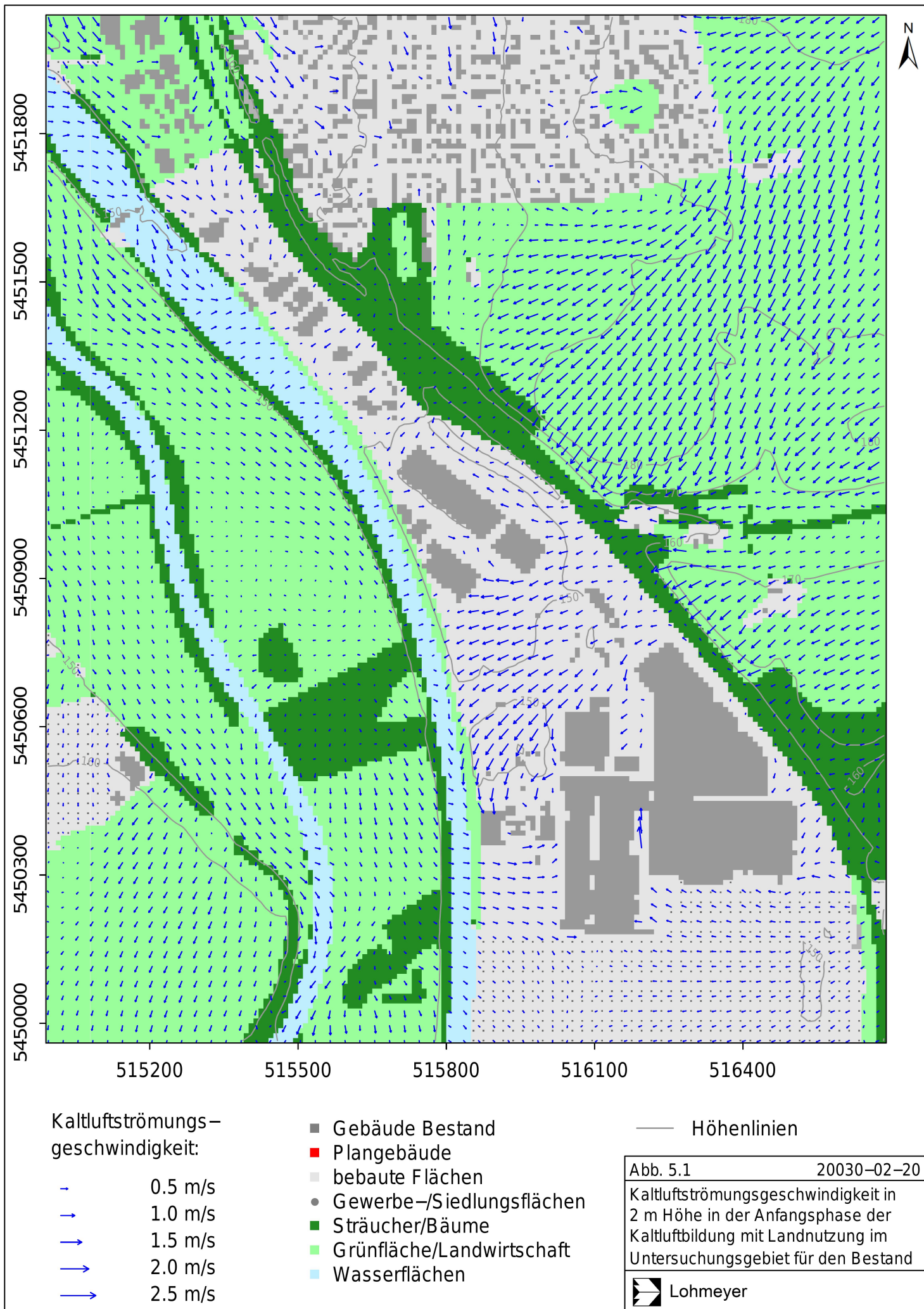
Die Ergebnisse der Kaltluftberechnungen beinhalten die Richtung und die Geschwindigkeit des Kaltluftstroms, die Mächtigkeit der Kaltluft und die daraus resultierende Kaltluftvolumenstromdichte. Die Kaltluftvolumenstromdichte beschreibt die Kaltluftmenge in  $\text{m}^3$ , die pro Sekunde durch einen 1 m breiten Streifen zwischen der Erdoberfläche und der Oberkante der Schichtdicke, die senkrecht zur Strömung steht, fließt; die Einheit ist  $\text{m}^3/(\text{m s})$  bzw.  $\text{m}^2/\text{s}$ . Falls die Volumenstromdichte über einen Querschnitt konstant ist, lässt sich der Volumenstrom direkt und einfach als Volumenstromdichte mal Länge der Grundlinie dieser Fläche berechnen. Der Kaltluftvolumenstrom kann als Größe zur Beschreibung der Durchlüftungsintensität aufgefasst werden. Darüber hinaus werden die Windrichtung, Windgeschwindigkeit und die Lufttemperatur in Bodennähe (2 m über Grund) betrachtet.

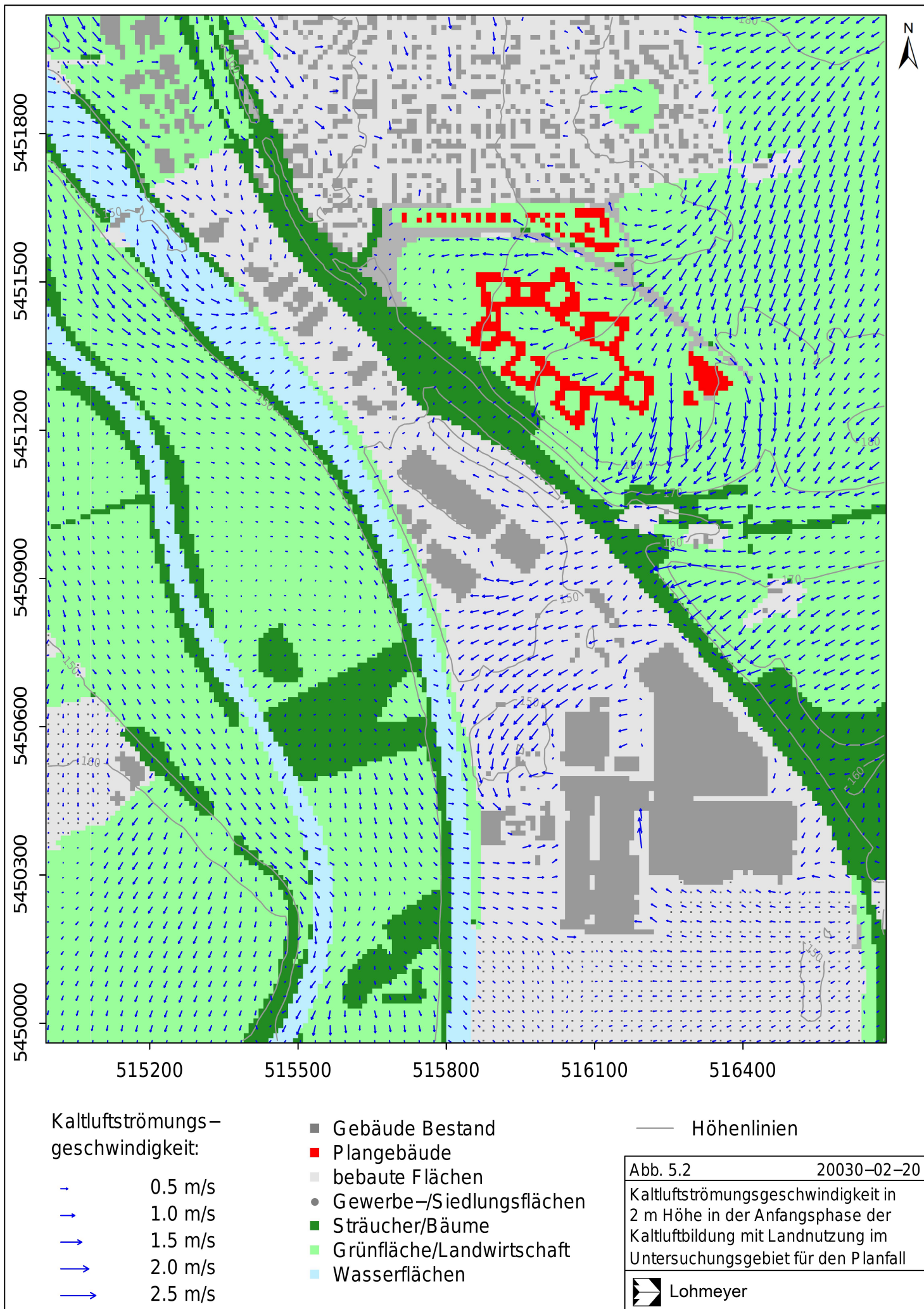
In den unbebauten Bereichen des Untersuchungsgebietes und dessen Nahbereichen bildet sich bei den entsprechenden Wetterlagen bodennah Kaltluft aus, die die Hänge der umliegenden Hügel in die Talbereiche des Neckartals und dessen Seitentäler hinab strömt. Neben den lokalen Kaltluftentstehungsbereichen strömen entlang der Seitentäler des Neckartals auch von weiter entfernten Bereichen im Laufe der Nacht kühle Luftmassen talabwärts in das Neckartal. **Abb. 5.1** zeigt die Kaltluftströmungsgeschwindigkeit in der Anfangsphase der Kaltluftbildung (22:00 Uhr) im Bestand. Von den Hängen östlich des Plangebietes strömen bodennah Kaltluftmassen aus nordöstlichen Richtungen mit etwa 1 m/s über das Plangebiet, bevor diese in das Neckartal hinab strömen. Dort reichen die nordöstlichen Strömungen bis zum Schleusenkanal, wo sie mit bodennahen Strömungen aus Nordwesten und Westen aufeinandertreffen. Im nordwestlichen Bereich des Plangebietes, d. h. südlich der Amorbacher Straße, ergeben sich bodennah schwächere nördlich gerichtete Strömungen mit weniger als 0.5 m/s. Aufgrund der Plangebäude ergeben sich deutliche Änderungen der Strömungsrichtungen und Strömungsgeschwindigkeiten im Nahbereich der Planungen (**Abb. 5.2**). Im Nahbereich der Plangebäude sowie in deren Vorlauf und Nachlauf ergeben sich größtenteils Abnahmen der Strömungsgeschwindigkeiten. Die bodennahen Strömungen aus Nordosten reichen im Neckartal teilweise weiter bis etwa zum Schleusenkanal, teilweise ergeben sich







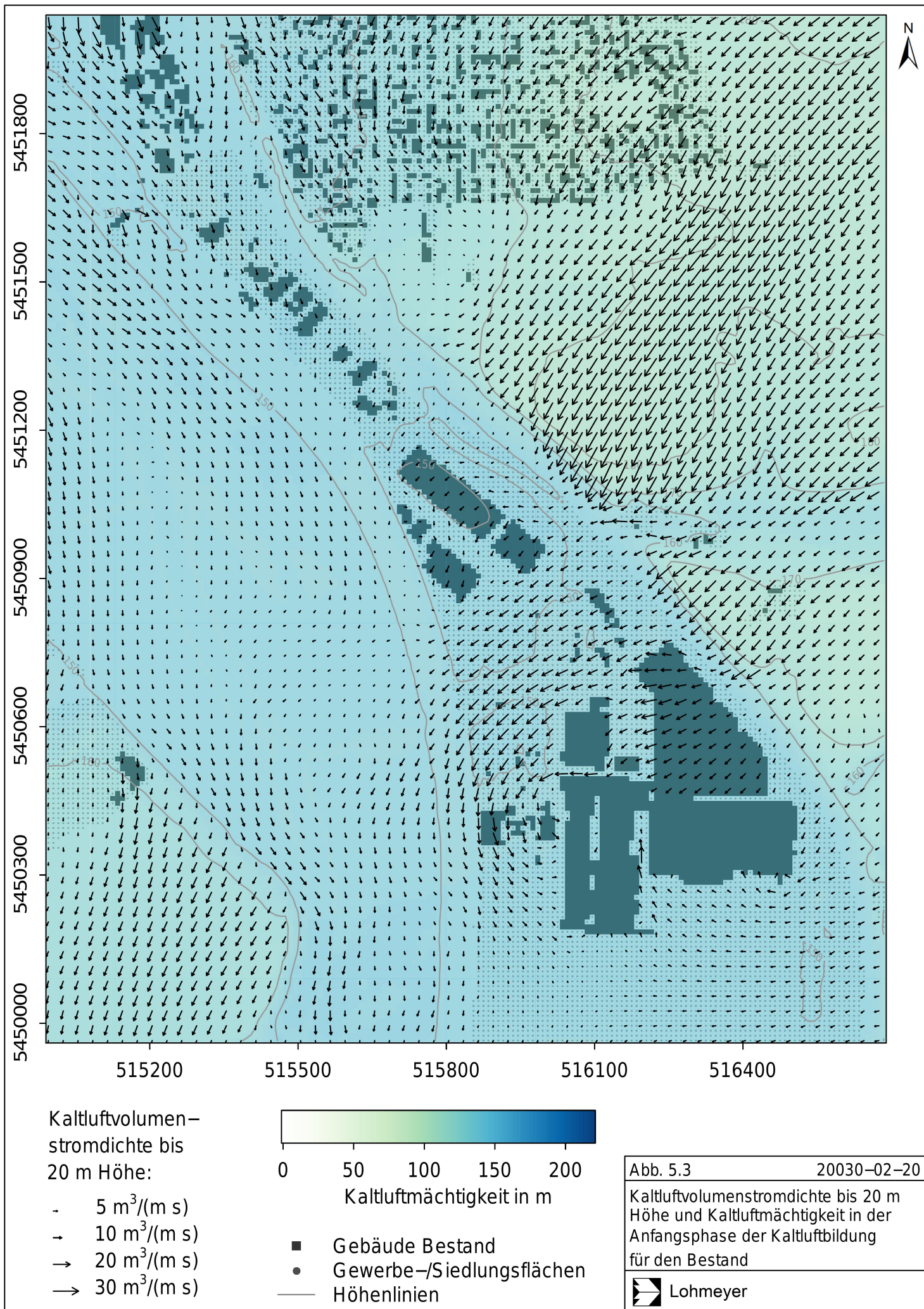


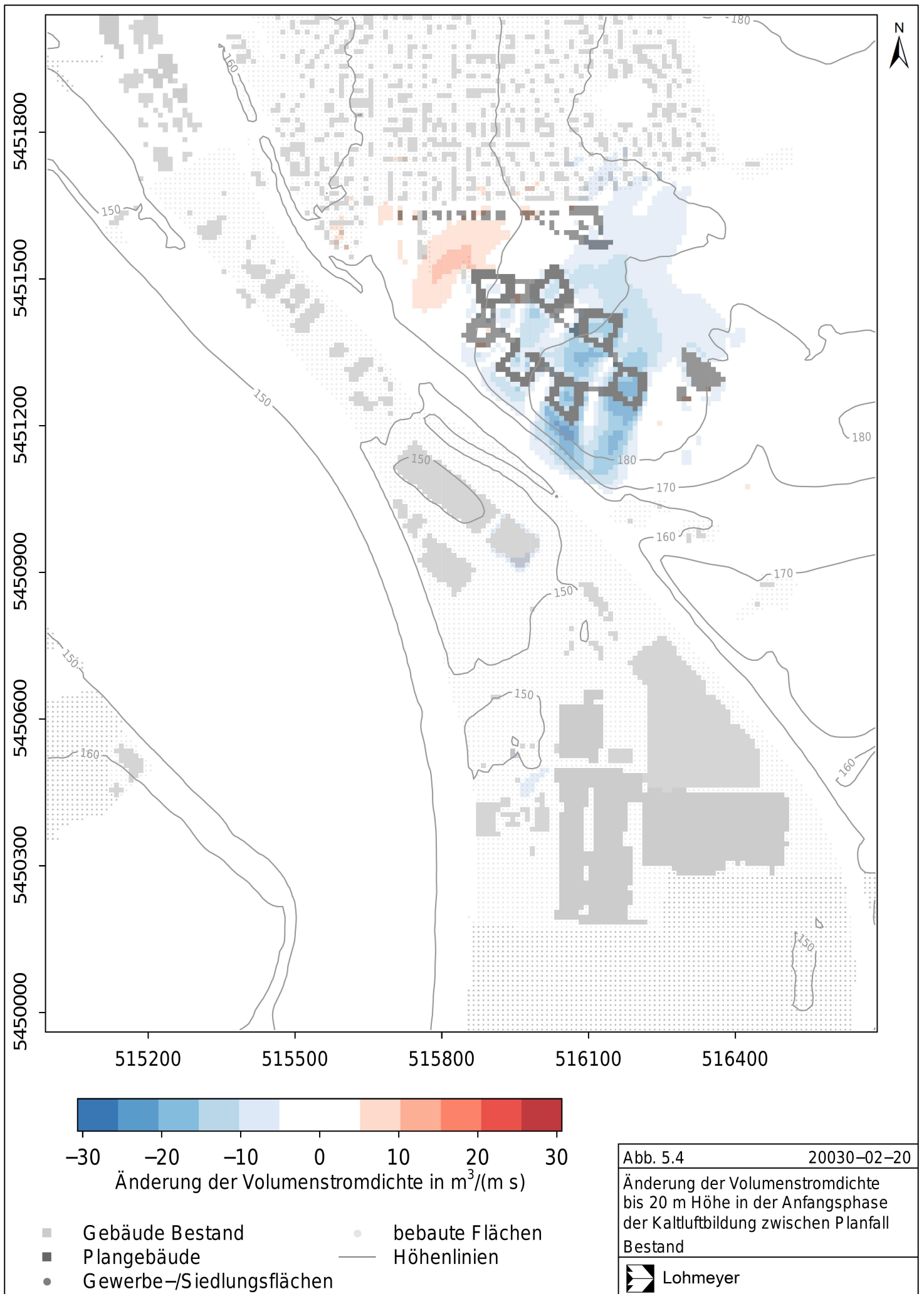


Abnahmen der Reichweite um etwa 50 m. Dort setzen sich die Strömungen aus Nordwesten und Westen durch, die westlich des Schleusenkanals simuliert werden. Durch die Umströmung der zentralen Plangebäude und der Barrierewirkung der nördlichen Plangebäude fallen die bodennah nördlich gerichteten Strömungen im nordwestlichen Bereich des Plangebietes größtenteils weg.

**Abb. 5.3** zeigt neben der Kaltluftmächtigkeit in der Anfangsphase der Kaltluftbildung, die je nach Exposition über dem Plangebiet zwischen 100 m und 120 m ist, die Kaltluftvolumenstromdichte bis 20 m über Grund. Da die Kaltluftströmungen in den bodennahen Schichten aufgrund des Einflusses des Reliefs teilweise andere Strömungsrichtungen aufweisen als der Kaltluftstrom darüber und um den für den Menschen relevanten Bereich zu berücksichtigen, wird eine Unterteilung in die Volumenstromdichte und deren Richtung für die unteren 20 m und für diejenigen darüber bis zur Höhe der Kaltluftschicht dargestellt. Damit ist die Volumenstromdichte in den unteren 20 m nur abhängig von der mittleren Strömungsgeschwindigkeit bis in 20 m Höhe, abgesehen von Bereichen, in denen die Kaltluftmächtigkeit kleiner als 20 m ist, d. h. in Hangbereichen oder über Gebäuden; für Gebäudehöhen größer als 20 m wird keine Volumenstromdichte bis 20 m Höhe ausgegeben. Die Kaltluftvolumenstromdichten variieren über dem Plangebiet je nach Lage zwischen weniger als  $5 \text{ m}^3/(\text{m s})$  und  $30 \text{ m}^3/(\text{m s})$ . In Bereichen, die nicht oder nur wenig von der Bebauung des Siedlungsgebietes von Bad Friedrichshall-Kochendorf beeinflusst werden, d. h. die südöstlichen Bereiche des Planungsgebietes, entspricht die mittlere Richtung der Kaltluftströmung bis 20 m Höhe derjenigen der bodennahen Strömungen (**Abb. 5.1**). In den mehr vom bestehenden Siedlungsgebiet beeinflussten Bereichen weichen die Strömungsrichtungen voneinander ab, beispielsweise ergeben sich keine bzw. nur minimale nördlich gerichtete Strömungen südlich der Amorbacher Straße. Das bedeutet, die nördlich gerichteten Strömungen treten dort nur bodennah auf. Aufgrund der Planung (**Abb. 5.4**) werden die Kaltluftvolumenstromdichten unter 20 m über Grund vor allem im Nahbereich der Plangebäude deutlich reduziert. In Bezug auf die zentralen Plangebäude entstehen Verringerungen der Volumenstromdichten bis etwa 150 m südsüdwestlich der Gebäude. Nordnordöstlich der Planung ergeben sich teilweise ebenfalls Verringerungen der Kaltluftvolumenstromdichten bis 20 m Höhe, jedoch von geringerer Intensität als in Strömungsrichtung. Im nordwestlichen Bereich des Plangebietes ergeben sich teils geringe Erhöhungen der Kaltluftvolumenstromdichten bis 20 m Höhe, die auf erhöhte Windgeschwindigkeiten aufgrund des Wegfalls der bestehenden Gebäude und von Düseneffekten zwischen den Plangebäuden zurückzuführen sind.



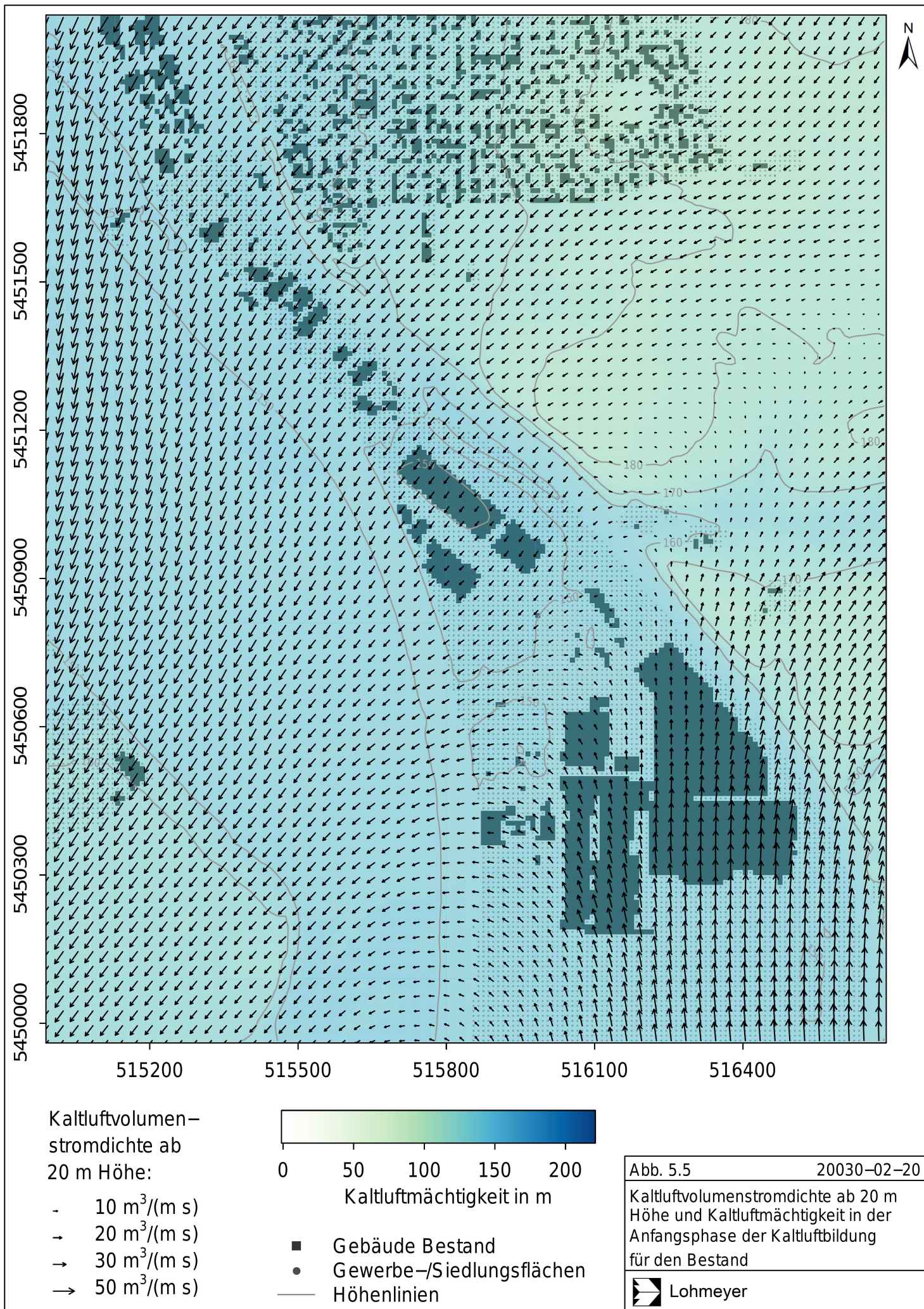


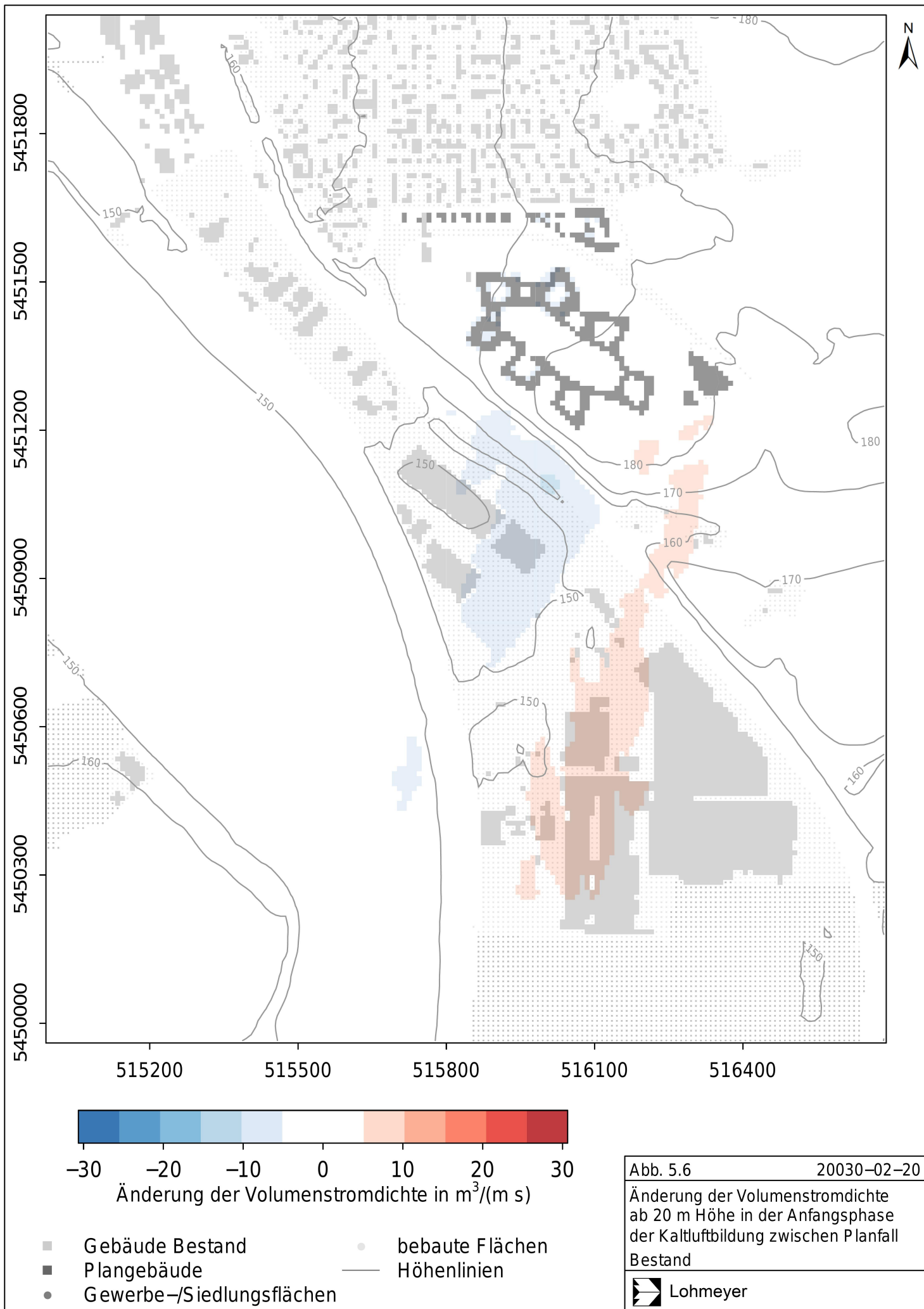


**Abb. 5.5** zeigt neben der Kaltluftmächtigkeit in der Anfangsphase der Kaltluftbildung die Kaltluftvolumenstromdichte ab 20 m über Grund bis zur Höhe der Kaltluftschicht. Aufgrund der höheren Maximalwerte im dargestellten Bereich im Vergleich zur Kaltluftvolumenstromdichte bis 20 m über Grund wurde hier eine andere Skalierung der Pfeillängen gewählt. Über dem Plangebiet ergeben sich Volumenstromdichten von weniger als  $10 \text{ m}^3/(\text{m s})$  im südöstlichen Bereich des Plangebietes und etwa  $20 \text{ m}^3/(\text{m s})$  im nordwestlichen Bereich des Plangebietes. Das bedeutet, eine geringere Volumenstromdichte im südöstlichen Bereich als in den unteren 20 m und höhere Volumenstromdichte im nordwestlichen Bereich als in den unteren 20 m. Dies resultiert aus dem Zusammenströmen kräftiger Höhenströme aus Nordosten und Süden im Bereich des Plangebietes zum Auswertezeitpunkt. Aufgrund der Planung (**Abb. 5.6**) werden die Kaltluftvolumenstromdichten ab 20 m über Grund nur gering verändert. Eine geringe Reduzierung der Kaltluftvolumenstromdichte ergibt sich südwestlich des Plangebietes. In Folge dessen ergeben sich für die in der Höhe von Süden anströmenden Luftmassen gering höhere Volumenstromdichten über den Gewerbeflächen weiter südöstlich.

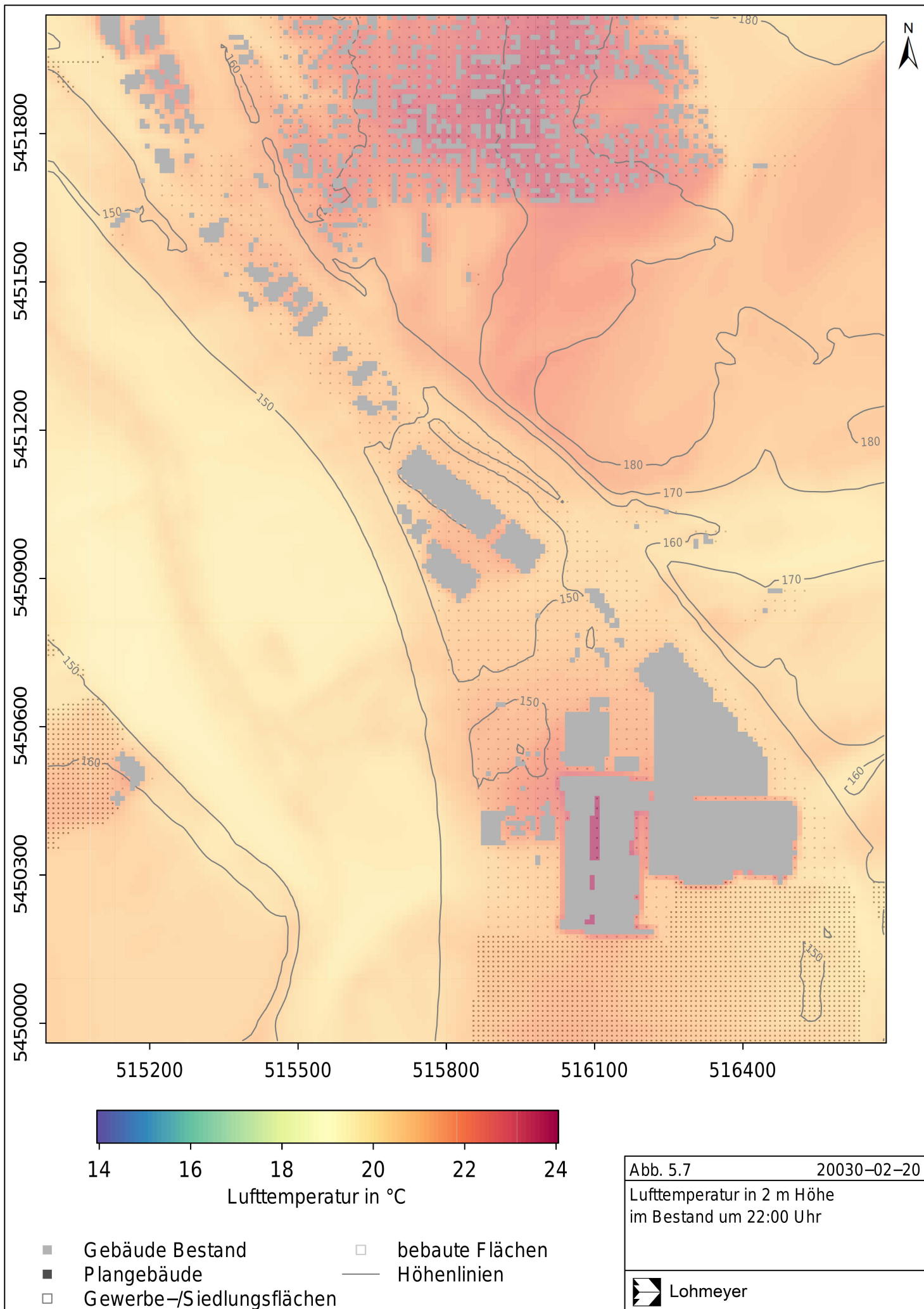
Mit dem Sonnenuntergang setzt eine spürbare Abkühlung der unteren Luftschichten ein, d. h. es wird mehr Wärme von der Erdoberfläche abgegeben als aufgenommen. Großen Anteil daran haben die strahlungsbedingten Anteile, d. h. es entsteht eine negative Strahlungsbilanz an der Erdoberfläche aufgrund von mehr Aus- als Einstrahlung aufgrund des Wegfallens der kurzwelligen Einstrahlung der Sonne. In reliefiertem Gelände strömen die bodennah kühlen Luftmassen die Hänge gravitativ hinab und sammeln sich in den nieder gelegenen Bereichen, wie z. B. Senken, Mulden und Tälern, und verstärken dort die Abkühlung. **Abb. 5.7** zeigt die 2 m-Lufttemperatur um 22:00 Uhr. Im Plangebiet ergeben sich Temperaturen von etwa  $21.5^\circ\text{C}$  bis  $22.5^\circ\text{C}$ , in den umgebenden Tallagen etwa  $19.5^\circ\text{C}$  bis  $20.5^\circ\text{C}$ , z. B. im Neckartal. Im Bereich der Siedlungsflächen sind die Temperaturen aufgrund des Wärmeinseleffekts etwa 1 K bis 2 K höher als in der Umgebung. Aufgrund der Planung ergeben sich im Bereich des Plangebietes und dessen Nahbereich großteils etwas höhere Temperaturen (**Abb. 5.8**). Im Nahbereich der Planungen werden bis zu 2 K höhere Lufttemperaturen in 2 m Höhe berechnet. Temperaturerhöhungen von mehr als 0.5 K ergeben sich bis in etwa 150 m südlich der Planung und in kleinen Teilbereichen im Süden des Siedlungsgebietes von Bad-Friedrichshall-Kochendorf. In weiter entfernt liegenden Bereichen sind geringere Änderungen zu erwarten.

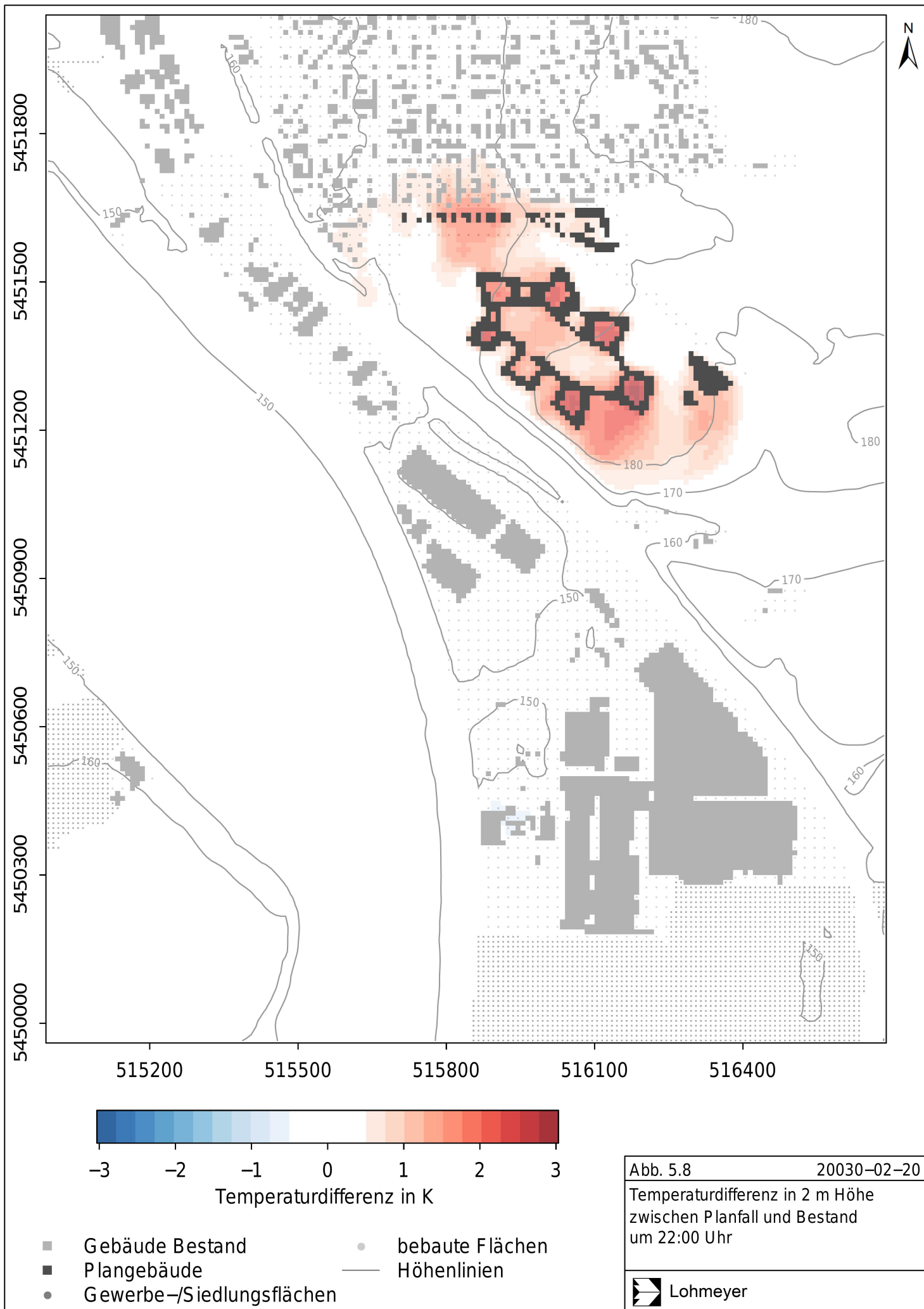








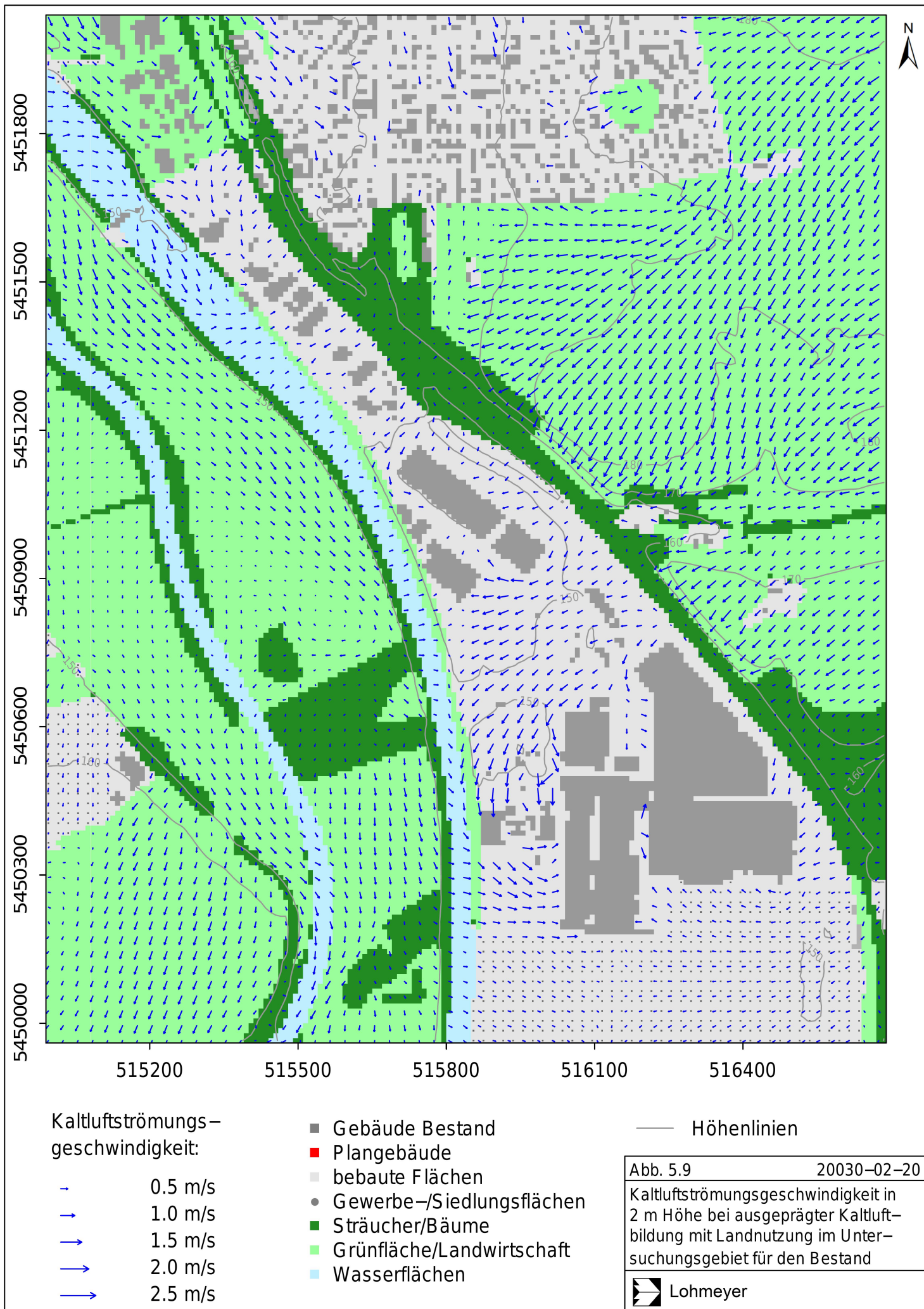




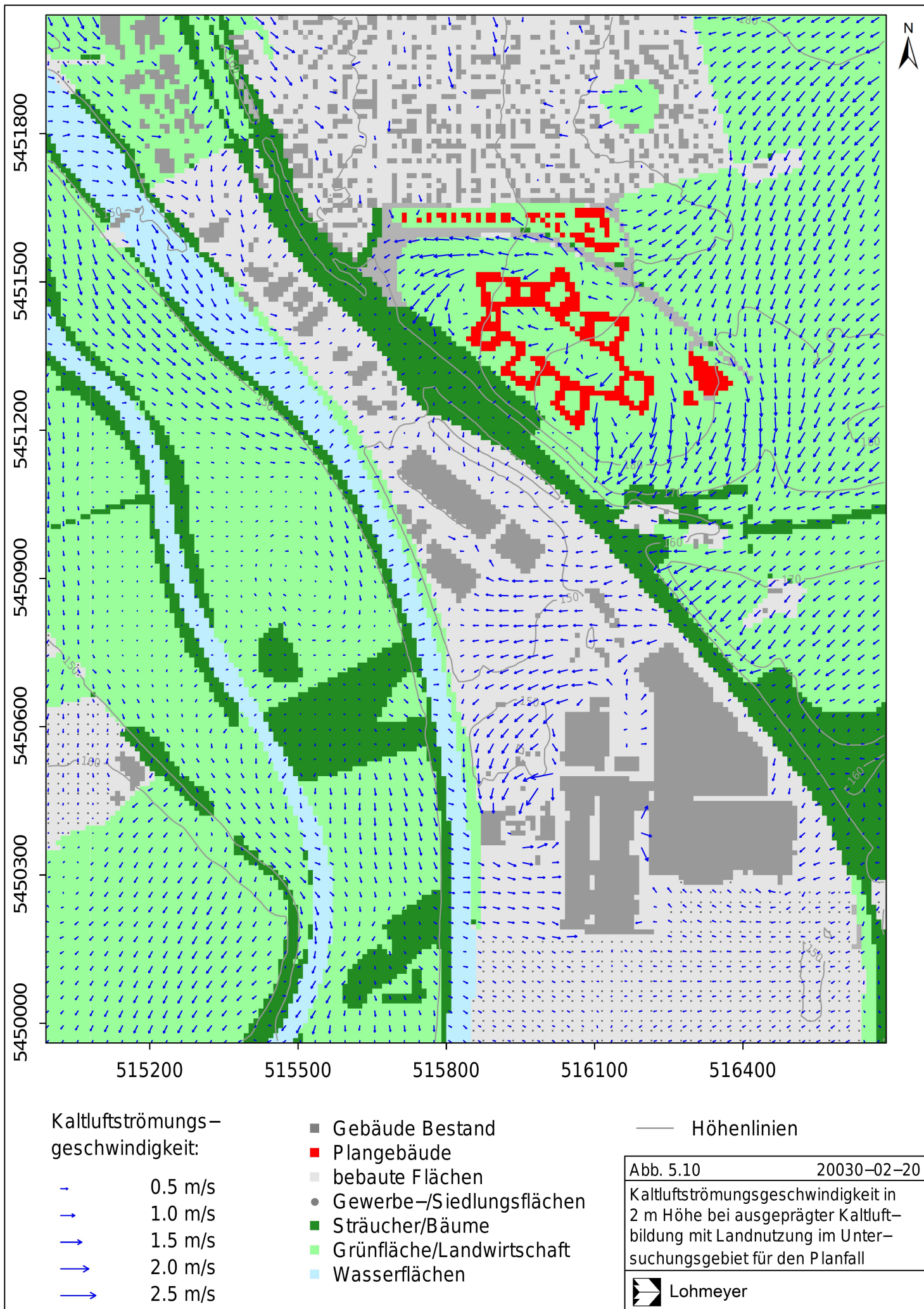
**Abb. 5.9** zeigt die Kaltluftströmungsgeschwindigkeit in 2 m Höhe bei ausgeprägter Kaltluftbildung (00:00 Uhr) im Bestand. Die Kaltluftströmungsgeschwindigkeiten und Kaltluftströmungsrichtungen sind über dem Plangebiet vergleichbar mit denen aus der Anfangsphase der Kaltluftbildung. Im Neckartal reichen die nordöstlichen Strömungen wie in der Anfangsphase der Kaltluftbildung bis zum Schleusenkanal.

Aufgrund der Plangebäude ergeben sich deutliche Änderungen der Strömungsrichtungen und Strömungsgeschwindigkeiten im Nahbereich der Planungen (**Abb. 5.10**). Im Nahbereich der Plangebäude sowie in deren Vorlauf und Nachlauf ergeben sich großteils Abnahmen der Strömungsgeschwindigkeiten. Die bodennahen Strömungen aus Nordosten reichen im Neckartal teilweise weiterhin bis etwa zum Schleusenkanal, teilweise ergeben sich Abnahmen der Reichweite um etwa 50 m bis 100 m. Dort setzen sich die Strömungen aus Nordwesten und Westen durch, die westlich des Schleusenkanals simuliert werden. Durch die Umströmung der zentralen Plangebäude und der Barrierewirkung der nördlichen Plangebäude fallen die bodennah nördlich gerichteten Strömungen im nordwestlichen Bereich des Plangebietes großteils weg.

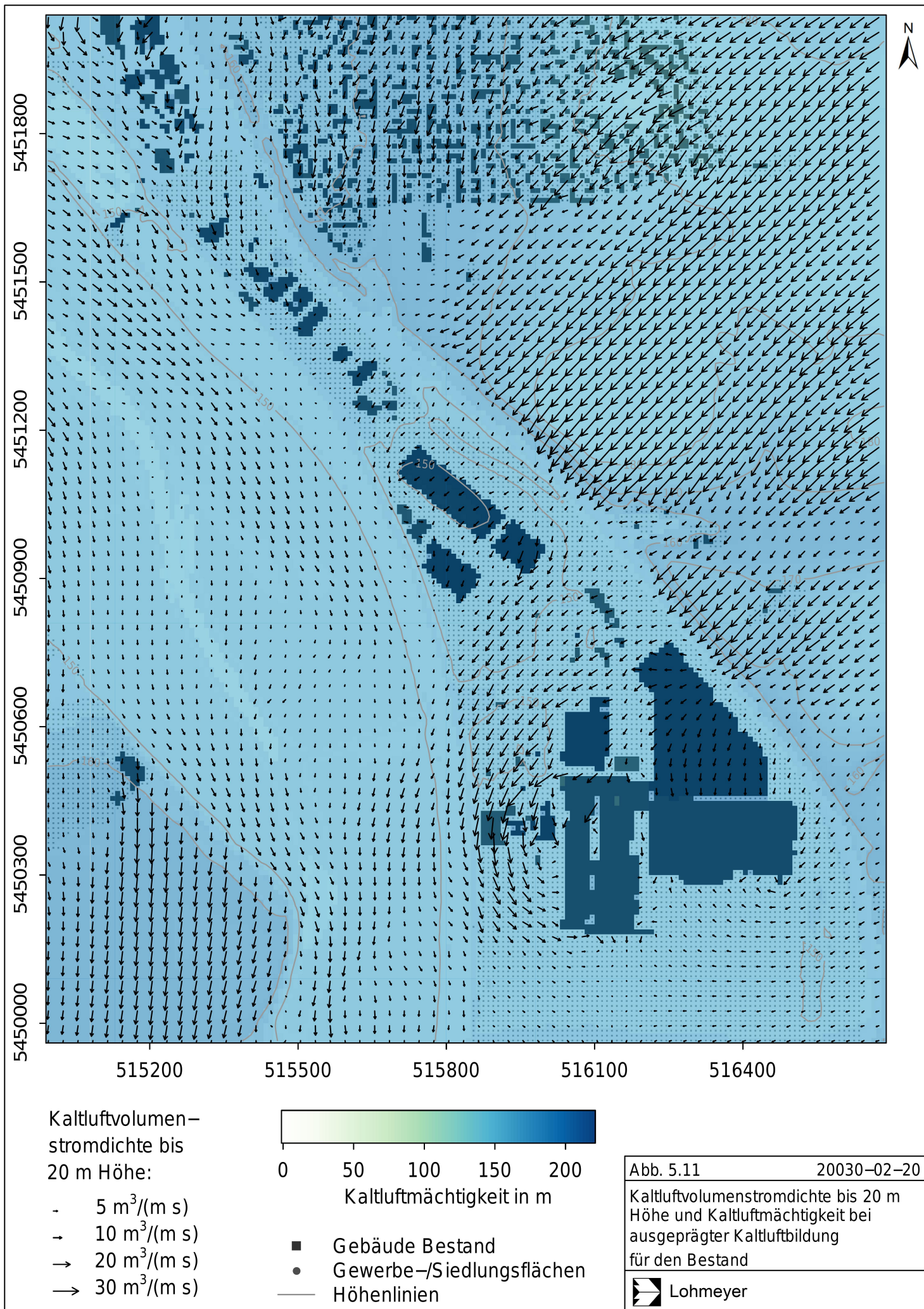
Die Kaltluftmächtigkeiten liegen im Bestand über dem Plangebiet bis 150 m bzw. 170 m, je nach Exposition oder Lage im Tal und damit etwa 50 m über den Werten in der Anfangsphase der Kaltluftbildung (**Abb. 5.11**); die Kaltluftvolumenstromdichten bis 20 m Höhe variieren über dem Plangebiet je nach Lage zwischen weniger als  $5 \text{ m}^3/(\text{m s})$  im nordwestlichen Bereich des Plangebietes und  $30 \text{ m}^3/(\text{m s})$  im südöstlichen Bereich. Aufgrund der Planung (**Abb. 5.12**) werden die Kaltluftvolumenstromdichten bis 20 m über Grund vor allem im Nahbereich der Plangebäude deutlich reduziert. In Bezug auf die zentralen Plangebäude entstehen Verringerungen der Volumenstromdichten bis etwa 200 m südsüdwestlich der Gebäude. Nordnordöstlich der Planung ergeben sich teilweise ebenfalls Verringerungen der Kaltluftvolumenstromdichten bis 20 m Höhe, jedoch von geringerer Intensität als in Strömungsrichtung. Im nordwestlichen Bereich des Plangebietes ergeben sich teils Erhöhungen der Kaltluftvolumenstromdichten bis 20 m Höhe, die auf erhöhte Windgeschwindigkeiten aufgrund des Wegfalls der bestehenden Gebäude und von Düseneffekten zwischen den Plangebäuden zurückzuführen sind. In weiter entfernten Bereichen bis etwa zum Schleusenkanal können teils geringe Verringerungen oder Erhöhungen der Kaltluftvolumenstromdichten bis 20 m Höhe auftreten.

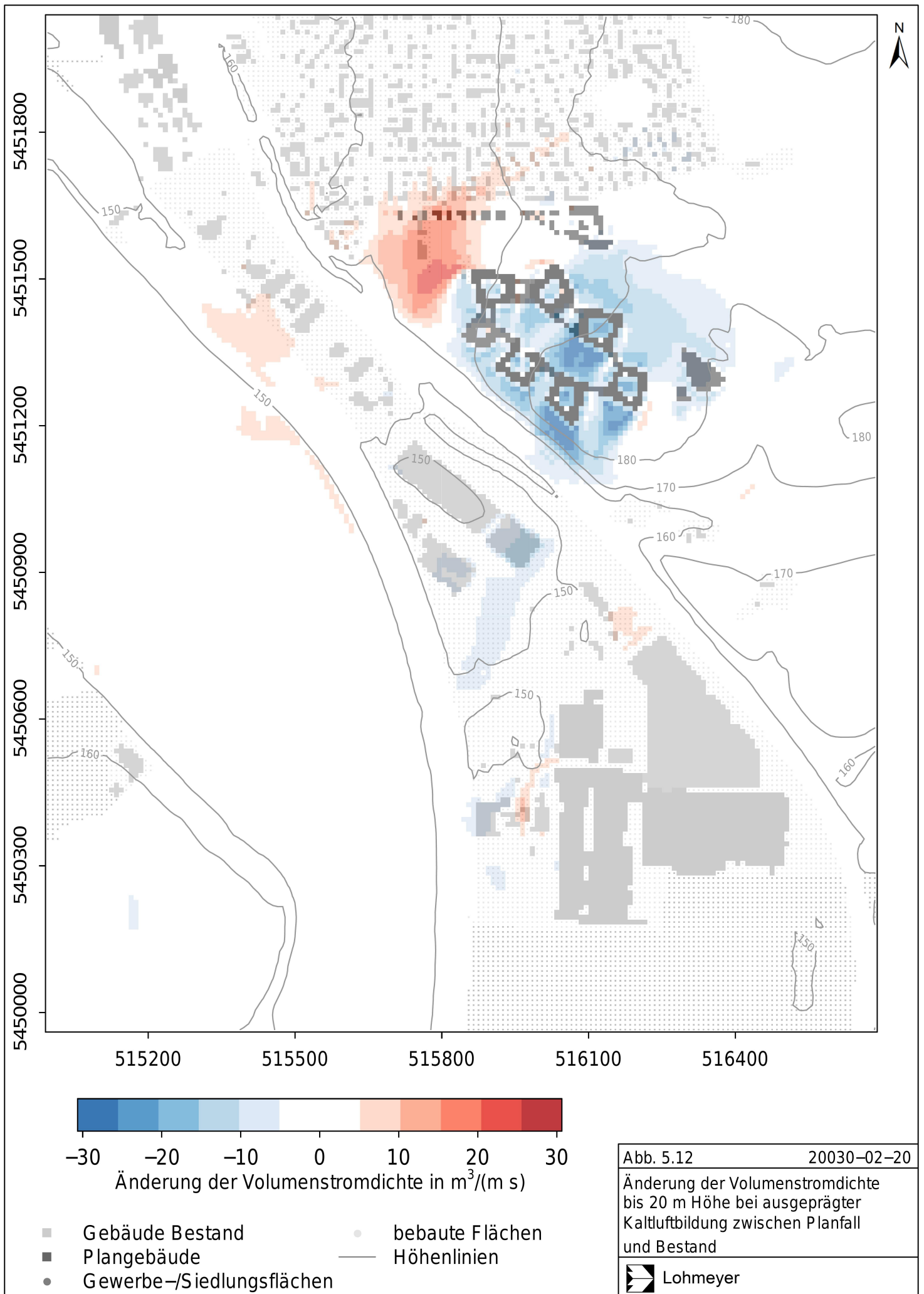










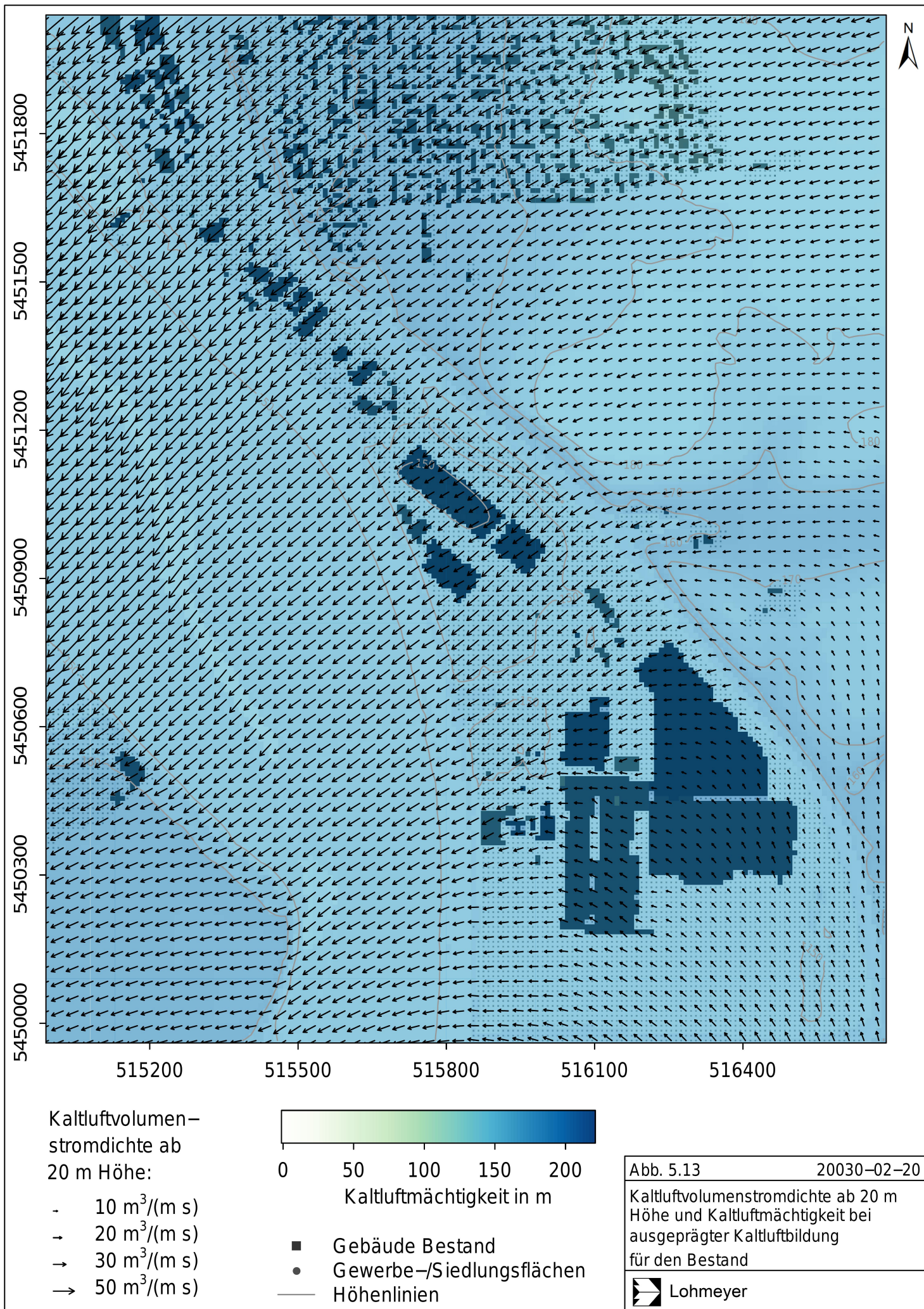




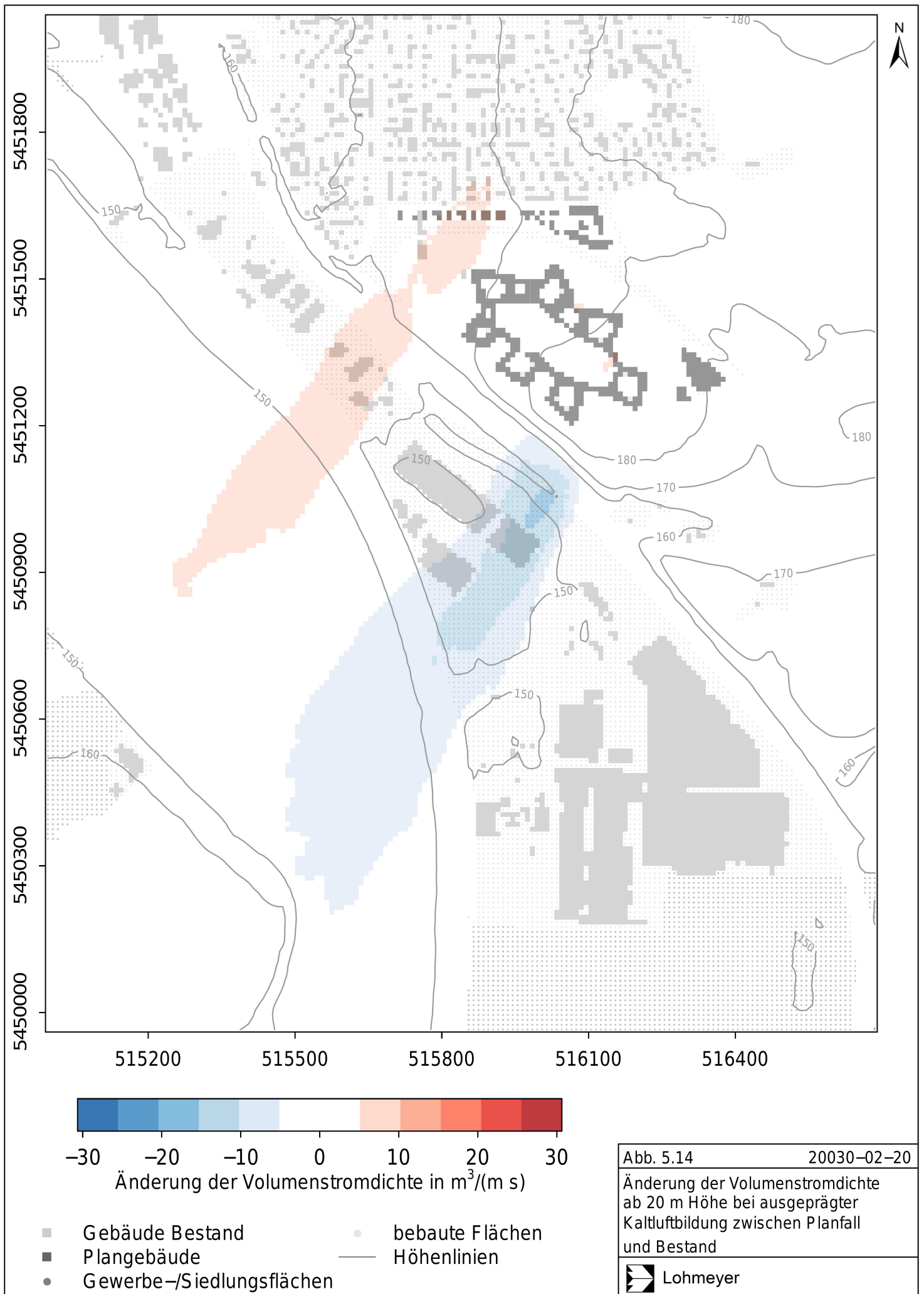
**Abb. 5.13** zeigt neben der Kaltluftmächtigkeit in der Anfangsphase der Kaltluftbildung die Kaltluftvolumenstromdichte ab 20 m über Grund bis zur Höhe der Kaltluftschicht. Aufgrund der höheren Maximalwerte im dargestellten Bereich im Vergleich zur Kaltluftvolumenstromdichte bis 20 m über Grund wurde hier eine andere Skalierung der Pfeillängen gewählt. Über dem Plangebiet ergeben sich Volumenstromdichten zwischen  $20 \text{ m}^3/(\text{m s})$  im südöstlichen Bereich des Plangebietes und etwa  $30 \text{ m}^3/(\text{m s})$  im nordwestlichen Bereich des Plangebietes. Die Strömungsrichtung ist Ostnordost im südöstlichen Bereich des Plangebietes und Nordost im nordwestlichen Bereich. Die nordöstliche Strömung setzt sich über das Plangebiet ins Neckartal hinein fort. Aufgrund der Planung (**Abb. 5.14**) werden die Kaltluftvolumenstromdichte ab 20 m über Grund verändert. Eine Reduzierung der Kaltluftvolumenstromdichte ergibt sich südsüdwestlich des Plangebietes über den bestehenden Gewerbeflächen und mit geringer Intensität bis über den Schleusenkanal hinaus. Geringe Erhöhungen der Kaltluftvolumenstromdichte werden westlich des Plangebietes über den anschließenden Gewerbeflächen und über den Schleusenkanal hinaus berechnet.

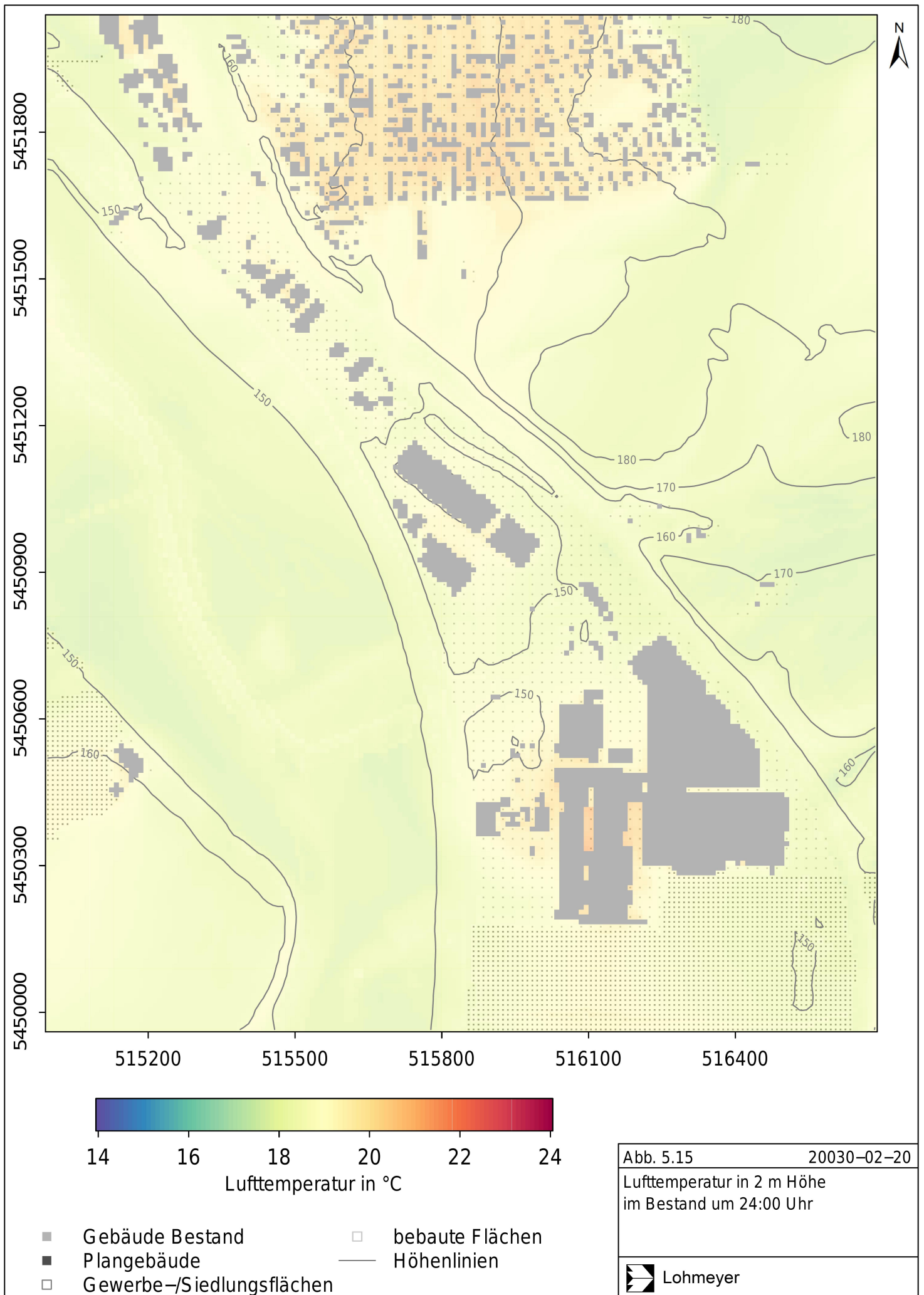
**Abb. 5.15** zeigt die 2 m-Lufttemperatur um 00:00 Uhr. Im Plangebiet ergeben sich Temperaturen von etwa  $18.5^\circ\text{C}$  bis  $19.5^\circ\text{C}$ , in den umgebenden Talbereichen  $17.5^\circ\text{C}$  bis  $18.5^\circ\text{C}$ . Im Bereich der Siedlungsflächen sind die Temperaturen aufgrund des Wärmeinseleffekts etwa 1 K bis 2 K höher als in der Umgebung, z. B. im Siedlungsbereich von Bad Friedrichshall-Kochendorf und im Bereich der Gewerbeflächen im Neckartal. Aufgrund der Planung ergeben sich im Bereich des Plangebietes großteils etwas höhere Temperaturen (**Abb. 5.16**). Im Nahbereich der Planungen werden bis zu 2 K höhere Lufttemperaturen in 2 m Höhe berechnet. Temperaturerhöhungen von mehr als 0.5 K ergeben sich bis in etwa 150 m südlich der Planung und in kleinen Teilbereichen im Süden des Siedlungsgebietes von Bad-Friedrichshall-Kochendorf. In weiter entfernt liegenden Bereichen sind geringere Änderungen zu erwarten.

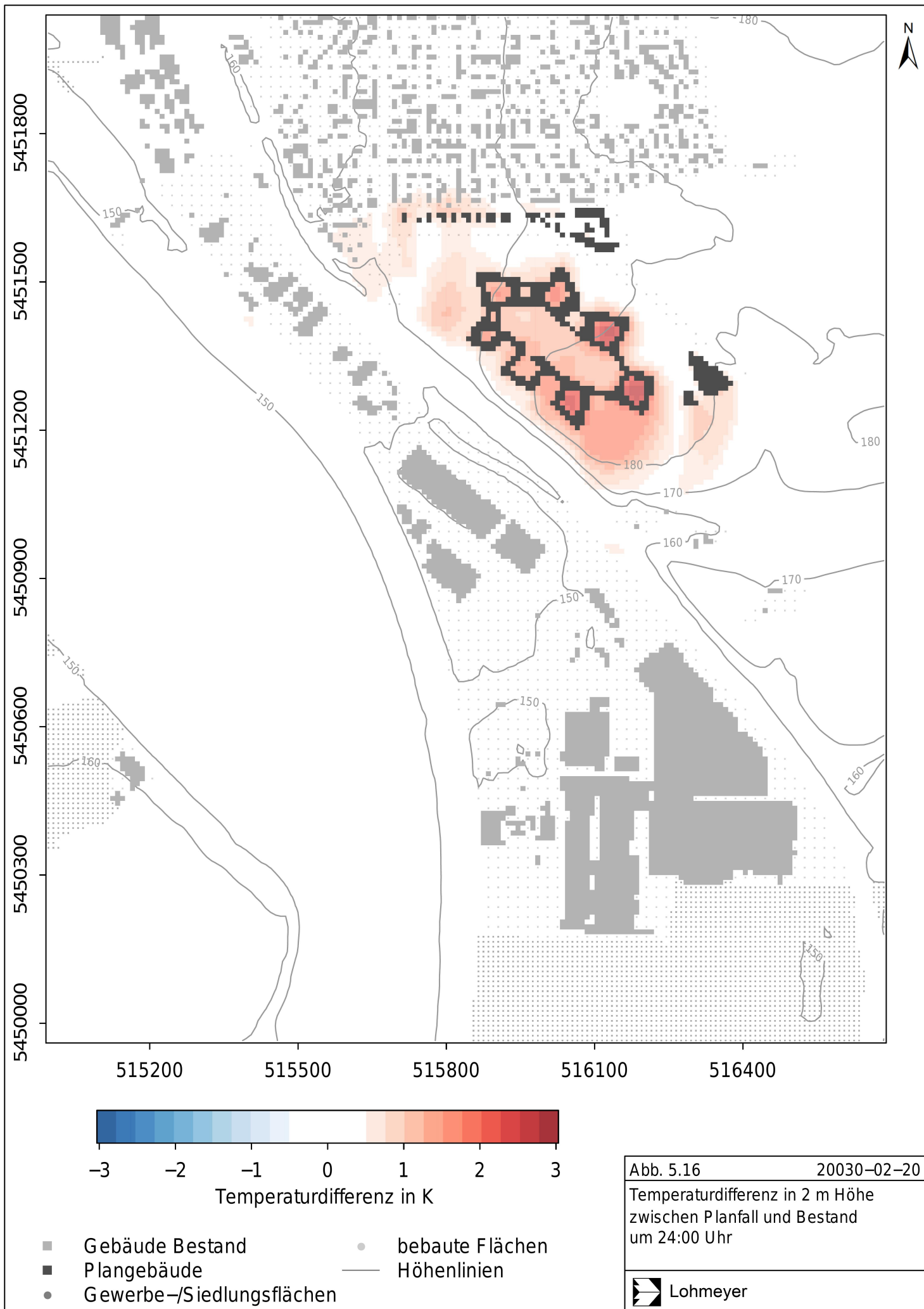
Die nächtliche Minimumtemperatur wird bei austauscharmen Strahlungswetterlagen kurz vor Sonnenaufgang erreicht. Diese bzw. deren Änderungen aufgrund der Planung basieren u. a. auch auf den bodennahen Strömungsgeschwindigkeiten. **Abb. 5.17** zeigt die Kaltluftströmungsgeschwindigkeit kurz vor Sonnenaufgang (05:00 Uhr) im Bestand. Die bodennahen Strömungsgeschwindigkeiten sind über dem zentralen Plangebiet etwas geringer als zu den beiden bisher betrachteten Zeitpunkten, im nordwestlichen Bereich etwas größer, bei vergleichbarer Richtungsverteilung. Aufgrund der Plangebäude ergeben sich deutliche Änderungen der Strömungsrichtungen und Strömungsgeschwindigkeiten im Nahbereich der Planungen (**Abb. 5.18**). Im Nahbereich der Plangebäude sowie in deren Vorlauf und Nachlauf



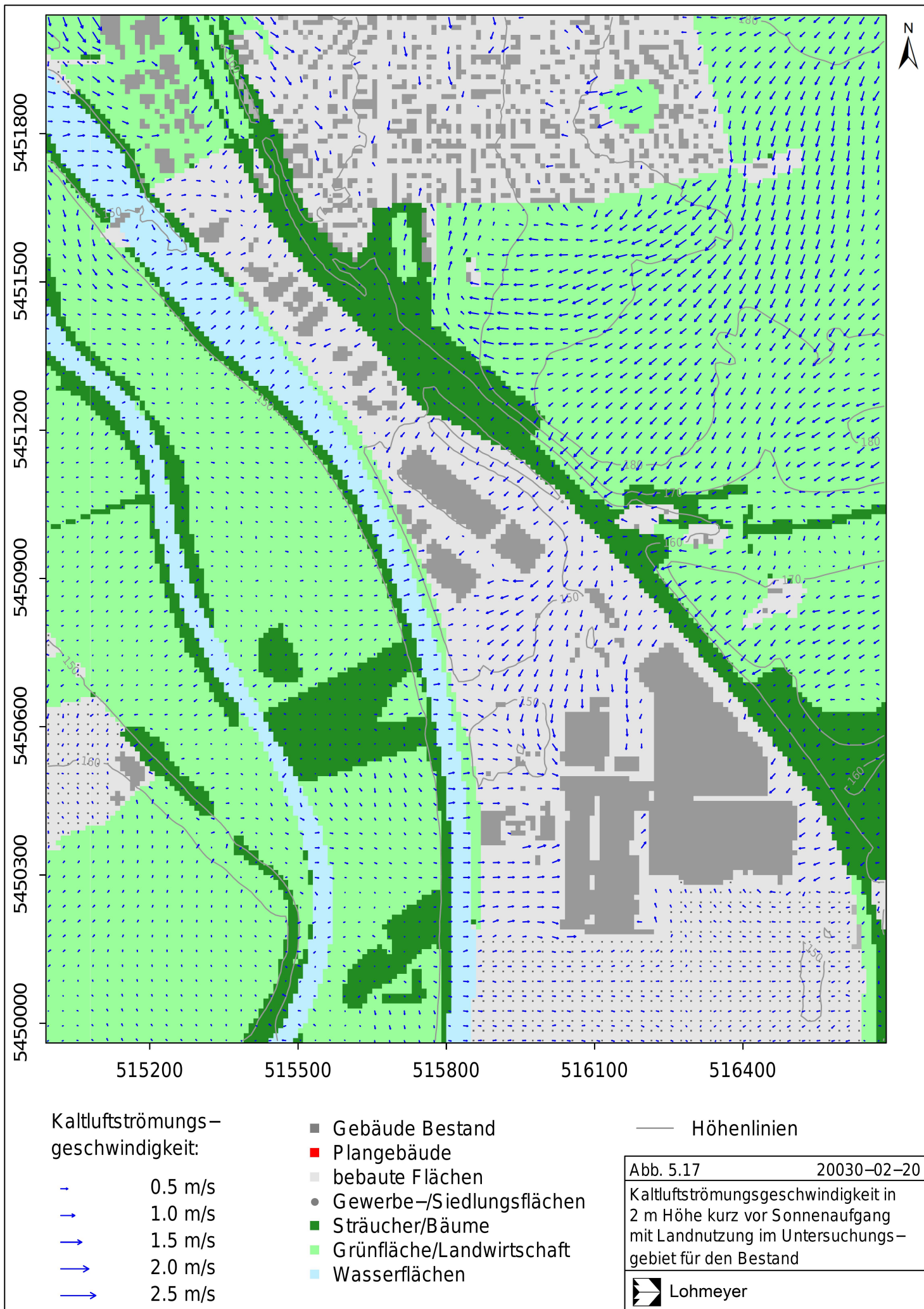




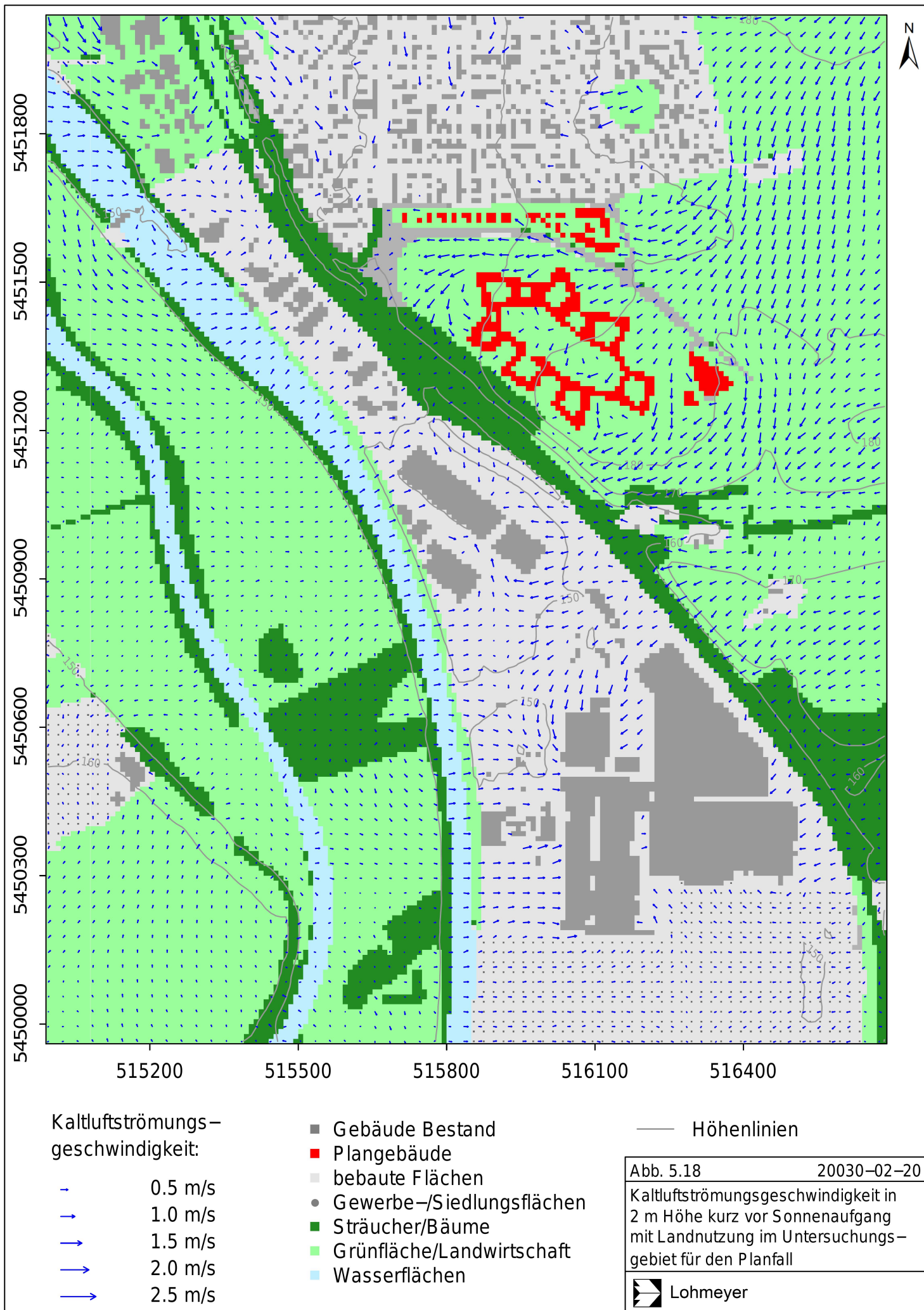






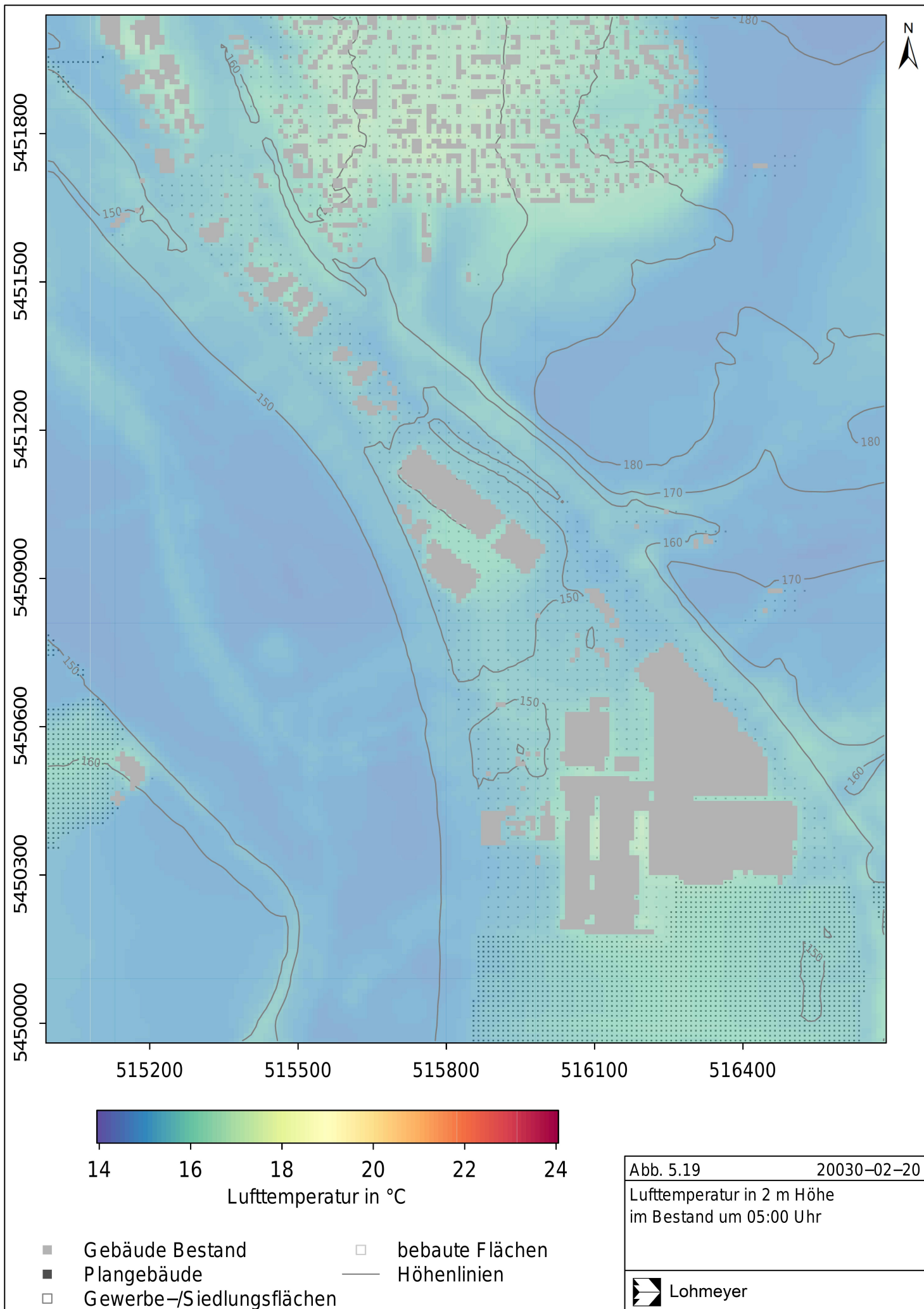


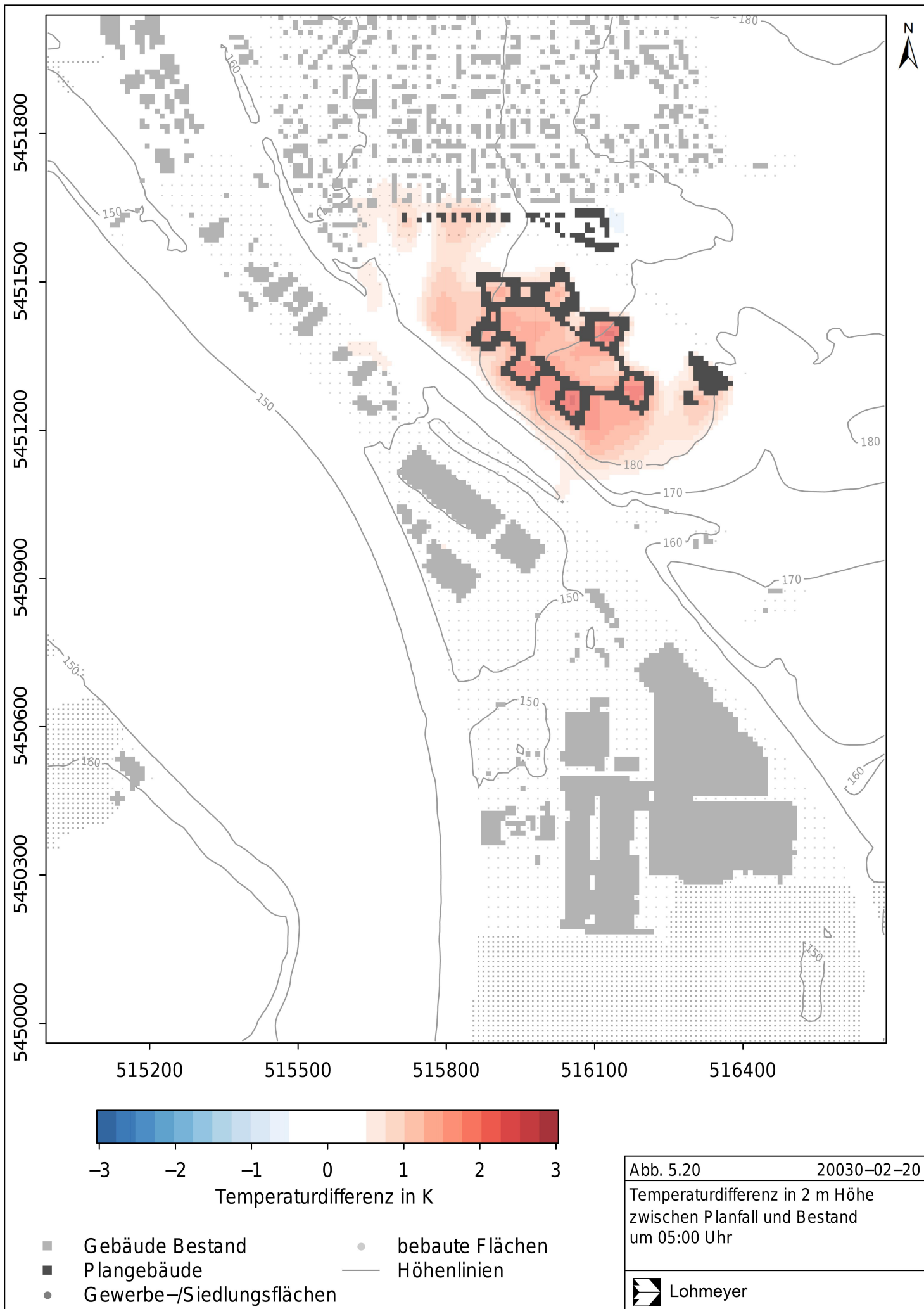




ergeben sich großteils Abnahmen der Strömungsgeschwindigkeiten. Die bodennahen Strömungen aus Nordosten reichen im Neckartal teilweise weiterhin bis etwa zum Schleusenkanal, teilweise ergeben sich Abnahmen der Reichweite um etwa 50 m bis 100 m. Dort setzen sich schwache Strömungen aus Nordwesten und Westen durch, die westlich des Schleusenkanals simuliert werden. Durch die Umströmung der zentralen Plangebäude und der Barrierewirkung der nördlichen Plangebäude fallen die bodennah nördlich gerichteten Strömungen im nordwestlichen Bereich des Plangebietes großteils weg.

**Abb. 5.19** zeigt die berechnete Lufttemperatur in 2 m Höhe im Betrachtungsgebiet kurz vor Sonnenaufgang, d. h. um etwa 05:00 Uhr. Im Plangebiet ergeben sich Temperaturen von etwa 15 °C bis 16 °C, wobei diese in den von den Siedlungsflächen von Bad Friedrichshall-Kochendorf beeinflussten Bereichen höher ausfallen als in den nicht beeinflussten Bereichen, die großteils im südöstlichen Bereich des Plangebietes liegen. In den umgebenden Talbereichen werden etwa 14,5 °C bis 15,5 °C simuliert. Auf den Siedlungsflächen bzw. im Einflussbereich der Siedlungsflächen sind die Temperaturen aufgrund des Wärmeinseleffekts etwa 1 K bis 2 K höher als in der Umgebung. Aufgrund der sich im Vergleich zu den beiden früheren Zeiträumen deutlich geänderten Strömungsverhältnissen, reichen die Änderungen der Lufttemperatur in 2 m Höhe weniger weit als zuvor (**Abb. 5.20**). Aufgrund der Planung ergeben sich im Plangebiet großteils etwa 2 K höhere Lufttemperaturen. Temperaturerhöhungen über 0,5 K ergeben sich bis in etwa 200 m südlich der südlichen Plangebäude sowie in den südlichen Bereich des Siedlungsgebietes von Bad Friedrichshall-Kochendorf.





## 6 ERGEBNISSE DER WINDFELDBERECHNUNGEN

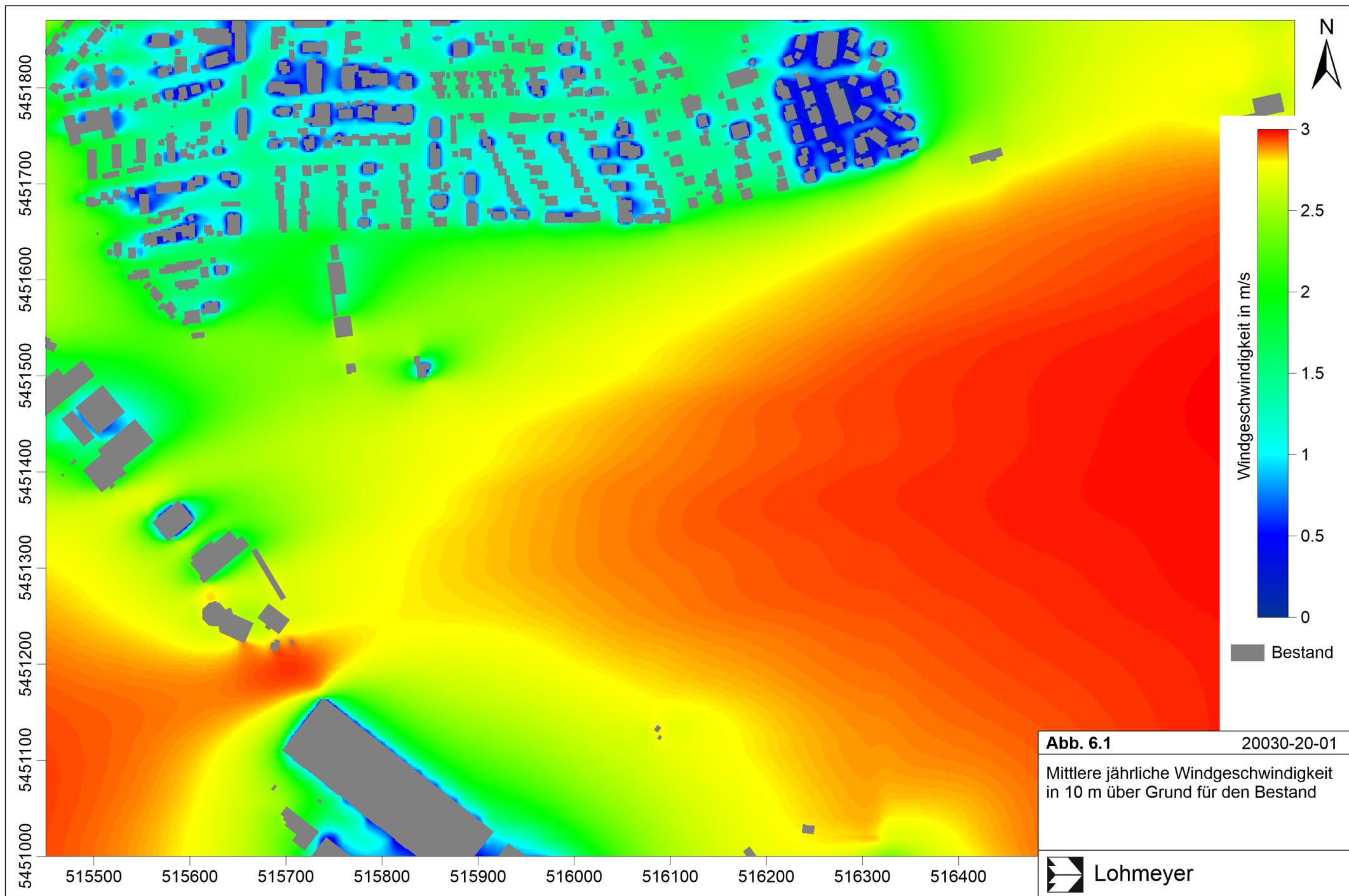
Mit dem mikroskaligen Strömungs- und Ausbreitungsmodell MISKAM werden Strömungsrechnungen für alle Windrichtungen in 10-Grad-Schritten durchgeführt. Unter Verwendung der für das Betrachtungsgebiet repräsentativen Häufigkeiten der Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsverteilungen werden Jahreswerte der mittleren Windgeschwindigkeit für jede Box im Rechengitter berechnet. Die Ausgabe erfolgt für zwei ausgewählte Höhen über Grund. Dafür bieten sich die Höhen von ca. 10 m über Grund in Anlehnung an die in Deutschland üblichen Messhöhen verfügbarer und repräsentativer Windmessdaten sowie 1.5 m über Grund für den Aufenthaltsbereich des Menschen im Freien an.

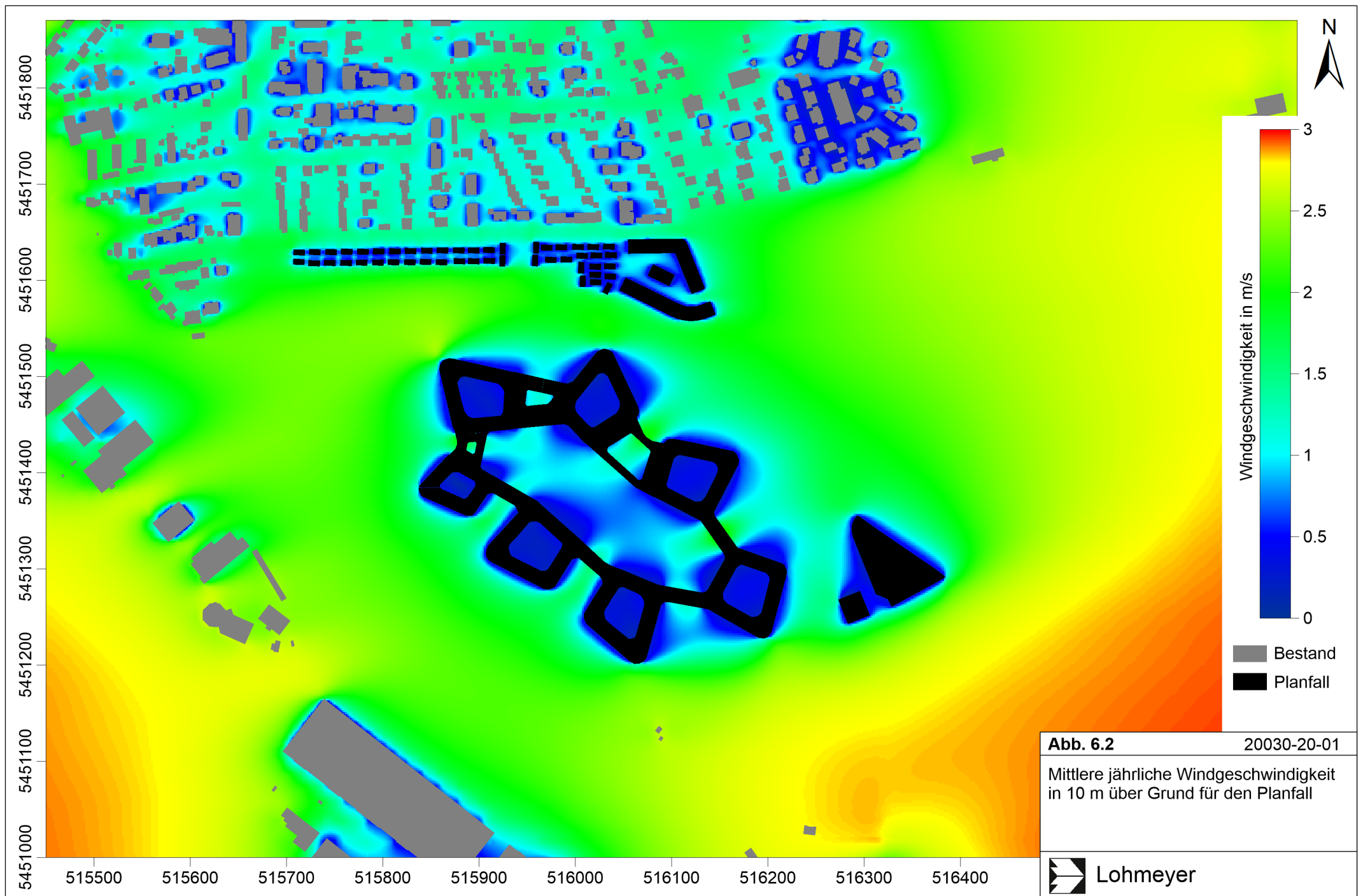
Mit der regional repräsentativen Windstatistik werden die jahresbezogenen Windverhältnisse berechnet. Die berechneten Angaben (in m/s) sind einer Farbskala zugeordnet. Die Farbskala wurde so gewählt, dass sowohl die maximal als auch die minimal berechneten mittleren Windgeschwindigkeiten einer Höhenschicht enthalten sind und die in den Windrosen für Bad Friedrichshall beschriebenen Windgeschwindigkeiten mit gelber bis orangener Farbe dargestellt ist. Niedrige mittlere Windgeschwindigkeiten werden durch grüne und blaue, höhere Windgeschwindigkeiten durch rötliche Farbtöne symbolisiert. Die an der Luftmessstation in Heilbronn am Rand des Gewerbegebietes gemessene Windgeschwindigkeit von 1.6 m/s wird mit der grünen Farbe gekennzeichnet. Die bestehende Bebauung ist in den Abbildungen in grauer Farbe dargestellt.

**Abb. 6.1** zeigt die mittlere jährliche Windgeschwindigkeit in etwa 10 m Höhe für den Referenzfall. In ungestörten, von Bebauung freigehaltenen Bereichen wird eine mittlere jährliche Windgeschwindigkeit bis 3 m/s erreicht, wie beispielsweise auf den Freiflächen südöstlich des Siedlungsrandes von Kochendorf sowie südwestlich über dem Neckar. In den Bereichen zwischen der bestehenden Bebauung im Siedlungsbereich von Kochendorf und in den gewerblichen Nutzungen am Neckar werden mittlere Windgeschwindigkeiten zwischen 0.5 m/s und 1 m/s berechnet, im Nahbereich dicht stehender Gebäudegruppen auch darunter.

Für den Planfall mit der dargestellten geplanten Gebäudekonstellation entsprechend dem Bebauungsplan „Obere Fundel“ sind die berechneten Windgeschwindigkeiten in 10 m über Grund in **Abb. 6.2** dargestellt, wobei die geplante Bebauung schwarz eingezeichnet ist. In dem Bereich der geplanten mehrgeschossigen Bebauung mit den sieben Gebäudekörpern sind überwiegend mittlere Windgeschwindigkeiten zwischen 0.5 m/s und 1 m/s berechnet. Das trifft auch auf den Bereich am Nordrand des Bebauungsplangebietes mit geplanten





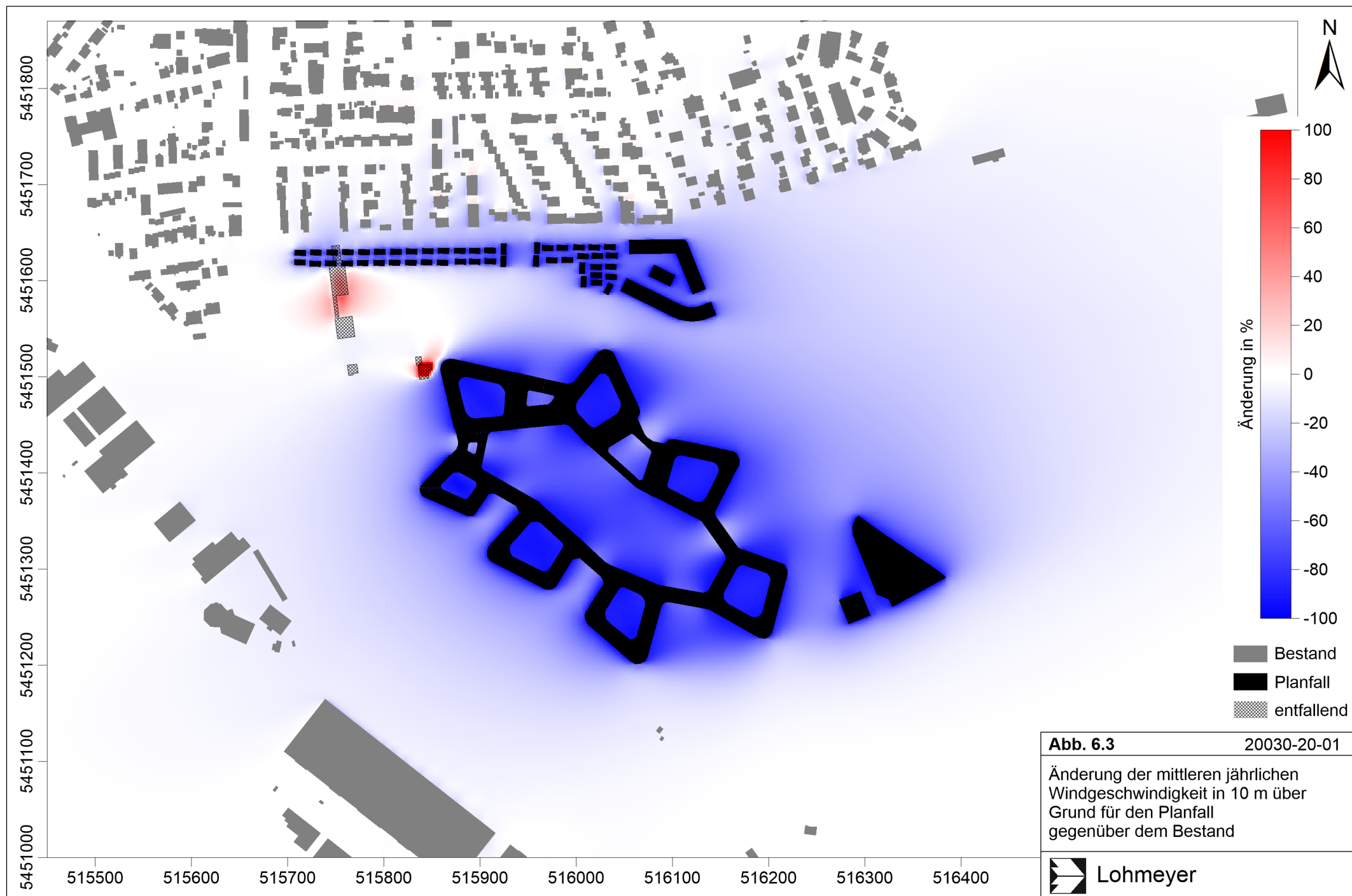


Wohngebäuden zu. Für die geplanten gewerblichen Nutzungen im östlichen Bereich des Bebauungsplangebietes „Obere Fundel“ führt eine Bebauung entsprechend der Ausschöpfung der Baugrenzen und Bauhöhen ebenfalls zu mittleren Windgeschwindigkeiten unter 1 m/s. In der Umgebung des Bebauungsplangebietes werden in den Hauptwindrichtungen auch flächenhaft etwas geringere Windgeschwindigkeiten berechnet, wie über den Freiflächen östlich des Bebauungsplangebietes und in dem Bereich westlich des Bebauungsplangebietes bis zur bestehenden gewerblichen Nutzung.

In den umliegenden Bereichen sind mittlere Windgeschwindigkeiten entsprechend dem derzeitigen baulichen Zustand dargestellt.

Für die Beschreibung der Auswirkungen der baulichen Planungen mit dem Bebauungsplan „Obere Fundel“ auf die Durchlüftungsverhältnisse werden in **Abb. 5.3** die relativen Änderungen der mittleren Windgeschwindigkeiten im Planfall gegenüber dem Istzustand für den Höhenbereich von ca. 10 m über Grund aufgetragen. Dafür wird die Differenz der Windgeschwindigkeiten zwischen dem Planfall und dem Istzustand bezogen auf den Istzustand berechnet und als prozentuale Änderung angegeben. Die Farbskala reicht von blauen über weiße bis zu roten Farbtönen. Bereiche mit Windgeschwindigkeitsreduktionen gegenüber dem Istzustand werden entsprechend der prozentualen Abweichung unterschiedlich intensiv blau dargestellt. Gleichbleibende Windgeschwindigkeiten sind mit weißer Farbe gekennzeichnet und Bereiche mit Windgeschwindigkeitserhöhungen werden in unterschiedlichen Rottönen angegeben. Bei der Interpretation dieser Abbildung ist zu berücksichtigen, dass schon im Istzustand keine einheitlichen bodennahen Windgeschwindigkeiten vorherrschen. In Gebieten mit geringen Windgeschwindigkeiten wirken sich deshalb schon geringe Änderungen deutlich auf das prozentuale Verhältnis aus und erhalten folglich eine intensivere Einfärbung. Bei hohen Ausgangs-Windgeschwindigkeiten muss dagegen die absolute Windgeschwindigkeitsänderung im Planzustand wesentlich höher ausfallen, um mit der gleichen Farbtintensität dargestellt zu werden. Dies bedeutet, dass bei der Interpretation der Differenzdarstellungen auch immer die strömungsdynamische Ausgangssituation zu berücksichtigen ist.

Danach sind verbunden mit der geplanten Bebauung entsprechend dem Bebauungsplan „Obere Fundel“ in der direkten Umgebung der geplanten Gebäude Verringerungen der mittleren Windgeschwindigkeiten in dieser Höhe zu erwarten (**Abb. 6.3**). Bis in einen Abstand von ca. 300 m nordöstlich von der geplanten Bebauung sind über den Freiflächen und entlang dem Riedweg Verringerungen der mittleren Windgeschwindigkeiten um mehr als 10%

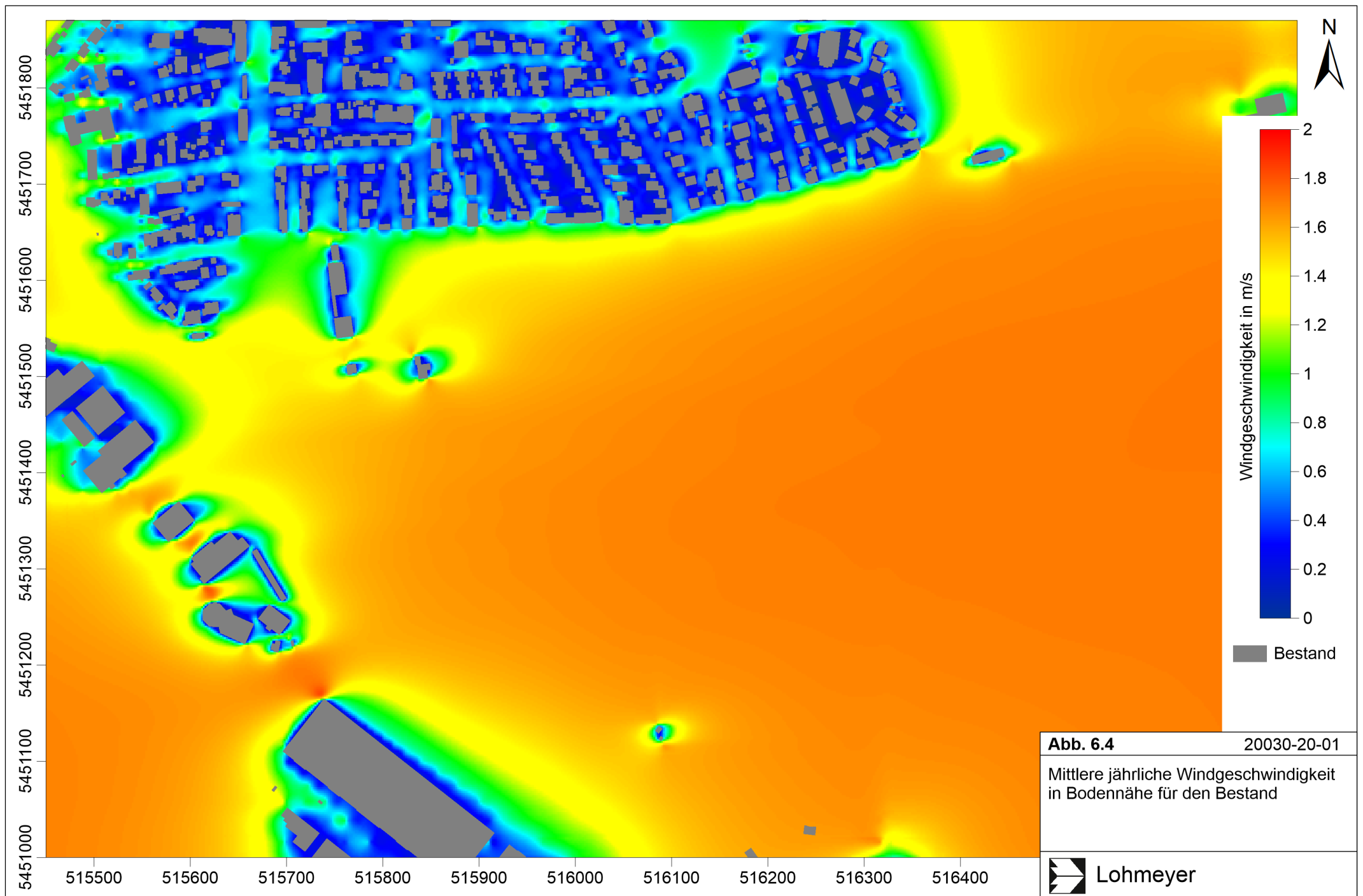


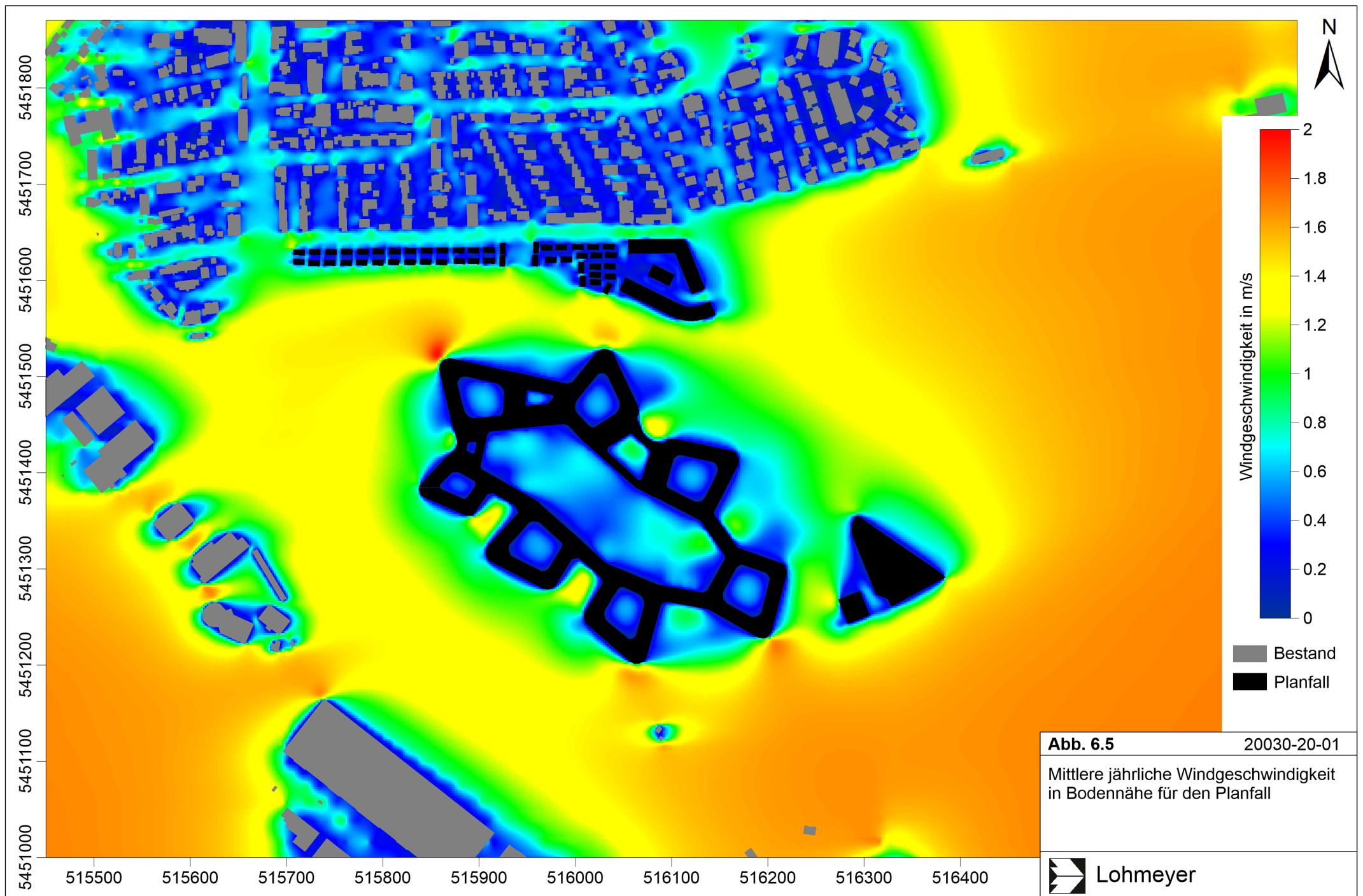
verbunden, d.h. dort sind gewisse Einschränkungen der Durchlüftungsverhältnisse zu erwarten. In westlicher Richtung sind bis in einen Abstand von ca. 200 m der geplanten Bebauung Einschränkungen der Durchlüftungsverhältnisse um mehr als 10% berechnet, die bis zur bestehenden gewerblichen Nutzung reichen und auch die Bundesstraße B 27 sowie die Kreisstraße K 2000 betreffen. Nördlich des Bebauungsplangebietes sind entlang der Amorbacher Straße bis in einen Abstand von ca. 70 m Einschränkungen der Durchlüftungsverhältnisse um mehr als 10% berechnet und betreffen den südlichen Siedlungsrand von Kochendorf. Durch die entfallenden Gebäude im nordwestlichen Bereich des Bebauungsplangebietes sind dort Zunahmen der mittleren Windgeschwindigkeit berechnet, da im derzeitigen Zustand im Nahbereich der Gebäude eine geringe Windgeschwindigkeit vorherrscht.

In **Abb. 6.4** sind die berechneten mittleren Windgeschwindigkeiten in Bodennähe, d.h. in 1.5 m über Grund entsprechend dem Aufenthaltsbereich der Menschen im Freien, dargestellt, wobei gegenüber der Auswertehöhe von 10 m eine abweichende Farblegende verwendet wird. Über zusammenhängenden größeren, nicht bebauten Bereichen, wie auf den Freiflächen südöstlich des Siedlungsrandes von Kochendorf sowie südwestlich über dem Neckar, werden mittlere Strömungsgeschwindigkeiten um 1.7 m/s berechnet. In den Bereichen zwischen der bestehenden Bebauung im Siedlungsbereich von Kochendorf und in den gewerblichen Nutzungen am Neckar werden mittlere Windgeschwindigkeiten unter 1 m/s und auch unter 0.5 m/s berechnet, im Nahbereich dicht stehender Gebäudegruppen auch darunter. Vereinzelt treten an zu Freiflächen orientierten Gebäudekanten durch deren Umströmung erhöhte bodennahe Windgeschwindigkeiten auf, wie am westlichen Siedlungsrand von Kochendorf und an den westlich gelegenen gewerblichen Nutzung in den Bereichen, die eine Längsorientierung von Westsüdwesten nach Ostnordosten aufweisen und das bodennahe Durchgreifen der Windströmung bei den Hauptwindrichtungen ermöglichen.

Auch in 1.5 m über Grund sind für den Planfall in dem Bereich der geplanten Bebauung und in deren Übergangsbereichen zu bestehender Bebauung mittlere Windgeschwindigkeiten unter 0.5 m/s berechnet, wie in **Abb. 6.5** dargestellt. Im zentralen Bereich des Bebauungsplangebietes und insbesondere in den von den Gebäuden eingeschlossenen Innenhofbereichen sind geringe Windgeschwindigkeiten unter 0.5 m/s berechnet. Zwischen den hohen Baukörpern zeichnen sich teilweise kleinräumig bodennah höhere mittlere Windgeschwindigkeiten ab, die auf erhöhte Böigkeiten bei den Hauptwindrichtungen zurückzuführen sind. Das trifft auch teilweise auf den Bereich zwischen den sieben Baukörpern und der nördlich anschließenden geplanten Wohnbebauung und gewerblichen Bebauung zu und betrifft



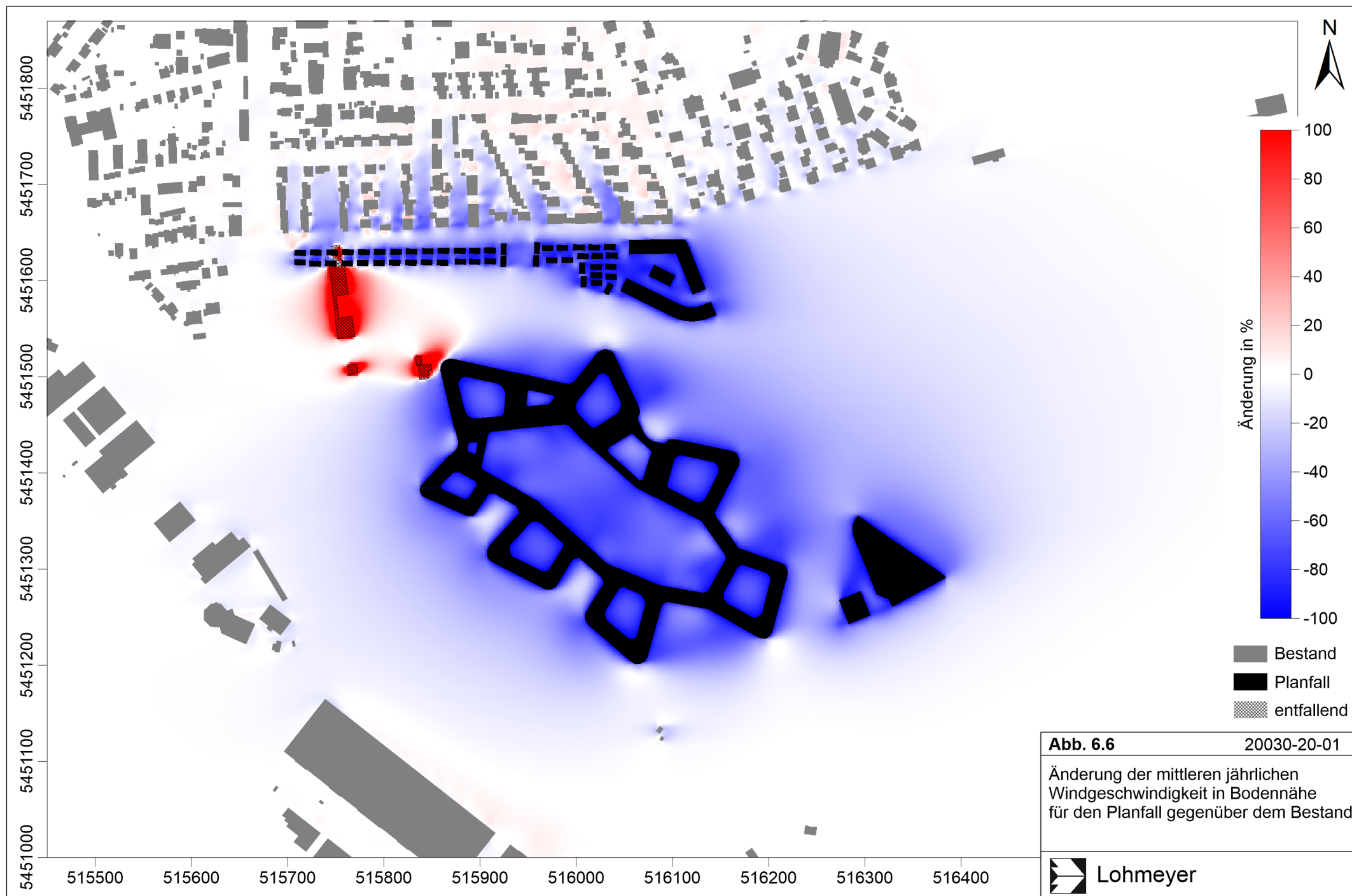




überwiegende den Bereich der geplanten verlegten K 2117 sowie die Parkhauszufahrtsbereiche. In den benachbarten bestehenden Siedlungsbereichen sind mit dem derzeitigen Zustand vergleichbare bodennahe mittlere Windgeschwindigkeiten berechnet.

Die Änderungen der mittleren Windgeschwindigkeiten in Bodennähe im Planfall gegenüber dem Bestand sind in **Abb. 6.6** aufgezeigt. Danach überwiegen im Bebauungsplangebiet kleinräumig Bereiche mit relativer Abnahme der bodennahen Windgeschwindigkeiten gegenüber dem derzeitigen Zustand. Zwischen den sieben geplanten Baukörpern sind teilweise kleinräumig Bereiche mit geringer Änderung der bodennahen Windgeschwindigkeit gegenüber dem Bestand (weiße Flächen) dargestellt, in denen wie oben beschrieben erhöhte Böigkeiten zu erwarten sind. Durch die entfallenden Gebäude im nordwestlichen Bereich des Bebauungsplangebietes sind dort Zunahmen der bodennahen Windgeschwindigkeit berechnet. In der Umgebung der geplanten Gebäude reichen die Bereiche mit verringerten mittleren bodennahen Windgeschwindigkeiten über 10% bis in einen Abstand von ca. 200 m nach Nordosten über den Freiflächen und entlang dem Riedweg. In westlicher Richtung sind bis in einen Abstand von ca. 150 m der geplanten Bebauung bodennah Einschränkungen der Durchlüftungsverhältnisse um mehr als 10% berechnet, die bis zur bestehenden gewerblichen Nutzung reichen und auch die Bundesstraße B 27 sowie die Kreisstraße K 2000 betreffen. Nördlich des Bebauungsplangebietes sind entlang der Amorbacher Straße bis in einen Abstand von ca. 110 m bodennah Einschränkungen der Durchlüftungsverhältnisse um mehr als 10% berechnet und betreffen den südlichen Siedlungsrand von Kochendorf, wobei dort teilweise auch kleinräumig leichte Erhöhungen der bodennahen Windgeschwindigkeiten berechnet sind aufgrund erhöhter Verwirbelungen durch die geplanten höheren Gebäude.

Aus den jahresbezogenen Windfeldberechnungen ist zu schließen, dass sich die Änderungen der Durchlüftungsverhältnisse auf das Baugebiet und deren direkte Nachbarschaft beschränken; eine wesentliche Änderung der Durchlüftungsverhältnisse für die in der Umgebung gelegenen Siedlungsbereiche ist daraus nicht abzuleiten. Auch mit der geplanten Bebauung sind in dessen Umgebung für den Stadtrand von Bad Friedrichshall ortsübliche bodennahe Windverhältnisse zu erwarten. In den Bereichen mit ausgewiesenen Verringerungen der bodennahen Windgeschwindigkeiten ist der bodennahe Luftaustausch verringert bzw. verzögert; damit werden die möglicherweise thermisch oder lufthygienisch belasteten Luftmassen etwas vermindert ausgetauscht.



## Thermische Verhältnisse

Die thermischen Verhältnisse in Bodennähe werden kleinräumig auch durch die bestehenden Nutzungen, insbesondere durch die bestehenden Oberflächen geprägt. Baumbestandene Vegetationsflächen führen in den Tagstunden bei wolkenarmem Himmel zu moderatem Ansteigen der Lufttemperatur und in den Nachtstunden zu deutlichen Abkühlungen. Flächendeckende, niedere Vegetationsflächen führen in den Nachtstunden zu intensiven Abkühlungen. Über künstlichen Oberflächen (Asphalt, Pflaster, Gebäude etc.) führt die Sonneneinstrahlung zu intensiver Erwärmung der unteren Luftschichten, sodass ein deutlicher Anstieg der Lufttemperatur in den Tagstunden und eine verminderte und verzögerte Abkühlung in den Nachtstunden zu beobachten ist.

Verbunden mit unterschiedlichem, für die Verdunstung verfügbarem Wassergehalt der Oberflächen und des Bodens ist eine Dämpfung des Temperaturanstiegs und der täglichen Temperaturamplitude über Vegetationsflächen gegeben.

Durch die geplante Nutzungsänderung im Bereich des Bebauungsplangebietes ändern sich kleinräumig auch die bodennahen Lufttemperaturen. Über den künstlichen Oberflächen ist in den Tagstunden eine intensivere Erwärmung zu erwarten. Die Auswirkungen der Erhöhungen der Lufttemperaturen über künstlichen Oberflächen bleiben überwiegend auf das Plangebiet beschränkt.

Für den Nachweis der thermischen Auswirkungen geplanter Bebauung auf die städtische Umgebung werden in vorliegender Fachliteratur teilweise Modellrechnungen (Bruse, 1999) eingesetzt. Daraus ist zu entnehmen, dass bei sommerlichen Wetterlagen mit geringer Bewölkung und geringer Windgeschwindigkeit die warmen Luftmassen horizontal verfrachtet werden. Die Auswirkungen der nachweisbaren Temperaturerhöhung durch Umnutzungen von Flächen der hier betrachteten Größe in benachbarten Nutzungen beschränkt sich entsprechend den Ergebnissen der genannten Modellrechnungen überwiegend auf einen Bereich unter 200 m. Die verhältnismäßig deutlichsten Auswirkungen sind in den Abendstunden zu erwarten, in denen die versiegelten Bereiche gegenüber Vegetationsbereichen verringerte Abkühlungen aufweisen, und bei geringen vorherrschenden Windgeschwindigkeiten, die keinen intensiven Forttransport der erwärmten Luftmassen bzw. Austausch der Luftmassen bewirken. Der Temperaturunterschied in benachbarten Nutzungen, bedingt durch solche baulichen Planungen, d.h. im Abstand bis ca. 200 m, wird mit ca. 1 Kelvin angegeben. Zu



anderen Tageszeiten sind geringere Ausdehnungen der Bereiche modifizierter bodennaher Lufttemperaturen und geringere Auswirkungen auf die Lufttemperatur zu erwarten.

Damit sind an der direkt nächstgelegenen Bebauung zum geplanten Bebauungsplangebiet „Obere Fundel“ leichte Temperaturerhöhungen an windschwachen Sommertagen durch die geplante Bebauung zu erwarten. Die Ausdehnung dieser Bereiche sollte die aus den Windfeldberechnungen abgeleiteten Abstände nicht überschreiten.

## **7 LUFTSCHADSTOFFE**

### **7.1 Emissionen**

#### **7.1.1 Betrachtete Schadstoffe**

Die Kraftfahrzeuge emittieren bei ihrem Betrieb eine Vielzahl von Schadstoffen. Die Relevanz dieser Schadstoffe ist recht unterschiedlich. Immissionsgrenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit werden erfahrungsgemäß am ehesten bei NO<sub>2</sub> und PM10 erreicht, deshalb werden diese Stoffe im vorliegenden Gutachten detailliert betrachtet. Die Konzentrationen für andere Luftschadstoffe wie Benzol, SO<sub>2</sub>, CO, Blei, PM2.5 etc. sind im Vergleich zu ihren gesetzlichen Immissionsgrenzwerten deutlich geringer, deshalb werden sie hier nicht betrachtet.

#### **7.1.2 Methode zur Bestimmung der Emissionsfaktoren**

Zur Ermittlung der Emissionen werden die Verkehrsdaten und für jeden Luftschadstoff so genannte Emissionsfaktoren benötigt. Die Emissionsfaktoren sind Angaben über die pro mittlerem Fahrzeug der Fahrzeugflotte und Straßenkilometer freigesetzten Schadstoffmengen. Im vorliegenden Gutachten werden die Emissionsfaktoren für die Fahrzeugarten Leichtverkehr (LV) und Schwerverkehr (SV) unterschieden. Die Fahrzeugart LV enthält dabei die Pkw, die leichten Nutzfahrzeuge (INfz) inklusive zeitlicher Entwicklung des Anteils am LV nach TREMOD (2010) und die Motorräder, die Fahrzeugart SV versteht sich inklusive Lastkraftwagen, Sattelschleppern, Bussen usw.

Die Emissionsfaktoren der Partikel setzen sich hingegen aus „motorbedingten“ und „nicht motorbedingten“ (Reifenabrieb, Staubaufwirbelung etc.) Emissionsfaktoren zusammen. Die Ermittlung der motorbedingten Emissionen erfolgt entsprechend der VDI-Richtlinie „Kfz-Emissionsbestimmung“ (VDI 3782 Blatt 7, 2003).

#### **Motorbedingte Emissionsfaktoren**

Die motorbedingten Emissionsfaktoren der Fahrzeuge einer Fahrzeugkategorie (Pkw, leichte Nutzfahrzeuge, Busse etc.) werden mit Hilfe des „Handbuchs für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs HBEFA“ Version 4.1 (UBA, 2019) berechnet; in der aktuellen Version des HBEFA 4.1 sind die nichtmotorbedingten Beiträge für Feinstaub PM10 integriert.

Die motorbedingten Emissionen hängen für die Fahrzeugarten Pkw, INfz, Lkw und Busse im Wesentlichen ab von:

- den so genannten Verkehrssituationen („Fahrverhalten“), das heißt der Verteilung von Fahrgeschwindigkeit, Beschleunigung, Häufigkeit und Dauer von Standzeiten,
- der sich fortlaufend ändernden Fahrzeugflotte (Anteil Diesel etc.),
- der Zusammensetzung der Fahrzeugschichten (Fahrleistungsanteile der Fahrzeuge einer bestimmten Gewichts- bzw. Hubraumklasse und einem bestimmten Stand der Technik hinsichtlich Abgasemission, z.B. EURO 2, 3, ...) und damit vom Jahr, für welches der Emissionsfaktor bestimmt wird (= Bezugsjahr),
- der Längsneigung der Fahrbahn (mit zunehmender Längsneigung nehmen die Emissionen pro Fahrzeug und gefahrenem Kilometer entsprechend der Steigung deutlich zu, bei Gefällen weniger deutlich ab) und
- dem Prozentsatz der Fahrzeuge, die mit nicht betriebswarmem Motor betrieben werden und deswegen teilweise erhöhte Emissionen (Kaltstarteinfluss) haben.

Die Zusammensetzung der Fahrzeuge innerhalb der Fahrzeugkategorien wird für das zu betrachtende Bezugsjahr dem HBEFA (UBA, 2019) entnommen.

Die Längsneigung der Straßen wird aus Höhenplänen, Lageplänen bzw. digitalen Geländedaten des Untersuchungsgebietes entnommen. Der Kaltstarteinfluss innerorts für PKW bzw. Infz wird entsprechend HBEFA angesetzt, sofern er in der Summe einen Zuschlag darstellt.

Für diese Ausarbeitung werden innerhalb des Rechengebietes folgende Verkehrssituationen herangezogen, wobei aus der Fahrspuranzahl und der Verkehrsbelegung eine Einschätzung des Auslastungsgrades der Streckenabschnitte erfolgte, der im HBEFA mit „level of service“ LOS bezeichnet wird und hier zwischen flüssigem Verkehrsfluss und gesättigtem Verkehrsfluss variiert wird:

|             |                                      |                                         |
|-------------|--------------------------------------|-----------------------------------------|
| AO-HVS100:  | Außerörtliche Hauptverkehrsstraße,   | Tempolimit 100 km/h                     |
| AOS-HVS80:  | Außerstädtische Hauptverkehrsstraße, | Tempolimit 80 km/h                      |
| AO-HVS70:   | Außerörtliche Hauptverkehrsstraße,   | Tempolimit 70 km/h                      |
| AO-HVS70d:  | Außerörtliche Hauptverkehrsstraße,   | Tempolimit 70 km/h, dichter Verkehr     |
| AO-HVS70g:  | Außerörtliche Hauptverkehrsstraße,   | Tempolimit 70 km/h, gesättigter Verkehr |
| IOS-HVS50:  | Innerstädtische Hauptverkehrsstraße, | Tempolimit 50 km/h                      |
| IOS-HVS50d: | Innerstädtische Hauptverkehrsstraße, | Tempolimit 50 km/h, dichter Verkehr     |
| IOS-HVS30:  | Innerstädtische Hauptverkehrsstraße, | Tempolimit 30 km/h                      |
| IOS-NS30:   | Innerstädtische Nebenverkehrsstraße, | Tempolimit 30 km/h                      |
| IOS-NS30d:  | Innerstädtische Nebenverkehrsstraße, | Tempolimit 30 km/h, dichter Verkehr     |

Die motorbedingten Emissionsfaktoren der Fahrzeuge einer Fahrzeugkategorie (PKW, leichte Nutzfahrzeuge, Busse etc.) werden mit Hilfe des „Handbuchs für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs HBEFA“ Version 4.1 (UBA, 2019) berechnet, in dem eine Korrektur der Emissionsfaktoren für Euro-6-Diesel-PKW sowie der Einfluss der Lufttemperatur auf die Organisation der Abgasnachbehandlungseinrichtung für Euro-4, Euro-5 und Euro-6-Diesel-PKW berücksichtigt sind. Diese relativen Anpassungen werden hier auch auf die leichten Nutzfahrzeuge angewendet und berücksichtigen für das Betrachtungsgebiet in Bad Friedrichshall eine mittlere Lufttemperatur von 10.8°C im Zeitraum 2010 bis 2019 (Quelle: DWD) der Station Obersulm, die gegenüber der im HBEFA genannten mittleren deutschen Temperaturverhältnisse von ca. 9°C erhöht ist.

**Abb. 7.1** zeigt exemplarisch die Verkehrssituationen im Planfall, **Tab. 7.1** gibt einen Überblick über die im vorliegenden Fall jeweils angesetzten Verkehrssituationen und die zugehörigen Emissionsfaktoren für das Bezugsjahr 2024 unter Angabe der mittleren Fahrgeschwindigkeiten.

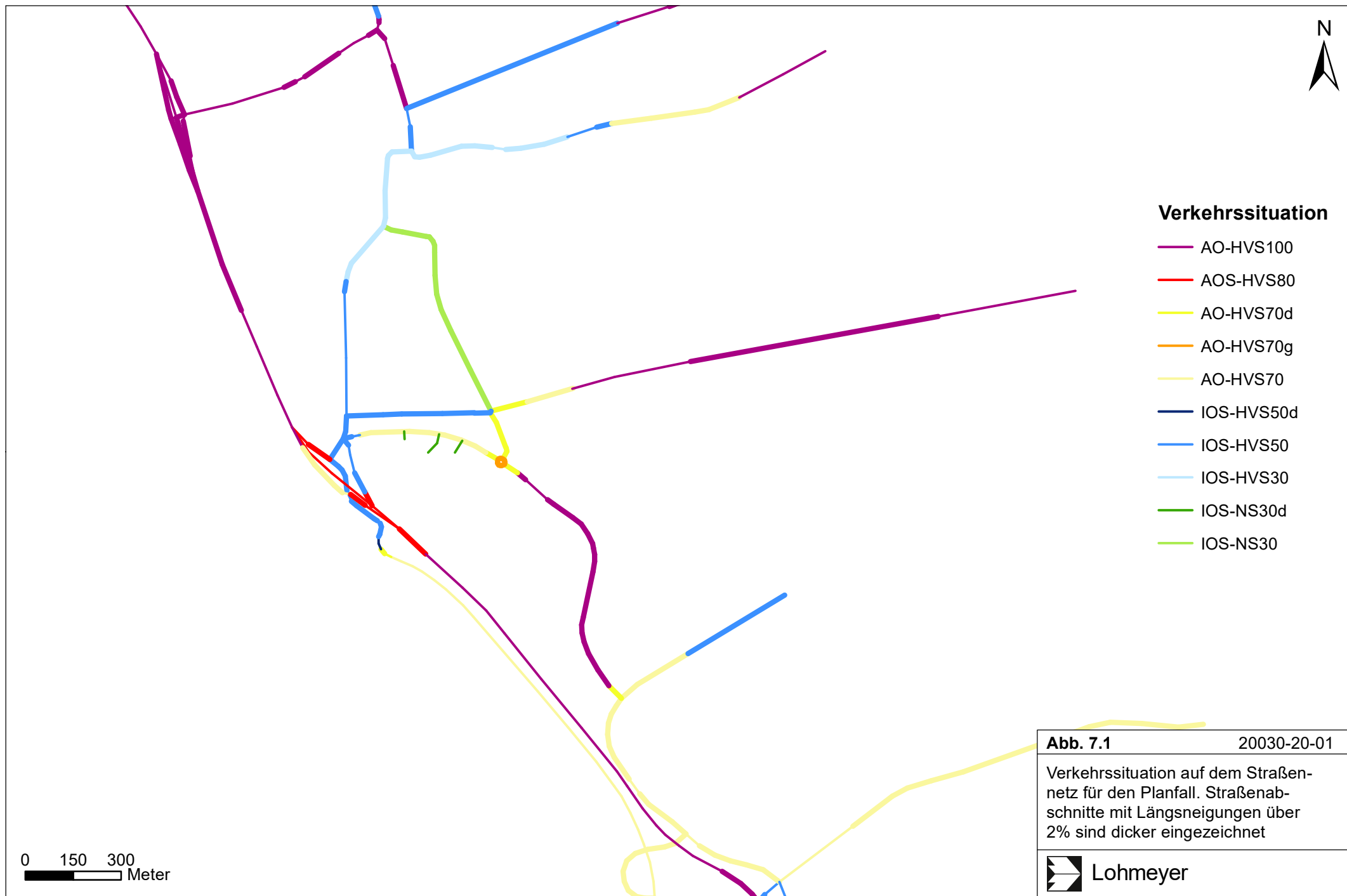
### 7.1.3 Emissionen des untersuchten Straßennetzes

Die Emissionen der betrachteten Schadstoffe  $\text{NO}_x$  und  $\text{NO}_{2\text{direkt}}$  sowie  $\text{PM}_{10}$  werden für jeden der betrachteten Straßenabschnitte ermittelt. Dabei wirken sich sowohl die verschiedenen Verkehrsaufkommen und Lkw-Anteile als auch die unterschiedlichen Verkehrssituationen aus. In Anhang A3 sind die räumlichen Verteilungen der Emissionen für die Schadstoffe  $\text{NO}_x$  und  $\text{PM}_{10}$  dargestellt.

**Tab. 7.2** zeigt exemplarisch für die B 27 westlich vom Bebauungsplangebiet die Verkehrskenndaten und die berechneten Emissionen, ausgedrückt als strecken- und zeitbezogene Emissionsdichten. Der Verkehr und die Emissionen nehmen im Planfall gegenüber dem Nullfall um ca. 14% zu.

| Variante | DTV<br>in Kfz/24 h | LKW-An-<br>teil in % | Verkehrs-<br>situation | $\text{NO}_x$<br>in mg/(m s) | $\text{NO}_{2\text{ direkt}}$<br>in mg/(m s) | $\text{PM}_{10}$ in<br>mg/(m s) |
|----------|--------------------|----------------------|------------------------|------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------|
| Nullfall | 36 950             | 8.0                  | AOS-HVS80_2            | 0.103                        | 0.0297                                       | 0.0132                          |
| Planfall | 42 250             | 8.0                  | AOS-HVS80_2            | 0.118                        | 0.0339                                       | 0.0151                          |

Tab. 7.2: Verkehrskennwerte und Emissionen an der B 27 westlich vom Bebauungsplangebiet





| Straßenparameter           |                         | spezifische Emissionsfaktoren je Kfz in g/km 2024 |       |                        |        |                      |        |                                             |      |
|----------------------------|-------------------------|---------------------------------------------------|-------|------------------------|--------|----------------------|--------|---------------------------------------------|------|
| Verkehrssituation (Kürzel) | Geschwindigkeit in km/h | NO <sub>x</sub>                                   |       | NO <sub>2</sub> direkt |        | Partikel (nur Abgas) |        | Partikel PM10 (nur Abrieb und Aufwirbelung) |      |
|                            |                         | LV                                                | SV    | LV                     | SV     | LV                   | SV     | LV                                          | SV   |
| AO-HVS100                  | 94.0                    | 0.233                                             | 0.861 | 0.0741                 | 0.1920 | 0.0022               | 0.0162 | 0.030                                       | 0.13 |
| AO-HVS100_2                | 94.0                    | 0.254                                             | 1.095 | 0.0809                 | 0.2483 | 0.0024               | 0.0127 | 0.030                                       | 0.13 |
| AO-HVS100_4                | 94.0                    | 0.319                                             | 0.892 | 0.1022                 | 0.1843 | 0.0031               | 0.0110 | 0.030                                       | 0.13 |
| AO-HVS100_6                | 94.0                    | 0.420                                             | 0.903 | 0.1362                 | 0.1764 | 0.0040               | 0.0130 | 0.030                                       | 0.13 |
| AO-HVS70                   | 67.0                    | 0.172                                             | 1.017 | 0.0535                 | 0.2310 | 0.0017               | 0.0155 | 0.026                                       | 0.10 |
| AO-HVS70_2                 | 67.0                    | 0.186                                             | 1.235 | 0.0580                 | 0.2860 | 0.0018               | 0.0140 | 0.026                                       | 0.10 |
| AO-HVS70_4                 | 67.0                    | 0.226                                             | 0.965 | 0.0712                 | 0.2052 | 0.0020               | 0.0130 | 0.026                                       | 0.10 |
| AO-HVS70_6                 | 67.0                    | 0.294                                             | 0.943 | 0.0932                 | 0.1873 | 0.0025               | 0.0139 | 0.026                                       | 0.10 |
| AO-HVS70d                  | 53.8                    | 0.224                                             | 1.444 | 0.0697                 | 0.3342 | 0.0020               | 0.0169 | 0.033                                       | 0.35 |
| AO-HVS70d_2                | 53.8                    | 0.235                                             | 1.636 | 0.0735                 | 0.3895 | 0.0021               | 0.0161 | 0.033                                       | 0.35 |
| AO-HVS70d_4                | 53.8                    | 0.271                                             | 1.313 | 0.0856                 | 0.2975 | 0.0023               | 0.0156 | 0.033                                       | 0.35 |
| AO-HVS70g                  | 37.0                    | 0.313                                             | 2.686 | 0.0980                 | 0.6543 | 0.0028               | 0.0219 | 0.040                                       | 0.70 |
| AO-HVS70g_2                | 37.0                    | 0.321                                             | 2.752 | 0.1008                 | 0.6692 | 0.0029               | 0.0217 | 0.040                                       | 0.70 |
| AOS-HVS80                  | 70.1                    | 0.175                                             | 0.978 | 0.0547                 | 0.2230 | 0.0017               | 0.0148 | 0.026                                       | 0.10 |
| AOS-HVS80_2                | 70.1                    | 0.190                                             | 1.245 | 0.0596                 | 0.2910 | 0.0018               | 0.0136 | 0.026                                       | 0.10 |
| AOS-HVS80_4                | 70.1                    | 0.234                                             | 0.874 | 0.0740                 | 0.1820 | 0.0021               | 0.0126 | 0.026                                       | 0.10 |
| IOS-HVS30                  | 31.0                    | 0.229                                             | 2.360 | 0.0652                 | 0.5271 | 0.0057               | 0.0265 | 0.026                                       | 0.10 |
| IOS-HVS30_2                | 31.0                    | 0.238                                             | 1.756 | 0.0683                 | 0.3865 | 0.0057               | 0.0264 | 0.026                                       | 0.10 |
| IOS-HVS30_4                | 31.0                    | 0.251                                             | 1.548 | 0.0728                 | 0.3411 | 0.0058               | 0.0266 | 0.026                                       | 0.10 |
| IOS-HVS30_6                | 31.0                    | 0.290                                             | 1.519 | 0.0854                 | 0.3241 | 0.0060               | 0.0274 | 0.026                                       | 0.10 |
| IOS-HVS50                  | 42.9                    | 0.242                                             | 1.966 | 0.0699                 | 0.4468 | 0.0055               | 0.0198 | 0.026                                       | 0.11 |
| IOS-HVS50_2                | 42.9                    | 0.246                                             | 2.211 | 0.0713                 | 0.5314 | 0.0056               | 0.0200 | 0.026                                       | 0.11 |
| IOS-HVS50_4                | 42.9                    | 0.277                                             | 1.474 | 0.0818                 | 0.3297 | 0.0058               | 0.0201 | 0.026                                       | 0.11 |
| IOS-HVS50_6                | 42.9                    | 0.329                                             | 1.381 | 0.0988                 | 0.2927 | 0.0060               | 0.0205 | 0.026                                       | 0.11 |
| IOS-HVS50d                 | 36.0                    | 0.299                                             | 2.195 | 0.0884                 | 0.4920 | 0.0060               | 0.0232 | 0.033                                       | 0.35 |
| IOS-NS30                   | 28.8                    | 0.288                                             | 2.928 | 0.0734                 | 0.6696 | 0.0063               | 0.0329 | 0.026                                       | 0.28 |
| IOS-NS30_2                 | 28.8                    | 0.294                                             | 2.472 | 0.0754                 | 0.5633 | 0.0064               | 0.0323 | 0.026                                       | 0.28 |
| IOS-NS30_4                 | 28.8                    | 0.315                                             | 2.118 | 0.0823                 | 0.4806 | 0.0065               | 0.0332 | 0.026                                       | 0.28 |
| IOS-NS30_6                 | 28.8                    | 0.344                                             | 1.971 | 0.0918                 | 0.4371 | 0.0066               | 0.0335 | 0.026                                       | 0.28 |
| IOS-NS30d                  | 23.3                    | 0.312                                             | 3.650 | 0.0807                 | 0.8495 | 0.0066               | 0.0336 | 0.035                                       | 0.50 |

Tab. 7.1: Emissionsfaktoren in g/km je Kfz im Untersuchungsgebiet für das Bezugsjahr 2024

Für die angegebenen 5 Parkebenen wurde jeweils auf der Grundlage der angegebenen Stellplatzanzahl und einer aus dem Lageplan abgeleiteten mittleren Fahrweite innerhalb der jeweiligen Parkebenen die entsprechende Schadstofffreisetzung berechnet. Dabei wurde ein Verkehrsfluss einer Nebenverkehrsstraße Tempo 30 im Stop and Go-Modus angenommen, um auch den Parkplatzsuchverkehr und die Rangiertvorgänge zu berücksichtigen. Für die Ausfahrt wurde jeweils ein entsprechender Kaltstartzuschlag berücksichtigt. Die so berechneten Emissionen pro Tag sind in **Tab. 7.3** zusammengestellt.

|     | NO <sub>x</sub> | NO <sub>2</sub> direkt | PM10  |
|-----|-----------------|------------------------|-------|
| PG1 | 623.8           | 159.8                  | 63.1  |
| PG2 | 1532.5          | 392.3                  | 155.5 |
| PG3 | 623.8           | 159.8                  | 63.1  |
| PG4 | 623.8           | 159.8                  | 63.1  |
| PG5 | 671.4           | 171.9                  | 67.9  |

Tab. 7.3: Mittlere Emissionen in g/Tag für die 5 Parkebenen

Für die Ausbreitungsrechnung wird angesetzt, dass die Parkebenen mittels natürlicher Be- und Entlüftung über die offenen Seitenflächen freigesetzt werden. Die Parkdecks weisen jeweils nach Norden, Westen und Süden offene Seiten auf.

## 7.2 Ergebnisse

In die Berechnungen gehen die Emissionen der Kraftfahrzeuge (Kap. 5) auf den berücksichtigten Straßen ein. Diese Emissionen verursachen die verkehrsbedingte Zusatzbelastung im Untersuchungsgebiet. Die NO<sub>2</sub>- und PM10-Beurteilungswerte beziehen sich auf die Gesamtbelastung. Es wird daher nur die Gesamtbelastung diskutiert, welche sich aus Zusatzbelastung und großräumig vorhandener Hintergrundbelastung zusammensetzt.

Die grafische Umsetzung der Immissionen erfolgt in Form von farbigen Rechtecken, deren Farbe bestimmten Konzentrationsintervallen zugeordnet ist. Die Zuordnung zwischen Farbe und Konzentrationsintervall ist jeweils in einer Legende angegeben. Bei der Skalierung der Farbstufen für die Immissionen wurde der kleinste Wert entsprechend der angesetzten Hintergrundbelastung zugeordnet. Beurteilungsrelevanten Kenngrößen sind einheitliche Farben zugeordnet. Damit werden die Beurteilungswerte für NO<sub>2</sub>- und PM10-Mittelwerte der

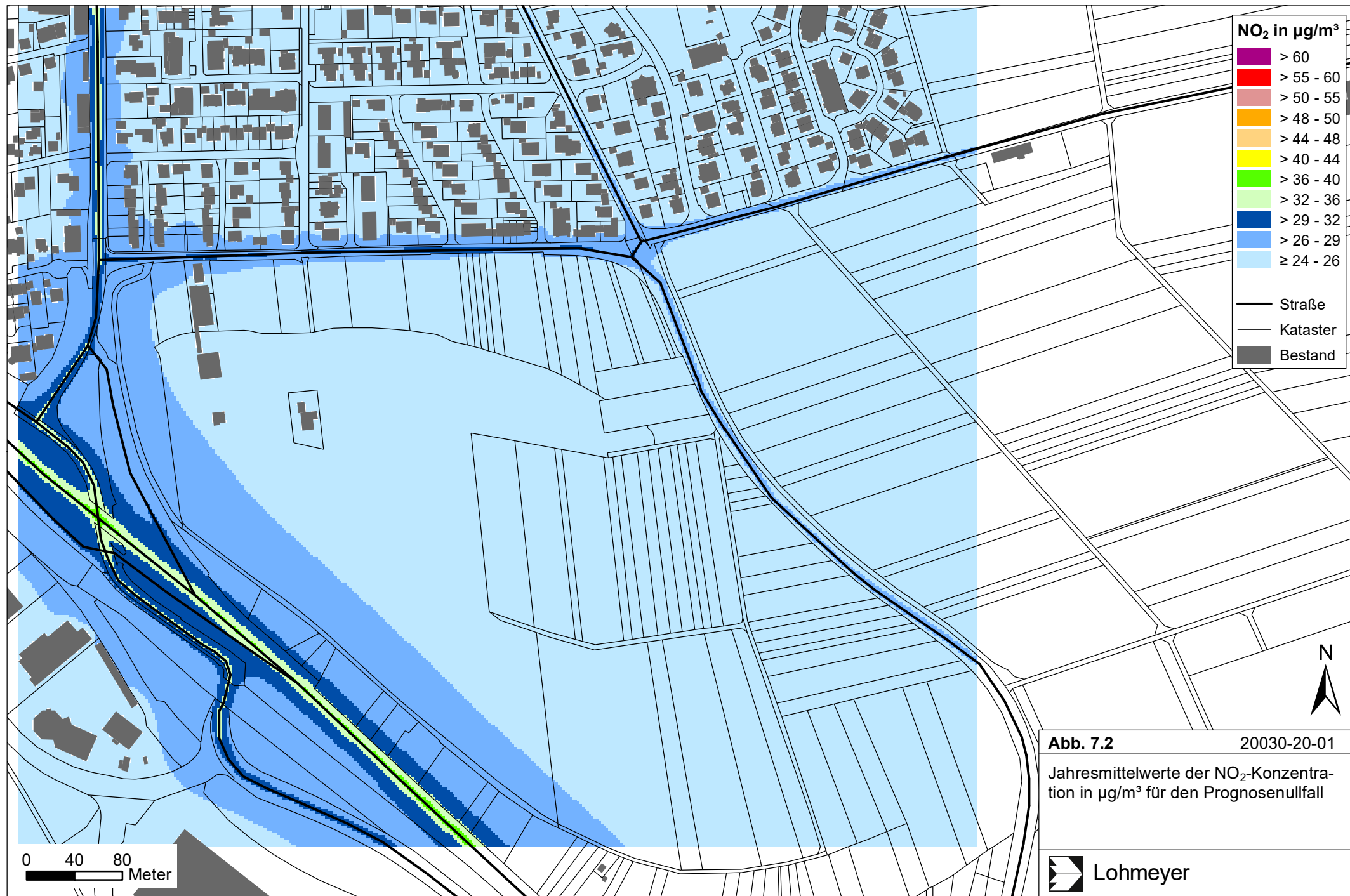
39. BImSchV mit roter Farbe und der Schwellenwert für die PM10-Kurzzeitbelastung mit gelber Farbe belegt.

### 7.2.1 Stickstoffdioxidimmissionen

**Abb. 7.2** und **Abb. 7.3** zeigen die für das Bezugsjahr 2024 berechneten NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte der bodennahen Luftkonzentrationen (Gesamtbelastung aus Hintergrundbelastung und verkehrsbedingter Zusatzbelastung). Die NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung wurde aus vorliegenden Messdaten abgeleitet.

Die NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte werden im Prognosenullfall (**Abb. 7.2**) durch den Kfz-Verkehr auf den Hauptverkehrsstraßen geprägt. Am Fahrbahnrand der stark frequentierten Bundesstraße B 27 sind NO<sub>2</sub>-Konzentrationen bis 36 µg/m<sup>3</sup> und am Fahrbahnrand der Amorbacher Straße (K 2117) bis 32 µg/m<sup>3</sup> berechnet. An der zu den Straßen nächstgelegenen Randbebauung sind im Betrachtungsgebiet keine NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte über 32 µg/m<sup>3</sup> dargestellt; die höchsten Konzentrationen sind an der Heilbronner Straße berechnet, an der Neckarsulmer Straße und dem Riedweg sind an der nächstgelegenen Bebauung NO<sub>2</sub>-Konzentrationen bis 26 µg/m<sup>3</sup> dargestellt. An der zur Amorbacher Straße nächstgelegenen Bebauung sind NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte unter 29 µg/m<sup>3</sup> ermittelt. Im Bebauungsplangebiet „Obere Fundel“ überwiegen NO<sub>2</sub>-Konzentrationen, die der angesetzten Hintergrundbelastung von 24 µg/m<sup>3</sup> entsprechen.

Zum Schutz der menschlichen Gesundheit ist entscheidend, ob die ermittelten Immissionen zu Überschreitungen der Grenzwerte an für die Beurteilung relevanter Bebauung, z.B. Wohnbebauung, führen. Damit sind in der Umgebung des Bebauungsplangebietes „Obere Fundel“ im Prognosenullfall auch an der zu den Straßen nächstgelegenen Bebauung NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte dargestellt, die den Grenzwert von 40 µg/m<sup>3</sup> deutlich nicht erreichen und nicht überschreiten. Für den Planfall sind die berechneten NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte in **Abb. 7.3** aufgetragen und zeigen aufgrund der Verkehrszunahme und den durch die geplante Bebauung veränderten Durchlüftungsverhältnissen auch Zunahmen der NO<sub>2</sub>-Konzentrationen. Am Fahrbahnrand der stark frequentierten Bundesstraße B 27 sind NO<sub>2</sub>-Konzentrationen bis 40 µg/m<sup>3</sup> und an der verlegten Kreisstraße K 2117 bis 36 µg/m<sup>3</sup> am Fahrbahnrand berechnet. An der zu den Straßen nächstgelegenen Randbebauung sind im Betrachtungsgebiet keine NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte über 32 µg/m<sup>3</sup> dargestellt; die höchsten Konzentrationen sind an der Bebauung der Heilbronner Straße nördlich der Amorbacher Straße unter 32 µg/m<sup>3</sup> prognostiziert, wobei dort gegenüber dem Prognosenullfall eine verringerte Konzentration



**Abb. 7.2**

20030-20-01

Jahresmittelwerte der NO<sub>2</sub>-Konzentration in µg/m<sup>3</sup> für den Prognosenullfall





berechnet ist. An der Neckarsulmer Straße sind an der nächstgelegenen Bebauung  $\text{NO}_2$ -Konzentrationen bis  $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$  berechnet, die gegenüber dem Prognosenullfall etwas zunehmen. Am Riedweg sind an der Randbebauung  $\text{NO}_2$ -Konzentrationen unter  $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$  berechnet, womit sich die durch die geplante Bebauung eingeschränkten Durchlüftungsverhältnisse unwesentlich auf die verkehrsbedingten Konzentrationen auswirken. An der zur Amorbacher Straße nächstgelegenen Bebauung sind  $\text{NO}_2$ -Konzentrationen unter  $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$  berechnet, die gegenüber dem Prognosenullfall aufgrund verringertem Verkehr trotz planungsbedingten eingeschränkten Durchlüftungsverhältnissen etwas abnehmen. Entlang der K 2177 östlich des Bebauungsplangebietes sind im Nahbereich der Fahrbahn gegenüber dem Prognosenullfall geringe Zunahmen der  $\text{NO}_2$ -Konzentrationen zu erwarten. Innerhalb des Bebauungsplangebietes sind entlang der verlegten K 2117 und in der Umgebung der Seitenöffnungen der Parkdecks gegenüber der Hintergrundbelastung erhöhte  $\text{NO}_2$ -Konzentrationen berechnet, die an der geplanten Bebauung jedoch nicht zu Werten über  $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$  führen.

Damit sind im Bebauungsplangebiet „Obere Fundel“ und dessen Umgebung im Planfall auch an der zu den Straßen nächstgelegenen Bebauung  $\text{NO}_2$ -Jahresmittelwerte dargestellt, die den Grenzwert von  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  deutlich nicht erreichen und nicht überschreiten.

Bei diesen berechneten geringen  $\text{NO}_2$ -Jahresmittelwerten wird auch der  $\text{NO}_2$ -Kurzzeitbelastungswert deutlich unterschritten; auf grafische Darstellung wird hier verzichtet.

### 7.2.2 Feinstaub PM10

Für die Bewertung der PM10-Feinstaubimmissionen liegen zwei Beurteilungsgrößen vor. Diese sind der Jahresmittelwert und der Kurzzeitwert, der max. 35 Überschreitungen eines Tagesmittelwertes von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in einem Jahr erlaubt. Die Auswertungen von Messdaten zeigen, dass der Kurzzeitwert die strengere Größe darstellt. Entsprechend den Ausführungen in Kap. 3 gibt es für den Kurzzeitwert einen Schwellenwert. Dieser besagt, dass ab einem PM10-Jahresmittelwert von  $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$  der Kurzzeitwert überschritten ist. Im Folgenden werden die berechneten PM10-Jahresmittelwerte dargestellt und mit Blick auf die beiden Werte von  $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  diskutiert.

**Abb. 7.4** zeigt die berechneten PM10-Immissionen (Jahresmittelwerte) für den Prognosenullfall im Betrachtungsgebiet, die auch in Straßennähe der bestehenden Straßen keine Konzentrationen über  $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$  aufweisen. Die berechneten PM10-Immissionen entsprechen an der bestehenden Bebauung weitgehend der angesetzten Hintergrundbelastung von



18  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . An der zur Heilbronner Straße nächstgelegenen Bebauung sind PM10-Jahresmittelwerte bis 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ermittelt. Der geltende Grenzwert der 39. BImSchV für PM10 von 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  im Jahresmittel wird im Prognosenullfall deutlich nicht erreicht. Der Schwellenwert von 29  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  im Jahresmittel zur Ableitung der PM10-Kurzzeitbelastung wird im Prognosenullfall ebenfalls nicht erreicht und nicht überschritten.

Für den Planfall mit Umsetzung des Bebauungsplans „Obere Fundel“ sind die berechneten PM10-Immissionen in **Abb. 7.5** aufgezeigt. Etwas erhöhte PM10-Immissionen sind am Fahrbahnrand der B 27 bis 22  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  und an der verlegten Kreisstraße K 2117 bis 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  am Fahrbahnrand berechnet. An der zu den Straßen nächstgelegenen Randbebauung sind im Betrachtungsgebiet keine PM10-Jahresmittelwerte über 19  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  dargestellt. An der Heilbronner Straße nördlich der Amorbacher Straße sind gegenüber dem Prognosenullfall verringerte Konzentrationen berechnet. Innerhalb des Bebauungsplangebietes sind entlang der verlegten K 2117 und in der Umgebung der Seitenöffnungen der Parkdecks gegenüber der Hintergrundbelastung etwas erhöhte PM10-Konzentrationen berechnet, die an der geplanten Bebauung jedoch nicht zu Werten über 19  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  führen.

Damit wird an der geplanten und bestehenden Bebauung auch im Planfall mit Umsetzung des Bebauungsplans „Obere Fundel“ der geltende Grenzwert der 39. BImSchV für PM10 von 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  im Jahresmittel deutlich unterschritten. Der Schwellenwert von 29  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  im Jahresmittel zur Ableitung der PM10-Kurzzeitbelastung wird im Planfall ebenfalls deutlich unterschritten.



## 8 LITERATUR

22. BImSchV (2007): Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes, 22. BImSchV, Verordnung über Immissionswerte für Schadstoffe in der Luft vom 11. September 2002 (BGBl. I S. 3626), geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 27. Februar 2007 (BGBl. I S. 241). (mit Erscheinen der 39. BImSchV zurückgezogen)
23. BImSchV (1996): Dreiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Festlegung von Konzentrationswerten - 23. BImSchV). In: BGBl. I, Nr. 66, S. 1962 (mit Erscheinen der 33. BImSchV zurückgezogen).
33. BImSchV. (2004): Dreiunddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung zur Verminderung von Sommersmog, Versauerung und Nährstoffeinträgen – 33. BImSchV). BGBl. I, Nr. 36, S. 1612-1625 vom 20.07.2004. (mit Erscheinen der 39. BImSchV zurückgezogen)
39. BImSchV (2010): Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchst-mengen – 39. BImSchV). BGBl. I, Nr. 40, S. 1065-1104 vom 05.08.2010.
- Bächlin, W., Bösing, R., Brandt, A., Schulz, T. (2006): Überprüfung des NO-NO<sub>2</sub>-Umwandlungsmodells für die Anwendung bei Immissionsprognosen für bodennahe Stickoxidfreisetzung. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft, 66 (2006) Nr. 4 – April.
- BAST (1986): Straßenverkehrszählungen 1985 in der Bundesrepublik Deutschland. Erhebungs- und Hochrechnungsmethodik. Schriftenreihe Straßenverkehrszählungen, Heft 36. Im Auftrag des Bundesministers für Verkehr, Bergisch Gladbach, 1986. Hrsg.: Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach.
- BAST (2018): Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2015. Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik, Bergisch-Gladbach, 2018.
- Bruse, M. (1999): Die Auswirkungen kleinskaliger Umweltgestaltung auf das Mikroklima. Entwicklung des prognostischen numerischen Modells ENVI-met zur Simulation der Wind-, Temperatur- und Feuchteverteilung in städtischen Strukturen. Dissertation. Fakultät für Geowissenschaften der Ruhr-Universität Bochum.

- EG-Richtlinie 2008/50/EG (2008): Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21.05.2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa. Amtsblatt der Europäischen Union vom 11.06.2008, Nr. L152/1.
- Eichhorn, J. (1989): Entwicklung und Anwendung eines dreidimensionalen mikroskaligen Stadtklima-Modells. Dissertation, Johannes-Gutenberg-Universität Mainz.
- Eichhorn, Kniffka (2010): The numerical flow model MISKAM: State of development and evaluation of the basic version. In: Meteorologische Zeitschrift, Vol. 19, No. 1, 81-90.
- Eichhorn, J. (2014): MISKAM Handbuch zu Version 6.3. Giese-Eichhorn Umweltmeteorologische Software. Wackersheim, April 2014.
- Flassak, Th., Bächlin, W., Bösing, R., Blazek, R., Schädler, G., Lohmeyer, A. (1996): Einfluss der Eingangsparameter auf berechnete Immissionswerte für KFZ-Abgase - Sensitivitätsanalyse. In: FZKA PEF-Bericht 150, Forschungszentrum Karlsruhe.
- Kühlwein, J. (2004): Unsicherheiten bei der rechnerischen Ermittlung von Schadstoffemissionen des Straßenverkehrs und Anforderungen an zukünftige Modelle. Dissertation, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) der Universität Stuttgart, 20. September 2004.
- LUA NRW (2006): Jahresbericht 2005, Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Essen, seit 01.01.2007 Landesamt für Umwelt, Natur und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV NRW), Februar 2006, [www.lanuv.nrw.de](http://www.lanuv.nrw.de).
- LUBW (2011-2020): Jahreskenngrößen der Luftschadstoff-Messwerte in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  an Stationen des Landesmessnetzes Baden-Württemberg für die Jahre 2010 bis 2019. Im Internet unter [www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de).
- Maronga, B., Gryschka, M., Heinze, R., Hoffmann, F., Kanani-Sühring, F., Keck, M., Ketelsen, K., Letzel, M. O., Sühring, M., and Raasch, S., 2015: The Parallelized Large-Eddy Simulation Model (PALM) version 4.0 for atmospheric and oceanic flows: model formulation, recent developments, and future perspectives. Geoscientific Model Development Discussions 8 (2015), Nr. 2, S. 1539-1637 (2015).
- Maronga, B., Gross, G., Raasch, S., Banzhaf, S., Forkel, R., Heldens, W., Kanani-Sühring, F., Matzarakis, A., Mauder, M., Pavlik, D., Pfaffenrodt, J., Schubert, S., Seckmeyer, G., Sieker, H., and Winderlich, Kristina, 2019: Development of a new urban climate model based on the model PALM-Project overview, planned work, and first achievements. Meteorologische Zeitschrift (2019): 1-15.



- Raasch, S., and Schröter, M., 2001: PALM – a large-eddy simulation model performing on massively parallel computers. *Meteorologische Zeitschrift* 10.5 (2001): 363-372.
- RLuS (2012): Richtlinien zur Ermittlung der Luftqualität an Straßen ohne oder mit lockerer Randbebauung – RLuS 2012. Hrsg.: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Straßenentwurf, veröffentlicht 2013.
- Röckle, R., Richter, C.-J. (1995): Ermittlung des Strömungs- und Konzentrationsfeldes im Nahfeld typischer Gebäudekonfigurationen - Modellrechnungen -. Abschlussbericht PEF 92/007/02, Forschungszentrum Karlsruhe.
- Romberg, E., Bösing, R., Lohmeyer, A., Ruhnke, R., Röth, E. (1996): NO-NO<sub>2</sub>-Umwandlungsmodell für die Anwendung bei Immissionsprognosen für KFZ-Abgase. Hrsg.: Gefahrstoffe-Reinhaltung der Luft, Band 56, Heft 6, S. 215-218.
- Schädler, G., Bächlin, W., Lohmeyer, A., van Wees, T. (1996): Vergleich und Bewertung derzeit verfügbarer mikroskaliger Strömungs- und Ausbreitungsmodelle. In: *Berichte Umweltforschung Baden-Württemberg (FZKA-PEF 138)*.
- Scherhag, R., Blüthgen, J., Lauer, W. (1977): *Klimatologie*. 9. Aufl. Westermann Verlag, Braunschweig. ISBN N 3-14-160284-0, S. 204.
- TREMODO (2010): TREMOD – Transport Emission Model: Fortschreibung und Erweiterung "Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960-2030". Im Auftrag des Umweltbundesamtes, FKZ 3707 45 101, Version 5.1, ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg. 2010.
- UBA (2019): *Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs*. Version 4.1 / September 2019. Hrsg.: Umweltbundesamt, Berlin. [www.hbefa.net](http://www.hbefa.net).
- VDI 3783 Blatt 7 (2017): *Umweltmeteorologie – Prognostische mesoskalige Windfeldmodelle, Evaluierung für dynamisch und thermisch bedingte Strömungsfelder*. Richtlinie VDI 3783 Blatt 7, Hrsg.: Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN – Normenausschuss, Düsseldorf, Mai 2017.
- VDI 3783 Blatt 9 (2017): *Umweltmeteorologie – Prognostische mikroskalige Windfeldmodelle, Evaluierung für Gebäude- und Hindernisumströmung*. Richtlinie VDI 3783 Blatt 9, Hrsg.: Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN – Normenausschuss, Düsseldorf, Mai 2017.

Wahl, S., Bollmeyer, C., Crewell, S., Figura, C., Friederichs, P., Hense, A., Keller, J. D., and Ohlwein, C., 2017: A novel convective-scale regional reanalyses COSMO-REA2: Improving the representation of precipitation, Meteorol. Z. 26.

**A N H A N G A1**

**BEURTEILUNGSWERTE FÜR LUFTSCHADSTOFFKONZENTRATIONEN AN KFZ-  
STRASSEN**

## A1 BEURTEILUNGSWERTE FÜR LUFTSCHADSTOFFKONZENTRATIONEN AN KFZ-STRASSEN

### A1.1 Grenzwerte

Durch den Betrieb von Kraftfahrzeugen entstehen eine Vielzahl von Schadstoffen, welche die menschliche Gesundheit gefährden können, z. B. Stickoxide ( $\text{NO}_x$  als Summe von  $\text{NO}$  und  $\text{NO}_2$ ), Kohlenmonoxid ( $\text{CO}$ ), Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ), Benzol, Partikel, etc. Im vorliegenden Gutachten werden Konzentrationen bzw. Immissionen von Luftschadstoffen ermittelt. Deren Angabe allein vermittelt jedoch weder Informationen darüber, welche Schadstoffe die wichtigsten sind, noch einen Eindruck vom Ausmaß der Luftverunreinigung im Einflussbereich einer Straße. Erst ein Vergleich der Schadstoffkonzentrationen mit schadstoffspezifischen Beurteilungswerten, z. B. Grenz- oder Vorsorgewerten lässt Rückschlüsse auf die Luftqualität zu. Darauf wird im Folgenden eingegangen.

Grenzwerte sind rechtlich verbindliche Beurteilungswerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit, der Vegetation oder des Bodens, die einzuhalten sind und nicht überschritten werden dürfen. Die in Deutschland für den Einflussbereich von Straßen maßgebenden Grenzwerte sind in der 39. BImSchV (2010) benannt, dort als Immissionsgrenzwert bezeichnet. Bezüglich verkehrsbedingter Luftschadstoffe sind derzeit  $\text{NO}_2$ ,  $\text{PM}_{10}$  und  $\text{PM}_{2.5}$  von Bedeutung, gelegentlich werden zusätzlich noch die Schadstoffe Benzol und Kohlenmonoxid betrachtet. Ruß wird nicht betrachtet, weil es nach Erscheinen der 33. BImSchV (2004) und dem damit erfolgten Zurückziehen der 23. BImSchV (1996) dafür keinen gesetzlichen Beurteilungswert mehr gibt. Ruß ist Bestandteil von  $\text{PM}_{10}$  und wird damit indirekt erfasst. Die Grenzwerte der 39. BImSchV sind in **Tab. A1.1** angegeben.

Ergänzend zu diesen Grenzwerten nennt die 39. BImSchV Toleranzmargen; das sind in jährlichen Stufen abnehmende Werte, um die der jeweilige Grenzwert innerhalb festgesetzter Fristen überschritten werden darf, ohne in Deutschland die Erstellung von Luftreinhalteplänen zu bedingen. Diese Werte werden als Übergangsbeurteilungswerte bezeichnet, sofern sie aufgrund der zeitlichen Zusammenhänge in den Betrachtungen der Planungen Berücksichtigung finden.

Zusätzliche Luftschadstoffe zu den genannten werden meist nicht betrachtet, da deren Immissionen in Deutschland typischerweise weit unterhalb der geltenden Grenzwerte liegen. In der 39. BImSchV (2010) werden auch Zielwerte für  $\text{PM}_{2.5}$ , Arsen, Kadmium, Nickel und

Benzo(a)pyren (BaP) in der Luft als Gesamtgehalt in der PM10-Fraktion über ein Kalenderjahr gemittelt festgesetzt. Ein Zielwert ist die nach Möglichkeit in einem bestimmten Zeitraum zu erreichende Immissionskonzentration, um die schädlichen Einflüsse auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt insgesamt zu vermeiden, zu verhindern oder zu verringern. Die verkehrsbedingten Zusatzbelastungen dieser genannten Schadstoffe liegen selbst an stark befahrenen Hauptverkehrsstraßen meist deutlich unterhalb der Hintergrundbelastung und werden deshalb ebenfalls nicht mitbetrachtet.

| Stoff              | Mittelungszeit      | Grenzwert                                                | Geltungszeitpunkt |
|--------------------|---------------------|----------------------------------------------------------|-------------------|
| NO <sub>2</sub>    | Stundenmittelwert   | 200 µg/m <sup>3</sup> maximal 18 Überschreitungen / Jahr | seit 2010         |
| NO <sub>2</sub>    | Jahresmittelwert    | 40 µg/m <sup>3</sup>                                     | seit 2010         |
| Partikel (PM10)    | Tagesmittelwert     | 50 µg/m <sup>3</sup> maximal 35 Überschreitungen / Jahr  | seit 2005         |
| Partikel (PM10)    | Jahresmittelwert    | 40 µg/m <sup>3</sup>                                     | seit 2005         |
| Partikel (PM2.5)   | Jahresmittelwert    | 25 µg/m <sup>3</sup>                                     | seit 2015         |
| Benzol             | Jahresmittelwert    | 5 µg/m <sup>3</sup>                                      | seit 2010         |
| Kohlenmonoxid (CO) | 8 h gleitender Wert | 10 mg/m <sup>3</sup>                                     | seit 2005         |

Tab. A1.1: Immissionsgrenzwerte nach 39. BImSchV (2010) für ausgewählte (verkehrsrelevante) Schadstoffe

Der Inhalt der am 11. Juni 2008 in Kraft getretenen EU-Luftqualitätsrichtlinie 2008/50/EG ist mit der 39. BImSchV in nationales Recht umgesetzt. In der 39. BImSchV wurden u.a. die Inhalte der 22. BImSchV und 33. BImSchV zusammengefasst, sodass diese beiden BImSchV aufgehoben wurden. Ein neues Element der 39. BImSchV ist die Einführung eines Immissionsgrenzwertes für die Feinstaubfraktion PM2.5 (Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser von 2.5 µm), der ab dem 1. Januar 2015 einzuhalten ist.

## A1.2 Vorsorgewerte

Da der Vergleich von Luftschadstoffkonzentrationen mit Grenzwerten allein noch nicht ausreichend ist, um eine Luftschadstoffkonzentration zu charakterisieren, gibt es zusätzlich zu den Grenzwerten so genannte Vorsorgewerte bzw. Zielwerte zur langfristigen Verbesserung der Luftqualität.

In der 39. BImSchV wird ergänzend zur Einhaltung des Grenzwertes als nationales Ziel gefordert, ab dem Jahr 2015 den Indikator für die durchschnittliche PM<sub>2.5</sub>-Exposition von 20 µg/m<sup>3</sup> im Jahresmittel einzuhalten. Die durchschnittliche PM<sub>2.5</sub>-Exposition für das Referenzjahr 2010 ist vom UBA festzustellen und basiert auf dem gleitenden Jahresmittelwert der Messstationen im städtischen und regionalen Hintergrund für die Jahre 2008 bis 2010. Ab dem Jahr 2020 soll als Zielwert eine reduzierte durchschnittliche PM<sub>2.5</sub>-Exposition eingehalten werden. Das Reduktionsziel beträgt in Abhängigkeit vom Ausgangswert im Referenzjahr 2010 bis zu 20%, mindestens jedoch soll das Ziel von 18 µg/m<sup>3</sup> im Jahr 2020 erreicht werden.

### **A1.3 Europäische Richtlinien zur Bewertung von Luftschadstoffen**

Die EU-Luftqualitätsrichtlinie 2008/50/EG ist mit ihrer Veröffentlichung im Amtsblatt der Europäischen Union am 11. Juni 2008 in Kraft getreten. Mit der 39. BImSchV hat die Bundesregierung die EU-Richtlinie weitgehend in nationales Recht umgesetzt.

Im Unterschied zur 39. BImSchV soll nach der EU-Luftqualitätsrichtlinie ab dem Jahr 2020 ein PM<sub>2.5</sub>-Richtgrenzwert von 20 µg/m<sup>3</sup> im Jahresmittel (Stufe 2 im Anhang XIV) zum Grenzwert werden. Im Jahr 2013 sollte dieser Richtgrenzwert von der EU-Kommission anhand zusätzlicher Informationen über die Auswirkungen auf Gesundheit und Umwelt, die technische Durchführbarkeit und die Erfahrungen mit dem Zielwert in den Mitgliedstaaten überprüft werden.



**A N H A N G A2**  
**FEHLERDISKUSSION FÜR IMMISSIONSBERECHNUNG**

## A2 FEHLERDISKUSSION FÜR IMMISSIONSBERECHNUNG

Immissionsprognosen als Folge der Emissionen des KFZ-Verkehrs sind ebenso wie Messungen der Schadstoffkonzentrationen fehlerbehaftet. Bei der Frage nach der Zuverlässigkeit der Berechnungen und der Güte der Ergebnisse stehen meistens die Ausbreitungsmodelle im Vordergrund. Die berechneten Immissionen sind aber nicht nur abhängig von den Ausbreitungsmodellen, sondern auch von einer Reihe von Eingangsinformationen, wobei jede Einzelne dieser Größen einen mehr oder weniger großen Einfluss auf die prognostizierten Konzentrationen hat. Wesentliche Eingangsgrößen sind die Emissionen, die Bebauungsstruktur, meteorologische Daten und die Hintergrundbelastung.

Es ist nicht möglich, auf Basis der Fehlerbandbreiten aller Eingangsdaten und Rechenschritte eine klassische Fehlerberechnung durchzuführen, da die Fehlerbandbreite der einzelnen Parameter bzw. Teilschritte nicht mit ausreichender Sicherheit bekannt sind. Es können jedoch für die einzelnen Modelle Vergleiche zwischen Naturmessungen und Rechnungen gezeigt werden, anhand derer der Anwender einen Eindruck über die Güte der Rechenergebnisse erlangen kann.

In einer Sensitivitätsstudie für das Projekt "Europäisches Forschungszentrum für Maßnahmen zur Luftreinhaltung - PEF" (Flassak et al., 1996) wird der Einfluss von Unschärfen der Eingangsgrößen betrachtet. Einen großen Einfluss auf die Immissionskenngrößen zeigen demnach die Eingangsparameter für die Emissionsberechnungen sowie die Bebauungsdichte, die lichten Abstände zwischen der Straßenrandbebauung und die Windrichtungsverteilung.

Hinsichtlich der Fehlerabschätzung für die KFZ-Emissionen ist anzufügen, dass die Emissionen im Straßenverkehr bislang nicht direkt gemessen, sondern über Modellrechnungen ermittelt werden. Die Genauigkeit der Emissionen ist unmittelbar abhängig von den Fehlerbandbreiten der Basisdaten (d.h. Verkehrsmengen, Emissionsfaktoren, Fahrleistungsverteilung, Verkehrsablauf).

Nach BASt (1986) liegt die Abweichung von manuell gezählten Verkehrsmengen (DTV) gegenüber simultan erhobenen Zählraten aus automatischen Dauerzählstellen bei ca. 10%.

Für die statistische Fehlerbandbreite der NO<sub>x</sub>-Emissionsfaktoren mit warmem Motor findet man bei Kühlwein (2004) Abschätzungen von 10% bis 20% für Autobahnen bzw. Innerorts-

straßen. Aussagen über die statistischen Fehler bei der Berücksichtigung von Kaltstartkorrekturen sind nach Angaben des Autors nicht möglich.

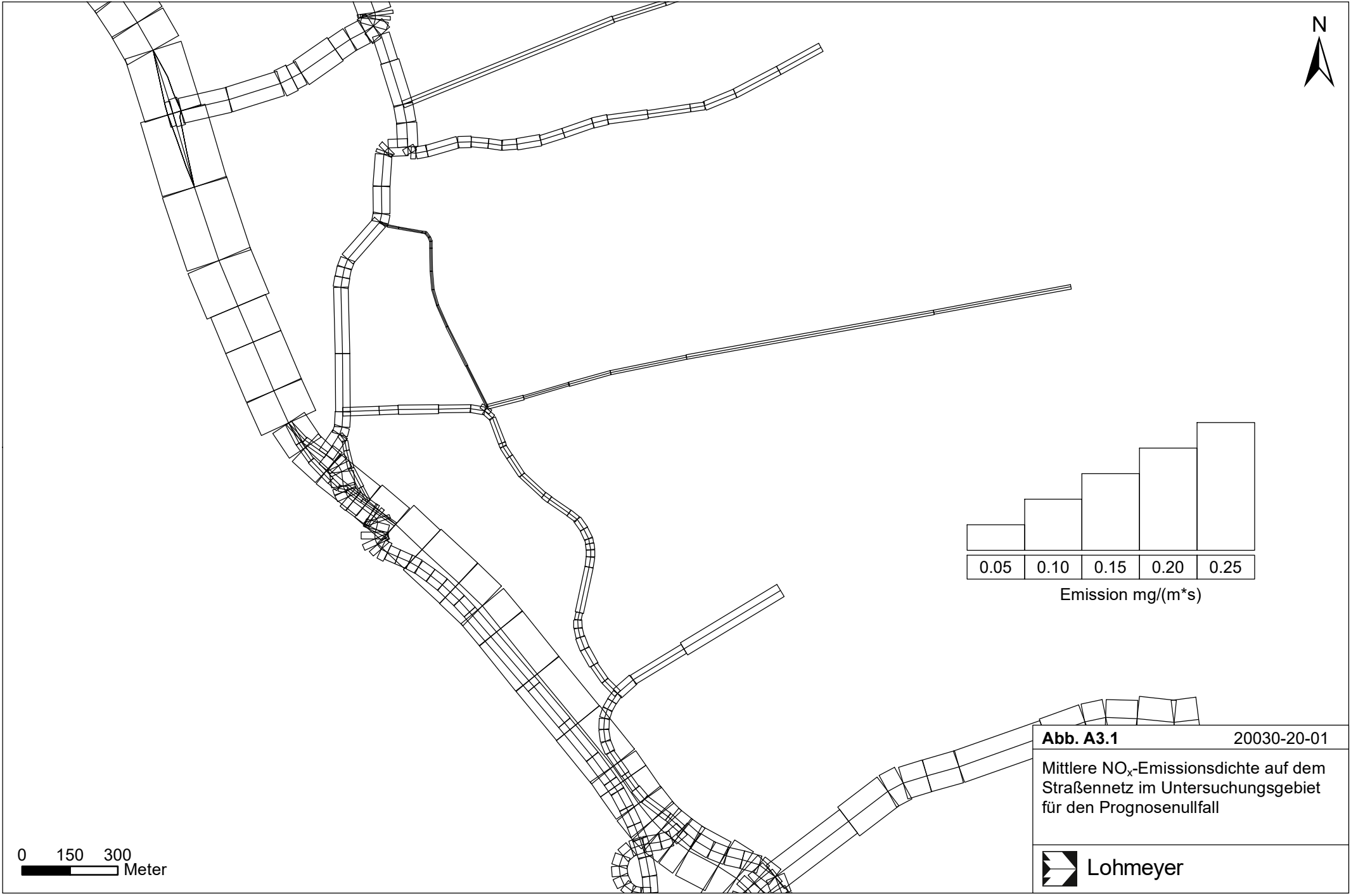
Für Emissionsfaktoren liegen derzeit noch keine statistischen Erhebungen über Fehlerbandbreiten vor. Deshalb wird vorläufig ein mittlerer Schätzwert von ca. 20% angenommen.

Weitere Fehlerquellen liegen in der Fahrleistungsverteilung innerhalb der nach Fahrzeugschichten aufgeschlüsselten Fahrzeugflotte, dem Anteil der mit nicht betriebswarmem Motor gestarteten Fahrzeuge (Kaltstartanteil) und der Modellierung des Verkehrsablaufs. Je nach betrachtetem Schadstoff haben diese Eingangsdaten einen unterschiedlich großen Einfluss auf die Emissionen. Untersuchungen haben beispielsweise gezeigt, dass die Emissionen, ermittelt über Standardwerte für die Anteile von leichten und schweren Nutzfahrzeugen und für die Tagesganglinien im Vergleich zu Emissionen, ermittelt unter Berücksichtigung entsprechender Daten, die durch Zählung erhoben wurden, Differenzen im Bereich von +/-20% aufweisen.

Die Güte von Ausbreitungsmodellierungen war Gegenstand weiterer PEF-Projekte (Röckle & Richter, 1995 und Schädler et al., 1996). Schädler et al. führten einen ausführlichen Vergleich zwischen gemessenen Konzentrationskenngrößen in der Göttinger Straße, Hannover, und MISKAM-Rechnenergebnissen durch. Die Abweichungen zwischen Mess- und Rechenergebnissen lagen im Bereich von 10%, wobei die Eingangsdaten im Fall der Göttinger Straße sehr genau bekannt waren. Bei größeren Unsicherheiten in den Eingangsdaten sind höhere Rechenunsicherheiten zu erwarten. Dieser Vergleich zwischen Mess- und Rechenergebnissen dient der Validierung des Modells, wobei anzumerken ist, dass sowohl Messung als auch Rechnung fehlerbehaftet sind.

Hinzuzufügen ist, dass der Fehler der Emissionen sich direkt auf die berechnete Zusatzbelastung auswirkt, nicht aber auf die Hintergrundbelastung, d.h. dass die Auswirkungen auf die Gesamtmissionsbelastung geringer sind.

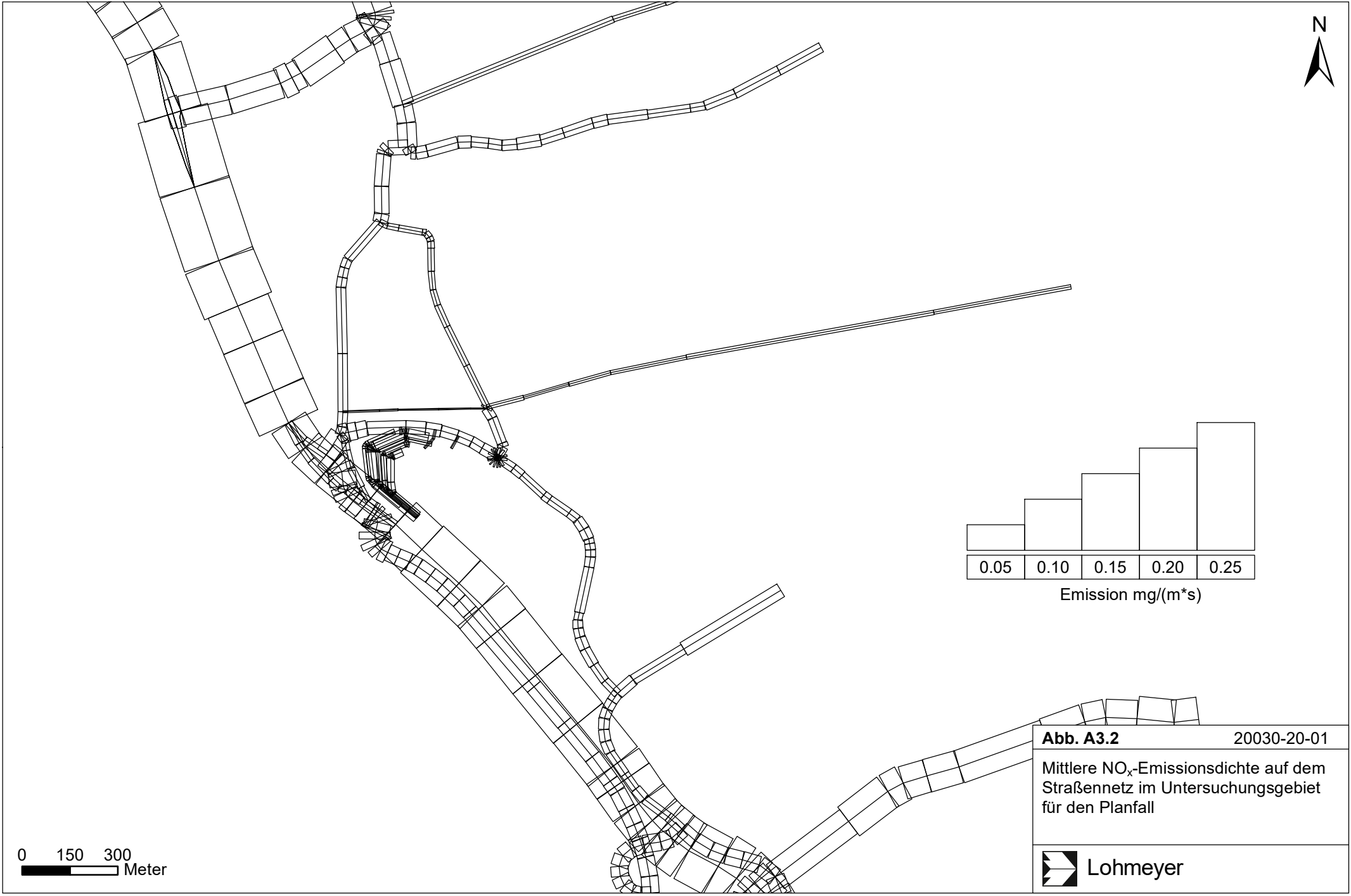
**A N H A N G A3**  
**EMISSIONEN DER STRASSENABSCHNITTE**



**Abb. A3.1** 20030-20-01

Mittlere NO<sub>x</sub>-Emissionsdichte auf dem Straßennetz im Untersuchungsgebiet für den Prognosenullfall

 Lohmeyer



**Abb. A3.2** 20030-20-01

Mittlere NO<sub>x</sub>-Emissionsdichte auf dem Straßennetz im Untersuchungsgebiet für den Planfall

 Lohmeyer



