SPACETEC
Steinicke & Streifeneder
Umweltuntersuchungen

Eisenbahnstraße 43
D-79098 Freiburg
Tel 0761 / 202 16 46
Fax 0761 / 202 16 71
steinicke@klima-luft.de
Abbildung A3ft.de

LÖH3

31. Oktober 2013

# Auswirkungen der Planungen im Rahmen des Bebauungsplans Nr. 210 „Logistikzentrum Gohfeld“ auf das Schutzgut Klima

# INHALT


**1 SITUATION UND AUFGABENSTELLUNG ..... 2**

**2 KRITISCHE BETRACHTUNG DER ERGEBNISSE DER STADTKLIMAUNTERSUCHUNG LÖHNE 1994 ..... 3**

**3 ÖRTLICHE VERHÄLTNISSE ..... 6**

3.1 UNTERSUCHUNGS- UND PLANGEBIET ..... 6

3.2 WIND- UND AUSBREITUNGSVERHÄLTNISSE IM UNTERSUCHUNGSGEBIET ..... 8

**4 BEURTEILUNGSGRUNDLAGEN ..... 12**

**5 LOKALKLIMATISCHE UNTERSUCHUNG ..... 13**

5.1 OBERFLÄCHENTEMPERATUR ..... 16

*5.1.1 Allgemeines ..... 16*

*5.1.2 Simulationsergebnisse ..... 18*

5.2 THERMISCHES BIOKLIMA ..... 21

*5.2.1 Allgemeines ..... 21*

*5.2.2 Simulationsergebnisse ..... 23*

**6 UNTERSUCHUNG ZUR DURCHLÜFTUNG UND ZUM WINDKOMFORT ..... 26**

6.1 HAUPTWINDRICHTUNG NORDOSTOST ..... 27

6.2 HAUPTWINDRICHTUNG SÜDSÜDWEST ..... 27

6.3 VERÄNDERUNGEN IM JAHRESMITTEL ..... 27

**7 KALTLUFT ..... 28**

7.1 EINGESETZTES MODELL ..... 28

7.2 DAS SIMULATIONSGEBIET ..... 28

7.3 ERGEBNISSE DER KALTLUFTABFLUSSBERECHNUNGEN ..... 29

**8 PLANUNGSEMPFEHLUNGEN ..... 32**

**9 ZUSAMMENFASSUNG ..... 34**

**LITERATUR ..... 36**

**ANHANG ..... 38**

**A1 LOKALKLIMA ..... 39**

**A2 DURCHLÜFTUNG UND WINDKOMFORT ..... 45**

**A3 KALTLUFTABFLÜSSE ..... 48**

# 1 Situation und Aufgabenstellung

Die Hermes Fulfilment GmbH plant die Ansiedlung eines Logistikzentrums bei Löhne-Gohfeld. Für das Schutzgut Klima sind Auswirkungen auf die Durchlüftung, potenzielle Kaltluftabflüsse und das thermische Milieu zu prüfen. Die geschieht mit Hilfe von Modellrechnungen für den Ist-Zustand und den Planfall. Dabei werden auch die Aussagen der Stadtklimauntersuchung Löhne aus dem Jahr 1994 betrachtet.

# 2 Kritische Betrachtung der Ergebnisse der Stadtklimauntersuchung Löhne 1994

Im Rahmen der Stadtklimauntersuchung Löhne (SPACETEC 1994) wurden flächendeckende Thermalscanneraufnahmen sowie meteorologische Messungen durchgeführt. Wichtigste Ergebnisse sind das Gutachten, die Klimatopkarte und die Klimafunktionskarte. Hierin wird auch das aktuelle Plangebiet dargestellt; im Gutachten gibt es dazu ein eigenes Kapitel („Standort 4“, S. 29).

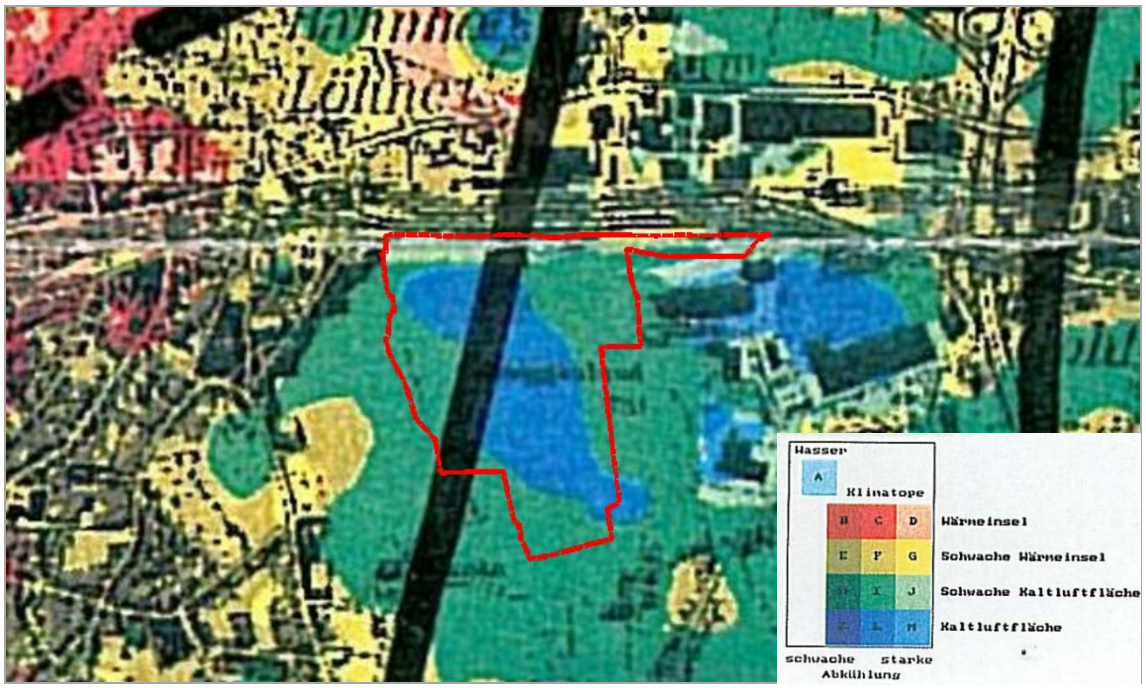



Abbildung 2-1: Ausschnitt aus der Klimatopkarte (SPACETEC 1994) nebst Legende. Sie resultiert aus der flächendeckenden Thermalscanneraufnahme. Rot markiert ist Abgrenzung des Geltungsbereichs (nicht detailgenau).

Auf der Klimatopkarte (Abbildung 2-1), die aus der flächendeckenden Thermalscanneraufnahme resultiert, ist die Freifläche mit dem Plangebiet als Kaltluftfläche dargestellt. Der zentrale Bereich ist eine „Kaltluftfläche mit mäßiger Abkühlung“ (Klimatopklasse L, blau), der Rest eine „schwache Kaltluftfläche mit mäßiger Abkühlung“ (Klimatopklasse I, grün).

Die Klimafunktionskarte (Abbildung 2-2) stellt die klimatische Ist-Situation, Hier ist das Plangebiet ein „Kaltluftquellgebiet“ mit wenig Gefälle (K-). Es wird von einer süd-nord-orientierten Luftleitbahn durchzogen (Pfeile). Dies symbolisiert einerseits einen geringen Kaltluftabfluss (der schwachen Hangneigung folgend) und eine durch Winde aus dem Südsektor bedingte Frischluftströmung. Letztere wird teilweise durch ein Strömungshindernis (Bahn) abgeblockt.

Die Untersuchung von 1994 kam zu dem Schluss, dass der zentrale und westliche Teil der Freifläche unbedingt freigehalten werden muss. Eine Versiegelung würde zum Verlust an Kaltluftentstehungsfläche führen, d.h. eine lokale Wärmeinsel erzeugen, und die bestehende Süd-Nord-Durchlüftungsachse durch erhöhte Rauhigkeit (Gebäude) zum Verschwinden bringen.

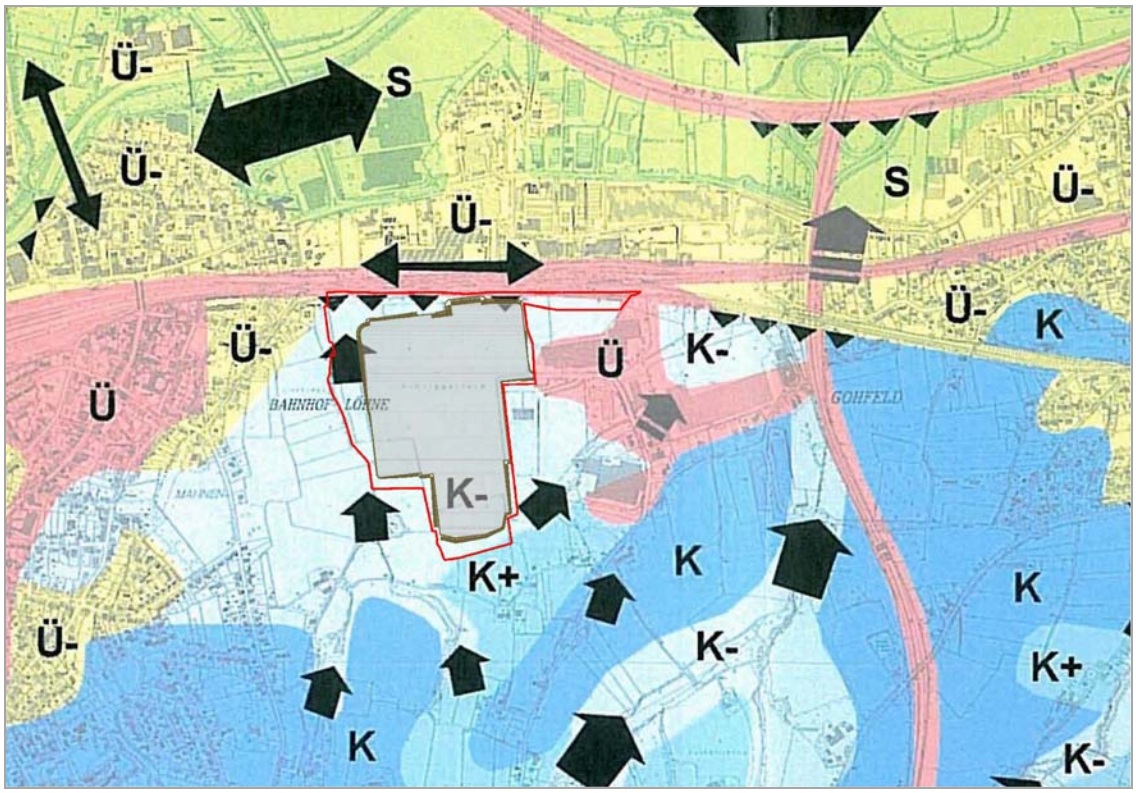



Abbildung 2-2: Auszug aus der Klimafunktionskarte (SPACETEC 1994) nebst Legende; rot markiert ist die Abgrenzung Geltungsbereichs (nicht detailgenau), die darin geplanten Bauflächen/Versieglungen sind grau angedeutet

Die neue Untersuchung ist hier wesentlich differenzierter. Das Ergebnis von 1994 beruhte auf dem damaligen Stand der Technik. Man war angewiesen auf die Thermaldaten, die die Ist-Situation für einen einzigen, ausgewählten Zeitpunkt darstellen (windschwache, sommerliche Strahlungsnacht). Die meteorologischen Messungen erfolgten nur punktuell an wenigen, ausgewählten Standorten. Trotzdem wurden die wesentlichen Fakten gut erfasst (Kaltluftentstehung, Kaltluftabfluss, Durchlüftung). Die negative Bewertung der Planung fiel relativ drastisch aus. Dies ist verständlich, denn aus der gutachterlichen Erfahrung heraus, eine Bebauung mittels klimatologischer Argumente letztlich kaum verhindern zu können, sollte zumindest das Augenmerk der Planer und Entscheidungsträger auf die Problematik der Situation gelenkt werden. Ziel konnte nur sein, den Faktor Klima (und Lufthygiene) im Planungsfall detailliert zu prüfen und ggfs. Maßnahmen zu formulieren, um Konflikte zu minimieren. Dies war mit den Mitteln von 1994 nur qualitativ möglich. Da überdies keine konkrete Planung vorlag, konnte auch nur pauschal argumentiert werden.

Dies hat sich mittlerweile geändert. Heute stehen mächtige Simulationswerkzeuge zur Verfügung, mit denen der Ist- und Planfall quantitativ analysiert werden kann. Wesentliche Merkmale sind:

- breite Palette der simulierten Klimafaktoren (Oberflächen- und Lufttemperatur, Durchlüftung, Kaltluftabfluss und -sammlung)
- hohe räumliche Auflösung in drei Dimensionen
- Analyse des gesamten Jahreszeitraums, Bestimmung von Jahresmittelwerten und Häufigkeiten
- Analyse spezieller Zeitpunkte (z.B. Schwachwindsituation)

Es ist nicht verwunderlich, dass mit den modernen Methoden einige Aussagen von 1994 relativiert werden müssen, insbesondere bezüglich der Auswirkungen von Bebauung. Die aktuelle Planung bezieht sich auf einen definierten Bereich der Fläche und ist in sich differenziert (Gebäude, versiegelte Flächen, begrünte Bereiche). 1994 konnte dagegen der Planfall nur pauschal – und auf die gesamte Freifläche bezogen – betrachtet werden (z.B. in Analogie zu bestehenden Gewerbeflächen). Die früheren Aussagen sind daher auch nur pauschal und dienten vor allem als Aufforderung bei einem eventuellen Vorhaben genauestens hinzuschauen. Dies ist aktuell geschehen. Präziser als mit den verwendeten Modellen kann man den Fall nicht analysieren.

Auch für den (heutigen) Ist-Zustand haben sich neue Erkenntnisse ergeben. So sind etwa die blauen Flächen auf der Klassifizierten Thermalkarte im Wesentlichen das Produkt von Kaltluftsammlung. Das hier gestaute Kaltluftvolumen ist aber kaum positiv verwendbar, etwa zur Kühlung der westlich liegenden Wohngebiete. Auch das Maß der Kaltluftabflüsse im Ist-Zustand ist nun klar dokumentiert (ein „Planzustand“ war 1994 kaum abschätzbar). Hierbei hat sich gezeigt, dass der Fluss westlich des Gebäudekomplexes kaum behindert wird. Die Frischluftversorgung (Nord-Süd-Durchlüftungsachse in der Klimafunktionskarte) existiert also weiter; die westlich liegenden Wohngebiete spüren letztlich kaum etwas von der Bebauung. Das trifft auch im Jahresmittel auf die Durchlüftung zu. Die Einzelheiten werden in den folgenden Kapiteln ausführlich dargestellt.

# 3 Örtliche Verhältnisse

## *3.1 Untersuchungs- und Plangebiet*

Das Untersuchungsgebiet befindet sich auf der bisher unbebauten Fläche zwischen der Kernstadt Löhne und dem Ortsteil Löhne-Gohfeld. Das Gebiet liegt ca. 9,5km nordnordwestlich des Stadtzentrums von Herford und ca. 1,2 km südwestlich des Autobahndreiecks Löhne und umfasst eine Fläche von etwa 22,5 ha. Das überplante Gebiet wird überwiegend landwirtschaftlich genutzt.

Nördlich an das Plangebiet grenzen Bahnlinien an. Im Westen des Plangebiets schließen die Siedlungsgebiete des Stadtteils Löhne-Ort an, östlich liegen Gewerbegebiete mit vereinzelter Wohnbebauung. Dahinter verläuft die B61. Die südlich an das Plangebiet angrenzenden Flächen sind weitestgehend unbebaut, nur vereinzelt befinden sich dort Wohnhäuser (siehe Abbildung 3-1 und Abbildung 3-2).

Das Gelände in der Umgebung des Plangebiets ist leicht abschüssig und fällt in nördlicher Richtung.

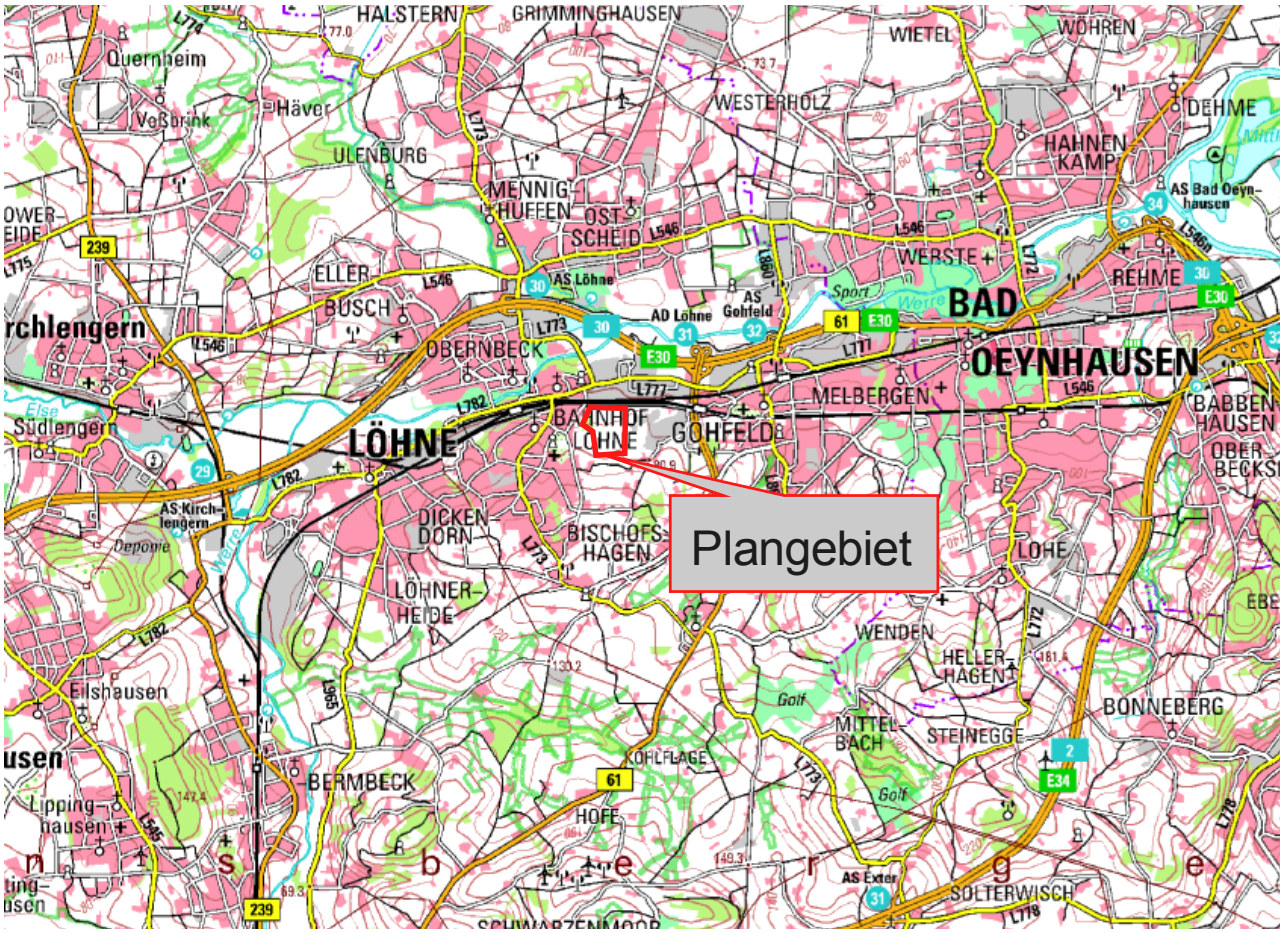



Abbildung 3-1: Topografische Karte mit Lage der überplanten Fläche (rot markiert).

Abbildung 3-2: Luftbild mit Plangebiet (rot umrandet) und näherer Umgebung (Quelle: Google Maps, 2009).

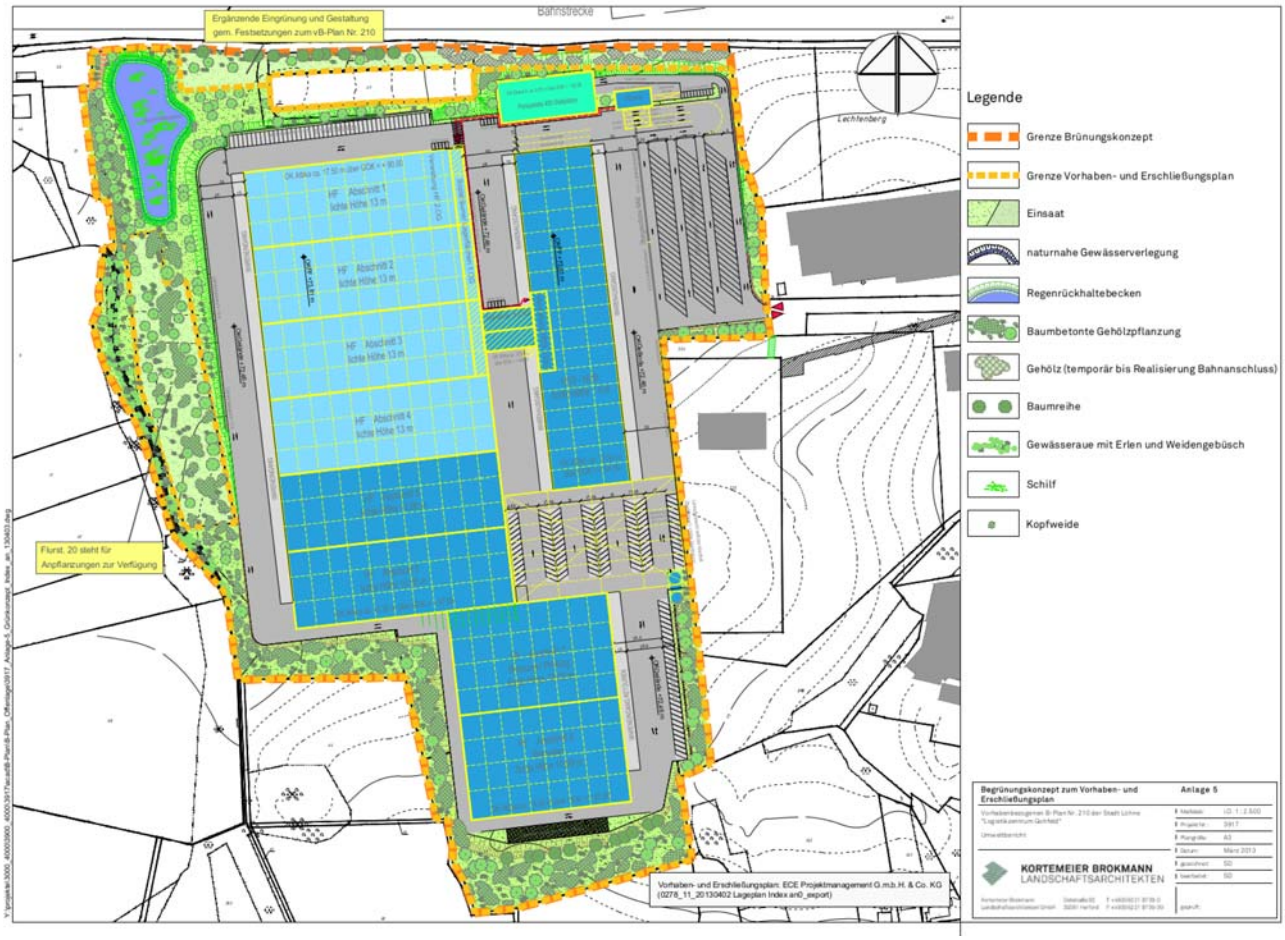



Abbildung 3-3: Vorhaben- und Erschließungsplan „Logistikzentrum Gohfeld“ (Stand März 2013).

## *3.2 Wind- und Ausbreitungsverhältnisse im Untersuchungsgebiet*

Der Luftaustausch ist eine der wesentlichen Größen zur Beurteilung der klimatischen und lufthygienischen Verhältnisse. Der Austausch von Luft erfolgt durch horizontale und vertikale Prozesse. Der horizontale Austausch ist dabei hauptsächlich von der Windgeschwindigkeit, der vertikale Austausch von der thermischen Schichtung abhängig.

Am August-Griese-Berufskolleg in Löhne wird seit 2003 von der meteomedia AG eine meteorologische Messstation betrieben (Koordinaten: N 52.19444°, E 8.7100°, 77 m ü. NN, Messhöhe 13 m). Die Messstation liegt ca. 1 km westnordwestlich des Plangebiets. Aufgrund der vergleichsweise geringen Geländereliefierung kann davon ausgegangen werden, dass auch im Plangebiet ähnliche Verhältnisse vorliegen.

Von der ArguSoft GmbH & Co. KG wurde aus den Messjahren 2003 bis 2012 ein repräsentatives Jahr bestimmt. Die beste Übereinstimmung mit den langjährigen Verhältnissen weist das Messjahr 2009 auf.

In Abbildung 3-4 ist die Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen aus dem Jahr 2009 an der Station Löhne in Form einer Windrose dargestellt. Die Länge der Strahlen zeigt an, wie häufig der Wind aus der jeweiligen Richtung weht. Die Breite der Windrichtungsklassen beträgt 10 Grad. Die Farbkodierung der Windrose gibt die Windgeschwindigkeiten an.

Die Verteilung weist zwei Hauptwindrichtungen auf. Am häufigsten treten südsüdwestliche Windrichtungen , gefolgt von nordwestlichen Windrichtungen auf. Die höchsten Windgeschwindigkeiten treten bei südsüdwestlichen Windrichtungen auf. Nordnordwestliche Windrichtungen besitzen im Mittel geringere Windgeschwindigkeiten.

Die mittlere Windgeschwindigkeit in 13 m über Grund liegt bei 3.0 m/s.

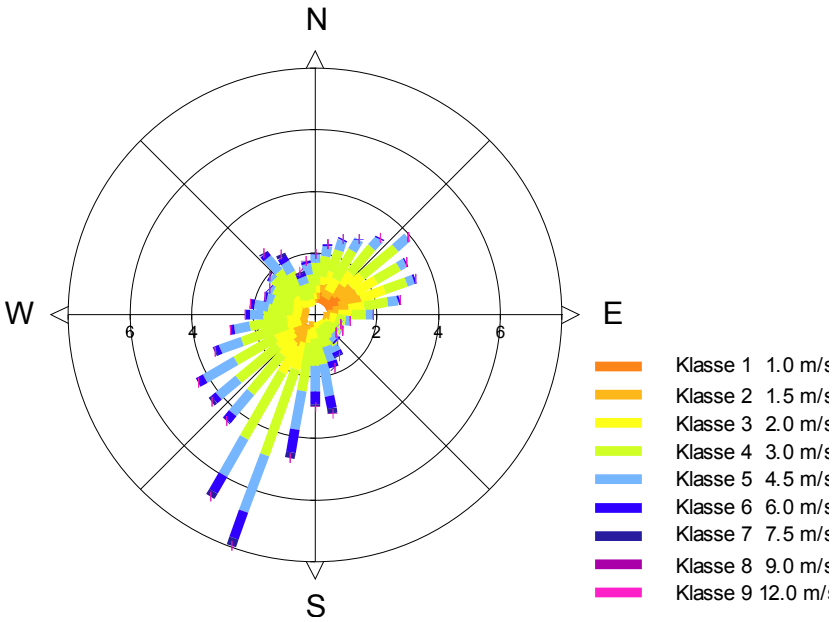



Abbildung 3-4: Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen an der Meteomedia-Station Löhne.

Weitere Differenzierungen lassen sich erkennen, wenn die Häufigkeitsverteilungen der Windrichtungen für die unterschiedlichen Ausbreitungsklassen dargestellt werden (Abbildung 3-5). Die Definition der Ausbreitungsklassen nach TA Luft und deren meteorologische Bedingungen sind in Tabelle 3-1 aufgeführt.

Tabelle 3-1: Erläuterung der Ausbreitungsklassen nach TA Luft

| Ausbreitungs-klasse | Thermische Schichtung | Entsprechende meteorologische Bedingungen |
|---|---|---|
| I | sehr stabil | nachts, windschwach, geringe Bewölkung |
| II | stabil | nachts, windschwach, bedeckt |
| $III_1$ | neutral/stabil | Tag und Nacht, höhere Windgeschwindigkeiten |
| $III_2$ | neutral/labil | tagsüber, mittlere Windgeschwindigkeiten, bedeckt |
| IV | labil | tagsüber, windschwach, geringe Bewölkung |
| V | sehr labil | Tage in den Sommermonaten, wolkenarm oder windschwach, nur um die Mittagszeit |

Stabile Schichtungen (Ausbreitungsklassen I und II) treten in ca. 28% der Jahresstunden auf. Bei stark stabiler Schichtung dominieren Winde aus Ostnordost.

Wetterlagen mit guten Austauschverhältnissen (Ausbreitungsklasse $III_1$ und $III_2$) liegen während ca. 62% der Jahresstunden vor. Sie sind überwiegend mit Südsüdwestwinden verbunden.

Bei labilen Schichtungen (geringe Windgeschwindigkeiten, mäßige bis hohe Sonneneinstrahlung) gibt es keine bevorzugten Windrichtungen. Labile Schichtungen kommen lediglich in ca. 9% der Jahresstunden vor.

Nachts bilden sich Inversionen (warme Luft lagert über der bodennahen kalten Luft) durch Wärmeabstrahlung des Erdbodens aus. Dadurch wird der vertikale Luftaustausch stark reduziert, so dass lufthygienische und thermische Belastungen schlecht abtransportiert werden. Dies gilt vor allem für Mulden und Ebenen, in denen sich Kaltluft sammelt. Hier kommt den thermisch induzierten Windsystemen (Kaltluftabflüssen) eine besondere Bedeutung zu.

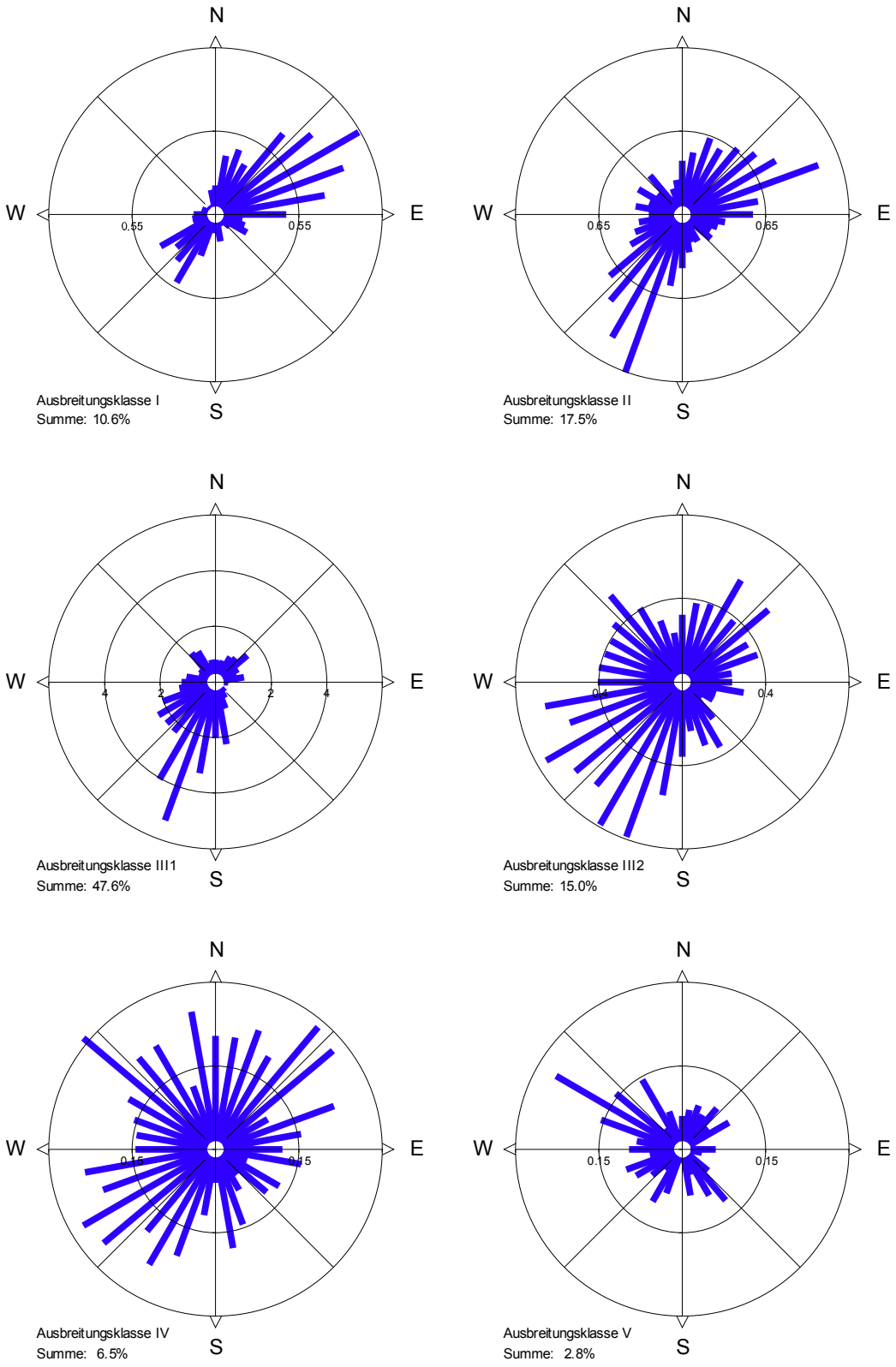



Abbildung 3-5: Windrichtungsverteilung bei verschiedenen Ausbreitungsklassen an der Station Löhne, (I – stark stabil, II – stabil, $III_1$ – indifferent, $III_2$ – indifferent bis leicht labil, IV – labil, V – stark labil)

# 4 Beurteilungsgrundlagen

Zur Bewertung des Kleinklimas existieren bisher keine allgemein gültigen Maßstäbe. Die Bewertung richtet sich deshalb an den Zielen aus. Das Ziel einer vorsorgenden Stadtplanung sollte es sein, zusätzliche bioklimatische Belastungen zu vermeiden oder auf ein Minimum zu reduzieren. Auch wenn ein Bauvorhaben für sich nur geringe Auswirkungen auf das Klima zeigt, so bewirkt die Summe vieler Einzelvorhaben einen deutlichen Effekt. Ein bekanntes Beispiel hierfür ist die städtische Wärmeinsel, deren Intensität in etwa logarithmisch mit der Bevölkerungszahl zunimmt (Reuter et al., 1991).

# 5 Lokalklimatische Untersuchung

Zur Abschätzung der lokalklimatischen Auswirkungen der Planung werden Modellrechnungen mit dem mikroskaligen Modell ENVI-met[1] (Version 3.1 Beta 4) durchgeführt. ENVI-met ist ein dreidimensionales prognostisches numerisches Strömungs-Energiebilanzmodell, das mikroklimatische Prozesse berechnet, wobei unterschiedliche Oberflächen- und Bodentypen sowie Vegetationselemente miteinander kombiniert und deren Wechselwirkungen simuliert werden können.

Das Untersuchungsgebiet wird mit einer Größe von 1150 m × 1000 m festgelegt. Betrachtet werden jeweils der Nullfall ohne die Plangebäude sowie der Planfall nach Realisierung der Planung.

Abbildung 5-1 und Abbildung 5-2 zeigen die Umsetzung des Untersuchungsgebiets für die Simulation mit dem Modell ENVI-met. Dargestellt sind die Gebäude im Gebiet (grau), Rasenflächen (helles Grün), Waldflächen (mittleres Grün) sowie im Planfall Hecken (dunkles Grün).

Die horizontale Auflösung beträgt 5 m. Vertikal beträgt die Auflösung bis in 10m Höhe über Grund 1m. Darüber nehmen die vertikalen Abstände sukzessiv zu. Gerechnet wurde vertikal bis in eine Höhe von ca. 128m.

Es wurden zwei Simulationen gerechnet, um die beiden Hauptwindrichtungen zu betrachten. In der einen Simulation wurden Winde aus Nordostost (70 Grad gegen die Nordrichtung) angesetzt, in der anderen weht der Wind aus Südsüdwest (225 Grad gegen die Nordrichtung). Ansonsten sind die Parameter der Simulationen identisch: gestartet wurde mit einer Windgeschwindigkeit von 1m/s in 10m über Grund und simuliert wurde ein Zeitraum von 66 Stunden im August. Eine Auflistung der Eingangsdaten der Simulation befindet sich im Anhang (siehe Tabelle A1-1 und Tabelle A1-2).

Als Bodenarten werden unversiegelter Boden, Asphalt und Schotter verwendet. Da besonders im Nullfall große Flächen begrünt sind, werden auch Pflanzen berücksichtigt. Dabei handelt es sich hauptsächlich um Rasen und stellenweise um kleine Wälder. Im Planfall kommen zusätzlich am westlichen Rand des Plangebiets Hecken hinzu. Auflistungen der Eingangsdaten der verwendeten Bodenprofile und Pflanzen befinden sich im Anhang (siehe Tabelle Tabelle A1-3 und Tabelle A1-4).

Im Folgenden werden die Größen „Oberflächentemperatur“ und „thermisches Bioklima“ für den Null- und Planfall betrachtet.

Die Ergebnisse werden als flächendeckende Grafiken dargestellt. Außerdem werden an ausgewählten Stellen (im Fachjargon „Aufpunkte“) die Tagesverläufe über drei Tage der Beurteilungsgrößen Oberflächentemperatur und PMV als Zeitreihen dargestellt. Dabei findet eine Gegenüberstellung der Situation an der jeweiligen Stelle im Nullfall und im Planfall statt.

Die Lage der Aufpunkte kann Abbildung 5-3 entnommen werden. In Tabelle 5-1 werden sie kurz beschrieben.

[1] http://www.envi-met.com

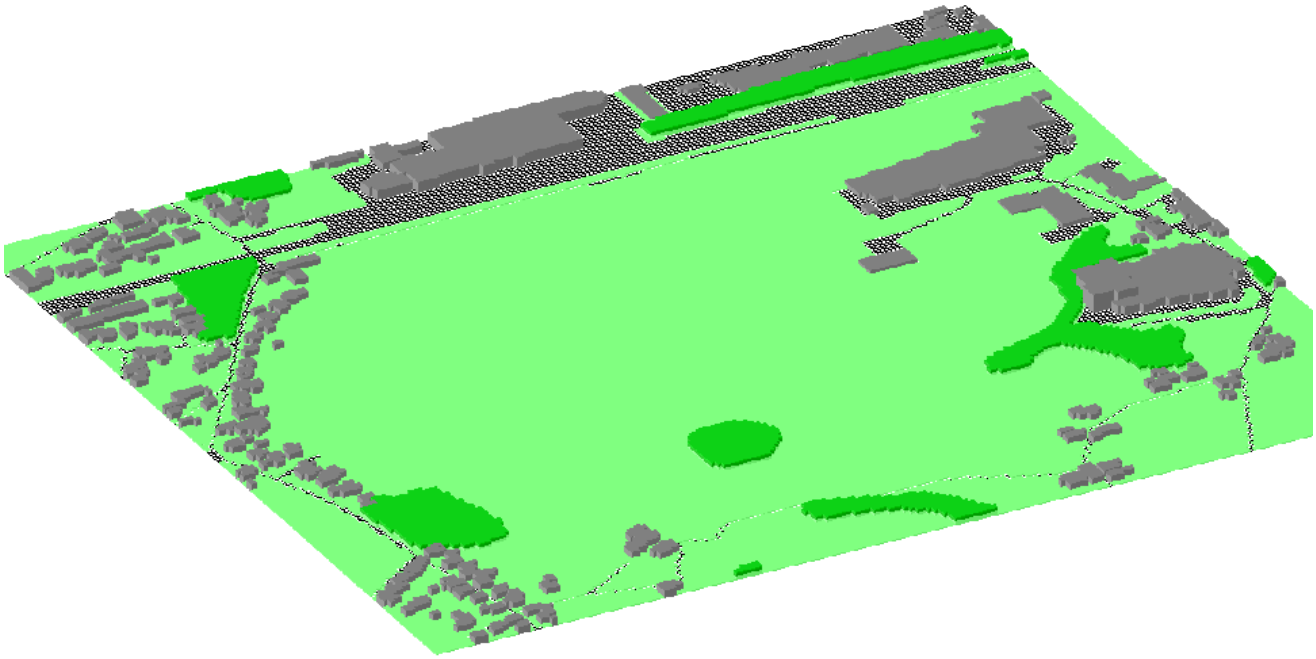


Abbildung 5-1: Perspektivische Ansicht des Modells für den **Nullfall** (Blick aus Südsüdwest).
Graue Zellen – Gebäude, grüne Zellen – Vegetation dargestellt aus Blattflächendichte.

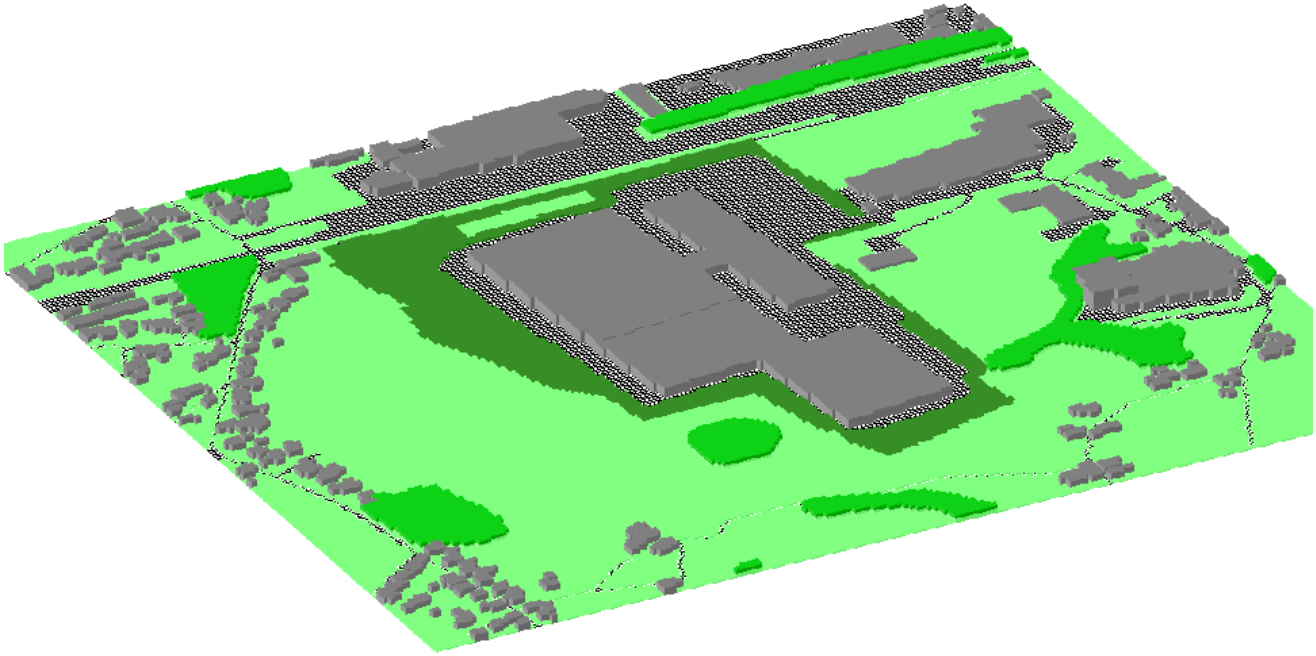


Abbildung 5-2: Perspektivische Ansicht des Modells für den **Planfall** (Blick aus Südsüdwest).
Graue Zellen – Gebäude, grüne Zellen – Vegetation dargestellt aus Blattflächendichte.

Tabelle 5-1: Beschreibung der Aufpunkte.

| Aufpunkt-Nr. | Lage im Untersuchungsgebiet |
|---|---|
| A1 | Industriegebäude „August-Siekmann-Straße 1“ |
| A2 | Wohngebäude „Am Mühlenbach 7“ |
| A3 | Wohngebäude „Am Mühlenbach 33A“ |
| A4 | Wohngebäude „Leinkamp 15“ |
| A5 | Wohngebäude „Leinkamp 12“ |
| A6 | Industriegebäude „Scheidkamp 1“ |
| A7 | Industriegebäude „Scheidkamp 14“ |

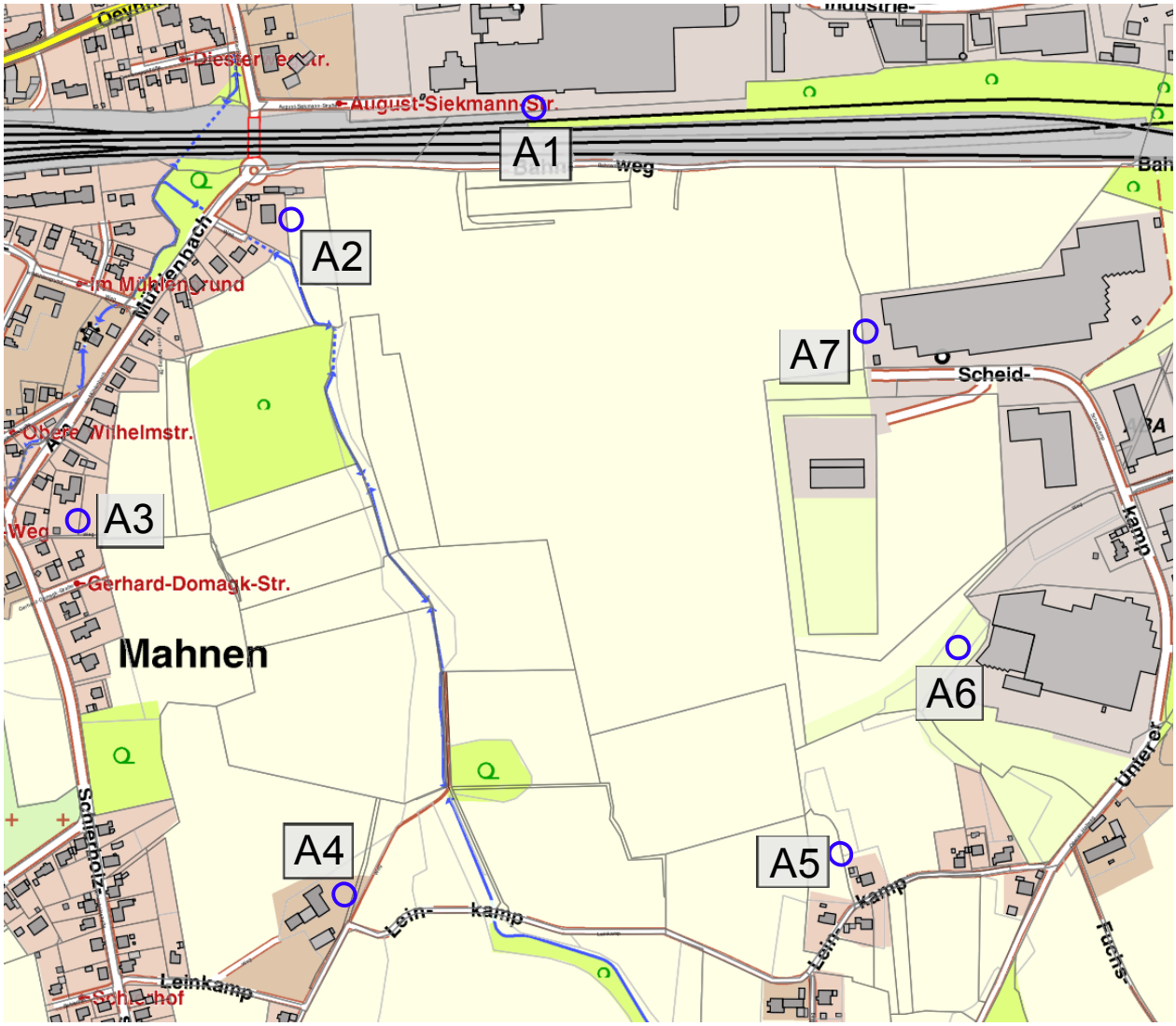



Abbildung 5-3: Lage der Aufpunkte.

## *5.1 Oberflächentemperatur*

### 5.1.1 Allgemeines

Verschiedene Bodenoberflächen erwärmen sich bei windschwachen Wetterlagen sehr unterschiedlich. Dies hängt vom Absorptionsvermögen, der Wärmekapazität, der Wärmeleitfähigkeit und dem Verdunstungsvermögen des Untergrundes ab. Asphalt absorbiert z.B. 80% bis 90% der einfallenden Strahlung, so dass sich diese Oberflächen stark erwärmen. Exemplarisch ist in Abbildung 5-4 der Tagesgang der Oberflächentemperaturen verschiedener Oberflächen dargestellt.

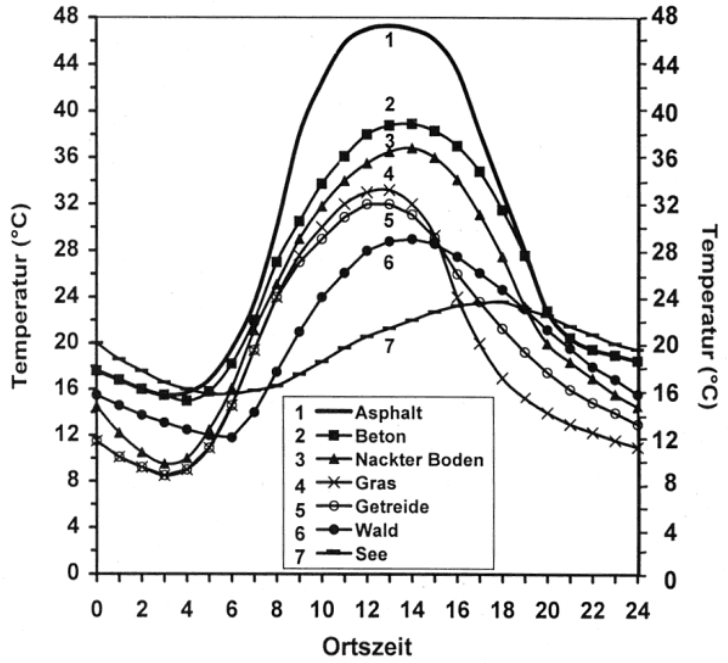



Abbildung 5-4: Temperaturen verschiedener Oberflächen an einem Hochsommertag (nach FEZER 1975).

Quelle: Städtebauliche Klimafibel Baden-Württemberg.

Auch das Rückstreuvermögen von gleichwertigen Oberflächen kann sich unterscheiden, so dass sich unterschiedliche Oberflächentemperaturen einstellen. Dies soll an beispielhaften Messungen dargestellt werden. Am 23.04.2010 wurde zwischen 16.15 Uhr und 17.00 Uhr MESZ[2] eine exemplarische Messung der Oberflächentemperaturen an verschiedenen Bodenbelägen auf dem Parkplatz des Technischen Rathauses in Freiburg mit einem Infrarot-Thermometer (PCE-888, K-Wert von 0,95) durchgeführt. Die Messung sollte nur dazu dienen, Tendenzen zwischen den einzelnen Bodenbelägen zu veranschaulichen. In Tabelle 5-2 sind die Messwerte und die gemessenen Oberflächen dargestellt.

Der Messtag kann als typischer Strahlungstag charakterisiert werden. Die Lufttemperatur lag im Messzeitraum bei ca. 20°C.

[2] mitteleuropäische Sommerzeit

Tabelle 5-2: Gemessene Bodentemperaturen am 23.04.2010 in Freiburg, Parkplatz Technisches Rathaus.

| Belag | Gemessene Oberflächentemperatur | Foto |
|---|---|---|
| gelblicher Granit | 29,6°C | |
| hellgrauer Granit | 30,8°C | |
| rötlicher Granit | 28,1°C | |
| Rheinkiesel | 29,6°C | |
| anthrazitfarbener Granit | 28,4°C | |
| Rasen | 21,0°C | |
| Asphalt | 31,7°C | |

### 5.1.2 Simulationsergebnisse

Im Anhang zeigen Abbildung A1-0-1 und Abbildung A1-0-2 die flächendeckenden Ergebnisse der Modellrechnungen für die Oberflächentemperatur mit ENVI-met, jeweils die Fälle der Hauptwindrichtungen „Nordostost“ bzw. „Südsüdwest“. Dargestellt sind die Bodentemperaturen in °C an einem wolkenlosen und windschwachen Augusttag am Nachmittag (16.00 Uhr MESZ). Auf der linken Seite ist jeweils der Nullfall, auf der rechten Seite der Planfall dargestellt.

**Nullfall**

Über Tag heizen sich vor allem die asphaltierten Bereiche stark auf. Hier werden Oberflächentemperaturen von bis zu 43°C berechnet. Auf den unversiegelten Flächen, wie zum Beispiel die im Nullfall unbebaute Wiese in der Mitte der Abbildungen, werden Temperaturen von etwa 26°C berechnet.

Hinsichtlich der beiden Hauptwindrichtungen unterscheiden sich die Temperaturen nur unwesentlich. Die deutlichsten Unterschiede sind etwa in der Nähe von Aufpunkt A6 (vgl. Abbildung 5-3).

**Planfall**

Im Planfall heizen sich die versiegelten und der Sonne ausgesetzten Flächen rund um das Plangebäude besonders auf. Auf der Westseite des Plangebäudes werden Oberflächentemperaturen von etwa 43°C berechnet. Auch im Planfall sind die Unterschiede der Berechnungen für die beiden Hauptwindrichtungen „Nordostost“ und „Südsüdwest“ minimal. Im Fall von Nordostost-Wind etwa heizen sich die westlich des Plangebäudes liegenden versiegelten Flächen aufgrund der windabschirmenden Wirkung des Plangebäudes etwas stärker auf als bei Wind aus Südsüdwest. Der Temperaturunterschied zwischen den beiden Windrichtungen liegt jedoch lediglich bei etwa 1°C.

Die im Planfall nördlich, westlich und südlich an die Plangebäude angrenzende Begrünung sorgt für eine deutliche geringere Erwärmung der bepflanzten Oberfläche. Hier werden Oberflächentemperaturen von ca. 22°C berechnet.

Um die Auswirkungen der Plangebäude auf die Oberflächentemperatur im zeitlichen Verlauf darzustellen wurden für die beiden Hauptwindrichtungen jeweils zwei repräsentative Aufpunkte gewählt:

**Hauptwindrichtung „Nordostost“**

Bei Wind aus Nordnordosten sind durch die Plangebäude verursachte Änderungen der Oberflächentemperatur nur südwestlich der Plangebäude zu erwarten. Deswegen werden die folgenden beiden Aufpunkte betrachtet:

- A3, Wohngebäude „Am Mühlenbach 33A“ (siehe Abbildung 5-5).
- A4, Wohngebäude „Leinkamp 15“ (siehe Abbildung 5-6).

An beiden Aufpunkten sind die berechneten Temperaturen für den Null- und Planfall weitestgehend identisch. Die kurzzeitigen Einbrüche auf den Graphen jeweils nachmittags um etwa 16 Uhr sind auf Verschattungseffekte zurückzuführen. Zu dieser Zeit liegen die Aufpunkte im Kernschatten der direkt umliegenden Gebäude, weshalb sich die Oberflächentemperatur kurzfristig deutlich senkt. Sobald die Aufpunkte den Kernschatten verlassen steigen die Oberflächentemperaturen wieder an.

**Hauptwindrichtung „Südsüdwest“**

Weht der Wind aus Südsüdwest, so sind Auswirkungen der Plangebäude auf die Oberflächentemperaturen nur nordwestlich der Plangebäude zu erwarten. Es werden deshalb die folgenden beiden Aufpunkte betrachtet:

- A1, Industriegebäude „August-Siekmann-Straße 1“ (siehe Abbildung 5-7).
- A7, Industriegebäude „Scheidkamp 14“ (siehe Abbildung 5-8).

Am Aufpunkt A1 sind die berechneten Oberflächentemperaturen wieder nahezu identisch. Deutliche Unterschiede gibt es jedoch an Aufpunkt A7. Tagsüber heizen sich die am Aufpunkt liegenden versiegelten Flächen deutlich mehr auf. Der Temperaturunterschied beträgt bis zu 2°C. Dies ist auf die deutliche Zunahme des Anteils an versiegelten Flächen in der Umgebung des Aufpunktes sowie auf die windabschirmende Wirkung der Plangebäude zurückzuführen.

Am späten Nachmittag und gegen Abend werfen die Plangebäude Schatten auf den Aufpunkt A7. Gegenüber dem Nullfall kühlen die um den Aufpunkt gelegenen versiegelten Flächen daher in den Abendstunden deutlich schneller ab.

Da die Oberflächentemperaturen stark von den physikalischen Eigenschaften der Oberfläche (Rückstrahlvermögen, Wärmeleitung, Wärmespeicherung, Verdunstungsmöglichkeit ,…) abhängen, ergeben sich bei identischen meteorologischen Bedingungen erwartungsgemäß bei unterschiedlichen Anströmrichtungen kaum Unterschiede.

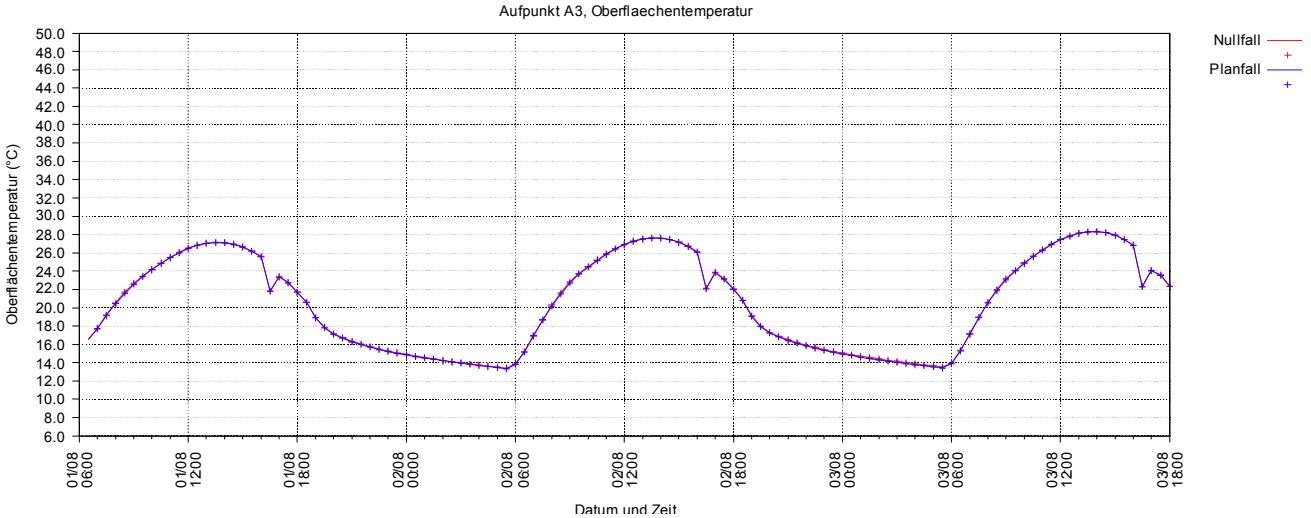



Abbildung 5-5: Simulierte Zeitreihe der Oberflächentemperatur am Aufpunkt A3 (Am Mühlenbach 33A) im Fall der Windanströmung von Nordost (70 Grad).

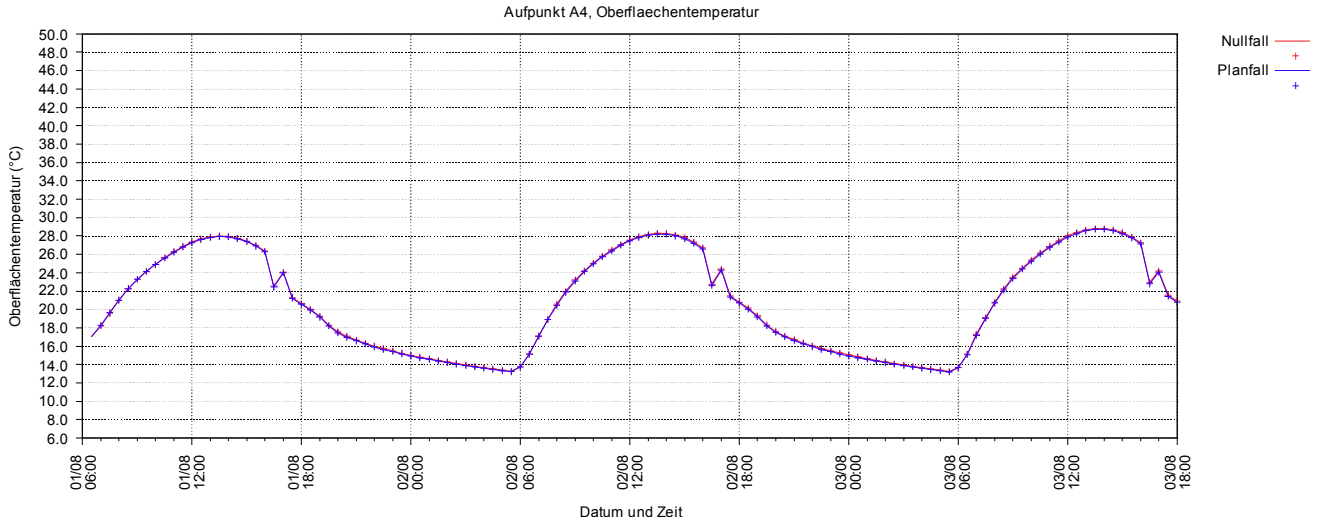



Abbildung 5-6: Simulierte Zeitreihe der Oberflächentemperatur am Aufpunkt A4 (Leinkamp 15) im Fall der Windanströmung von Nordost (70 Grad).

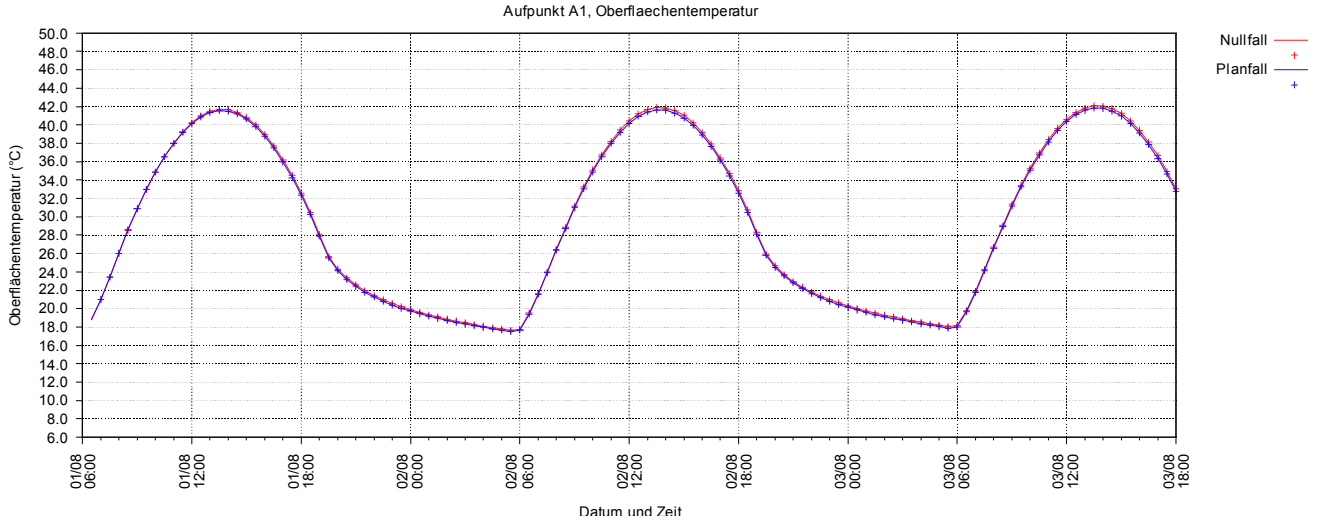



Abbildung 5-7: Simulierte Zeitreihe der Oberflächentemperatur am Aufpunkt A1 (Industriegebäude „August-Siekmann-Straße 1“) im Fall der Windanströmung von Südsüdwest (225 Grad).

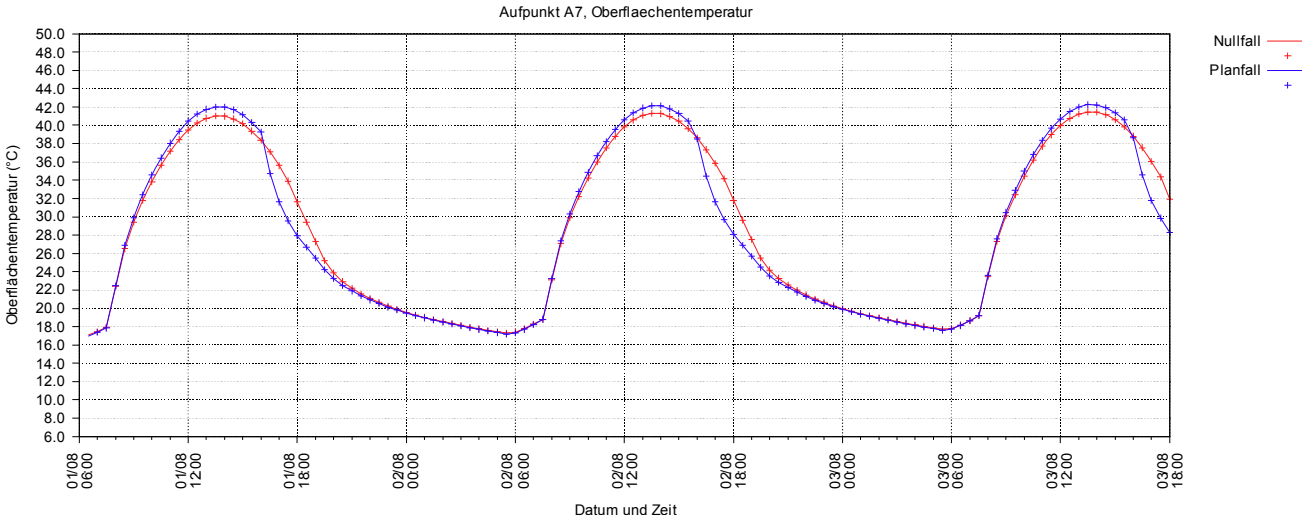
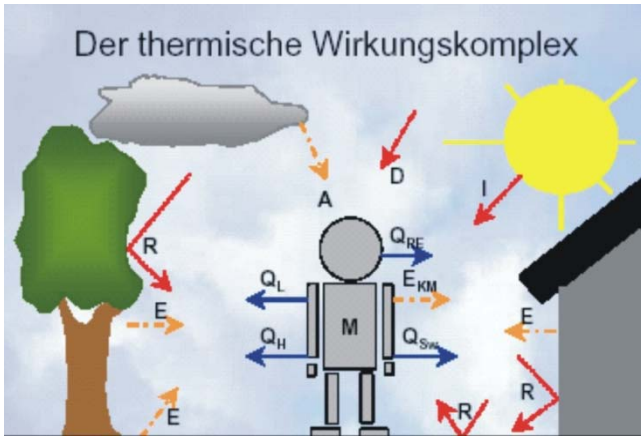



Abbildung 5-8: Simulierte Zeitreihe der Oberflächentemperatur am Aufpunkt A7 (Industriegebäude „Scheidkamp 14“) im Fall der Windanströmung von Südsüdwest (225 Grad).

## *5.2 Thermisches Bioklima*

### 5.2.1 Allgemeines

Das physiologische Wärmeempfinden des Menschen wird nicht nur von der Lufttemperatur, sondern von den Einstrahlungsbedingungen (tages- und jahreszeitenabhängige Sonneneinstrahlung, Schattenwurf, langwellige Wärmestrahlung der Gebäude), der Windgeschwindigkeit, der Luft-feuchte, der Bekleidung und der Tätigkeit beeinflusst. In Abbildung 5-9 sind die Energieflüsse skizziert.




| | |
|---|---|
| M | metabolische Rate(Energieumsatz) |
| $Q_H$ | turbulenter Fluss fühlbarer Wärme |
| $Q_{SW}$ | turbulenter Fluss latenter Wärme |
| $Q_L$ | Fluss latenter Wärme durch Wasserdampfdiffusion |
| $Q_{RE}$ | Wärmefluss durch Atmung |
| I | direkte Sonnenstrahlung |
| D | diffuse Sonnenstrahlung |
| R | reflektierte Sonnenstrahlung |

Abbildung 5-9: Der Wärmeaustausch des Menschen mit seiner Umgebung (nach VDI 3787 Blatt 2).

Zur Beschreibung der thermischen Behaglichkeit kann der PMV-Wert (**P**redicted **M**ean **V**ote) herangezogen werden. Neben meteorologischen Faktoren hängt der PMV-Wert noch von den personenbezogenen Größen „Bekleidung“ (steuert den Wärmedurchgangswiderstand der Bekleidung) und „Aktivität“ (steuert die metabolische Rate M und den Energieumsatz infolge mechanischer Leistung) ab. Für die im Anhang dargestellten Ergebnisse wurde von einer Fortbewegungsgeschwindigkeit

von 0,3 m/s („Bummeln“) und im August von einem Wärmedurchgangswiderstand von 0,5 $Km^2/W$ (leichte Sommerkleidung) ausgegangen. Für andere personenbezogene Größen und Fortbewegungsgeschwindigkeiten wie z.B. schnelles Laufen oder längeres Sitzen, ergeben sich andere PMV-Werte.

Im Unterschied zur Betrachtung der Oberflächentemperaturen spielt bei den Strahlungsströmen die direkte Sonnenstrahlung eine wesentliche Rolle für das thermische Befinden. Folglich haben auch hier die Unterschiede zwischen besonnten und verschatteten Bereichen sehr viel größeren Einfluss als das unterschiedliche Wärmeverhalten der verschiedenen Oberflächen. Analoge Ergebnisse zeigen auch die Erhebungen im Rahmen des Forschungsprojektes KLIMES, bei dem zahlreiche Messungen in Freiburg durchgeführt wurden (Mayer et al., 2009).

Neben der direkten Strahlung gehen die diffuse Himmelsstrahlung und nicht zuletzt die an Oberflächen reflektierten Strahlungen in den PMV-Wert ein. Materialien mit einer hohen kurzwelligen Albedo reflektieren einen höheren Anteil an kurzwelliger Strahlung als Materialien mit einer niedrigen kurzwelligen Albedo (wie z.B. Asphalt). Die angesetzten Werte für die kurzwellige Albedo der unterschiedlichen Bodenbeläge können dem Anhang entnommen werden.

Besonders interessant ist die Auswirkung der Planung auf das thermische Bioklima in Hitzeperioden während des Sommers.

Abbildung A1-0-3 und Abbildung A1-0-4 im Anhang enthalten eine flächendeckende Darstellung des PMV-Werts an einem Augustnachmittag für die beiden Hauptwindrichtungen, jeweils für den Nullfall und den Planfall. Ein PMV-Wert von 0 wird dabei als behaglich empfunden. Ein Wert von 1 bzw. -1 entspricht leicht warmen bzw. leicht kühlen Bedingungen. Werte von 3,5 und größer bzw. -3,5 und kleiner signalisieren das thermische Empfinden „sehr heiß“ bzw. „sehr kalt“ (vgl. Abbildung 5-10).

| PMV | Thermisches Empfinden | Belastungs-stufe | Biologische Wirkung |
|---|---|---|---|
| -3,5 | sehr kalt | Extrem | Kältestress |
| -2,5 | kalt | Stark | |
| -1,5 | kühl | Mäßig | |
| -0,5 | leicht kühl | Schwach | |
| 0,0 | behaglich | Keine | keine |
| 0,5 | leicht warm | Schwach | |
| 1,5 | warm | Mäßig | |
| 2,5 | heiß | Stark | |
| 3,5 | sehr heiß | Extrem | Wärmebelastung |

Abbildung 5-10: Predicted Mean Vote (PMV), thermisches Empfinden und Belastungsstufen.
Quelle: Städtebauliche Klimafibel Online Baden Württemberg.

Beim Vergleich der beiden bioklimatischen Belastungsfaktoren Kältestress und Wärmebelastung ist zu beachten, dass eine Anpassung an extreme Kälte durch geeignete Kleidung und Verhaltensanpassung besser möglich ist als eine Anpassung an Wärmebelastung. Deswegen liegt bei dieser Untersuchung der Fokus auch auf Situationen, in denen Wärmebelastung auftreten kann.

### 5.2.2 Simulationsergebnisse

Anders als bei der Oberflächentemperatur sind PMV-Werte schwerer nachzuvollziehen, da zahlreiche kurz- und langwellige Strahlungsströme und lokal stark variierende Größen wie die Windgeschwindigkeit und Turbulenz einfließen.

**Nullfall**

Thermisch behagliche Bereiche findet man im Nullfall für beide Hauptwindrichtungen hauptsächlich in den baumbestandenen Flächen. Auf in der Sonne liegenden Freiflächen liegt eine mäßige (PMV-Werte um 1,5 bis 2 auf den Wiesenflächen) bis starke (PMV-Werte um 2,5 auf den asphaltierten Flächen) Wärmebelastung vor.

**Planfall**

Im Planfall entstehen besonders durch die versiegelten Flächen in direkter Nähe zu den Plangebäuden Bereiche mit erhöhter Wärmebelastung. Dahingegen sorgt die direkt am Rand des Plangebiets liegende Begrünung für eine Reduktion der Wärmebelastung.

Um die Auswirkungen der Plangebäude auf die Umgebung im zeitlichen Verlauf darzustellen wurden für die beiden Hauptwindrichtungen jeweils dieselben repräsentativen Aufpunkte wie in Abschnitt 5.1.2 untersucht.

**Hauptwindrichtung „Nordostost“**

In Abbildung 5-11 und Abbildung 5-12 sind die Zeitreihen der PMV-Werte für die leeseitig gelegenen Aufpunkte A3 und A4 dargestellt. Die Verläufe sind auch hier weitestgehend identisch. Dies ist auf den relativ großen Abstand zu den Plangebäuden zurückzuführen. Analog zur Oberflächentemperatur sind die kurzfristigen Einbrüche im PMV-Wert am Nachmittag mit Verschattungseffekten zu erklären (vergleich Abschnitt 5.1.2). Der Effekt für das gefühlte Bioklima der Plangebäude sind für diese Aufpunkte also vernachlässigbar.

**Hauptwindrichtung „Südsüdwest“**

In Abbildung 5-13 und Abbildung 5-14 sind die Zeitreihen der PMV-Werte für die bei dieser Windrichtung leeseitig gelegenen Aufpunkte A1 und A7 dargestellt. Der Verlauf am Aufpunkt A1 ist wieder weitgehend identisch für den Null- und Planfall.

Am Aufpunkt A7 ergeben sich ähnliche Effekte wie im Fall der Oberflächentemperatur: tagsüber steigt der Hitzestress im Planfall stärker an, da sich unter anderem in der Umgebung deutlich mehr versiegelte Flächen befinden und heiße Luft wegen der leicht veränderten Strömungssituation nicht mehr so gut abfließen kann. In den Abendstunden wird dieser Aufpunkt jedoch von den Plangebäuden verschattet, sodass in dieser Zeit der Hitzestress im Planfall im Vergleich zum Nullfall schneller absinkt.

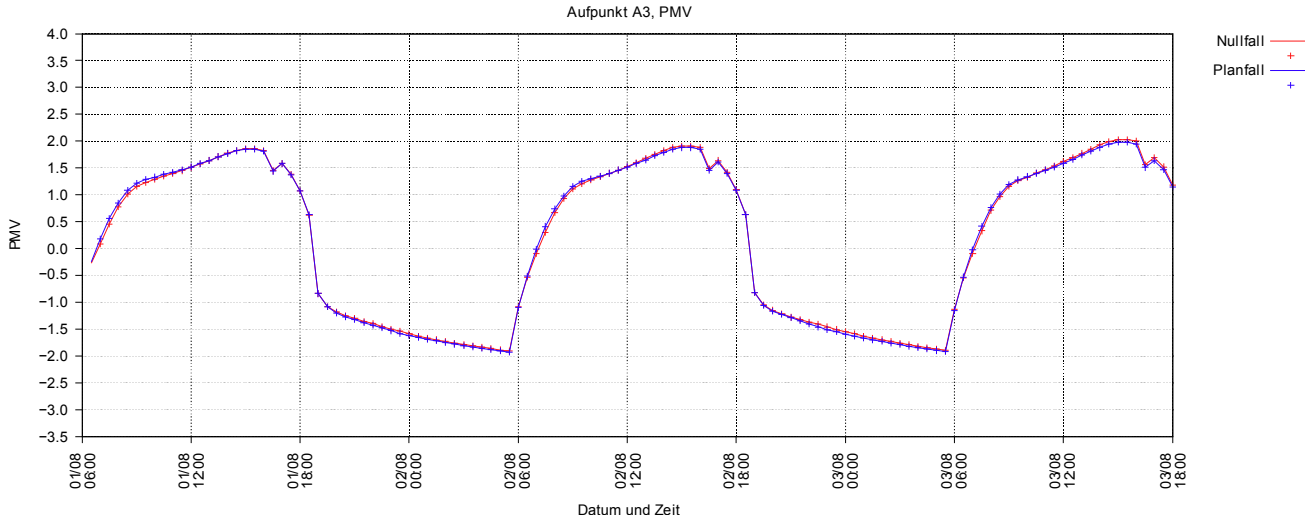



Abbildung 5-11: Simulierte Zeitreihe der PMV-Werte am Aufpunkt A3 (Am Mühlenbach 33A) im Fall der Windanströmung von Nordost (70 Grad).

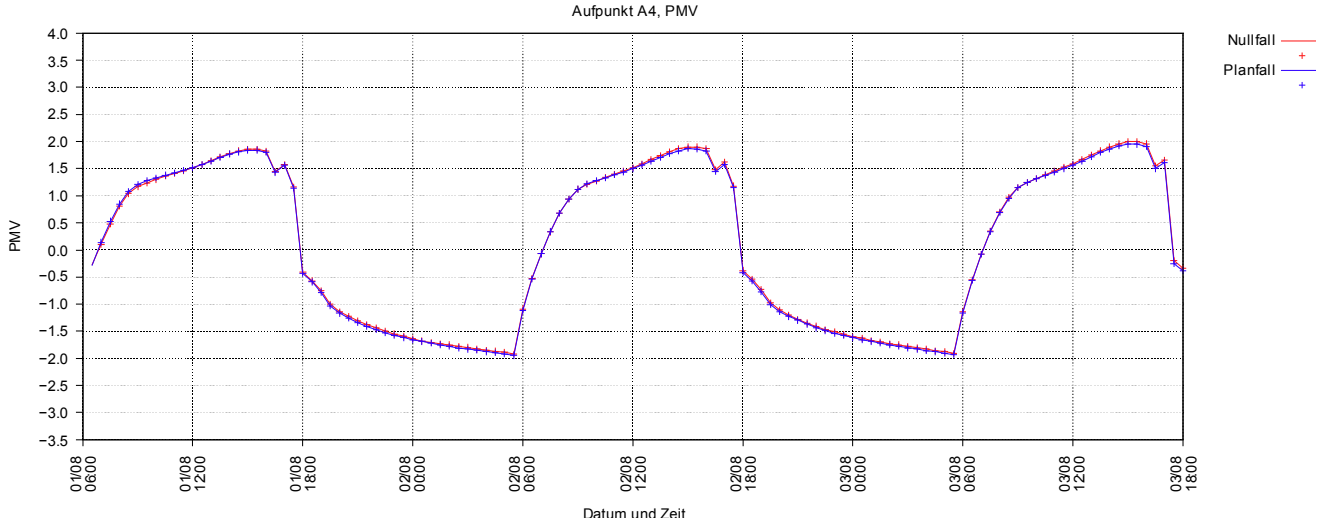



Abbildung 5-12: Simulierte Zeitreihe der PMV-Werte am Aufpunkt A4 (Leinkamp 15) im Fall der Windanströmung von Nordost (70 Grad).

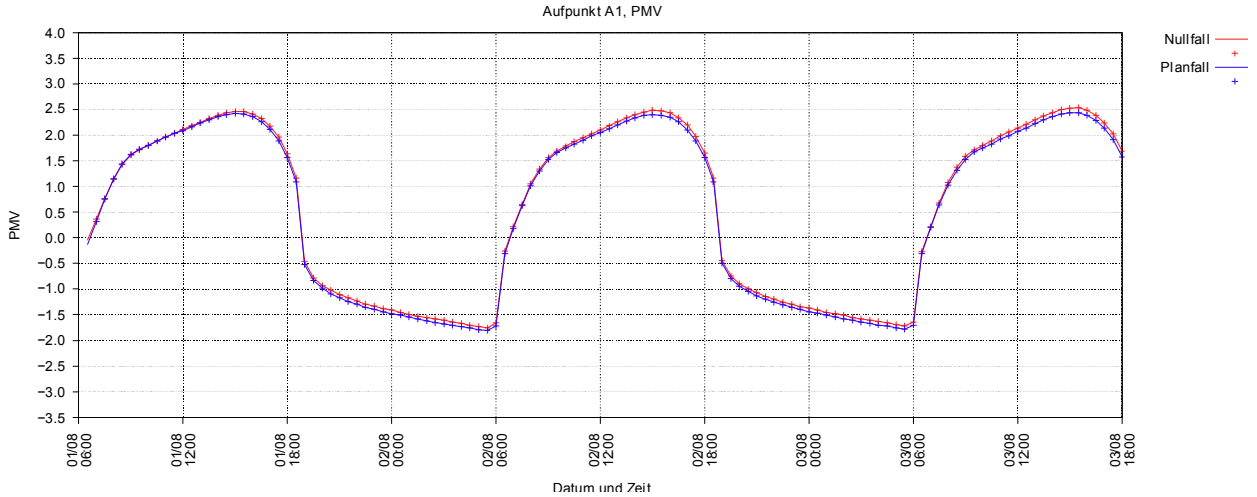



Abbildung 5-13: Simulierte Zeitreihe der PMV-Werte am Aufpunkt A1 (Industriegebäude „August-Siekmann-Straße 1“) im Fall der Windanströmung von Südsüdwest (225 Grad).

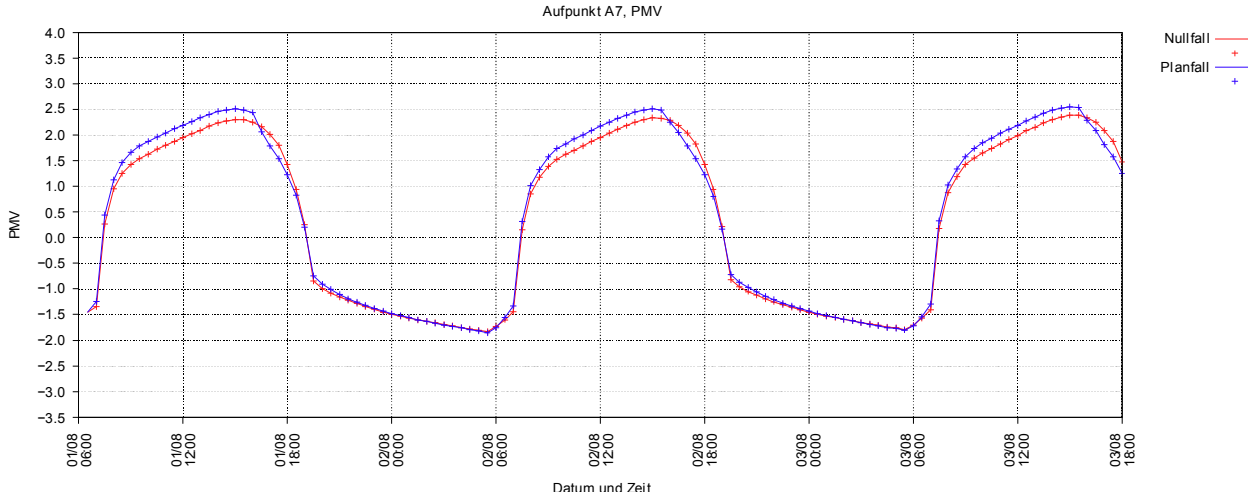



Abbildung 5-14: Simulierte Zeitreihe der PMV-Werte am Aufpunkt A7 (Industriegebäude „Scheidkamp 14“) im Fall der Windanströmung von Südsüdwest (225 Grad).

.

# 6 Untersuchung zur Durchlüftung und zum Windkomfort

Zur Quantifizierung der lokalen Strömungsverhältnisse wurden Modellsimulationen durchgeführt. Zum Einsatz kam das mikroskalige 3-dimensionale Strömungsmodell ABC, das die Anforderungen der VDI-Richtlinie 3783 Blatt 10 „Diagnostische mikroskalige Windfeldmodelle – Gebäude- und Hindernisumströmung“ erfüllt.

Das Simulationsgebiet weist eine Größe von 1150 m · 1000 m auf. In der Vertikalen wird bis zu einer Höhe von 90 m über Grund gerechnet. Um eine hinreichende Detailtreue zu gewährleisten, erfolgen die Berechnungen für Rasterflächen mit einer Maschenweite von 3 m. Vertikal werden die Schichtdicken nach oben hin größer. Bodennah wurde vertikal mit einer Maschenweite von 3 m gerechnet.

Hindernisse wie Gebäude führen zu einer Verwirbelung der Strömung. Diese wird dadurch böiger, nimmt aber an Intensität ab. Hindernisarme Bereiche können bei windschwachen Wetterlagen mit geringem Luftaustausch für eine bodennahe Belüftung sorgen, indem sie thermisch oder lufthygienisch belastete Luft austauschen.

Neben den windabgeschatteten Bereichen im Lee von Bauwerken gibt es an den Kanten, abhängig von der Anströmung, Bereiche mit erhöhten Windgeschwindigkeiten. Je höher Gebäude aus der Umgebungsbebauung herausragen und je größer deren Fläche quer zum Wind ist, desto höhere Windgeschwindigkeiten können bodennah auftreten.

Im Wesentlichen gibt es zwei Effekte, die zu erhöhten Windgeschwindigkeiten führen:

- Das Herabführen von Luft auf der windzugewandten Seite der Gebäude. Da in größerer Höhe höhere Windgeschwindigkeiten vorherrschen, wird ein Teil der Strömung bis zum Boden gelenkt und muss dort das Gebäude umströmen.
- Verdrängungseffekte führen dazu, dass an den Ecken exponierter Gebäude (Eckeneffekte) oder in Lücken zwischen hohen Gebäuden (Düseneffekte) Starkwindzonen auftreten können.

Je nach Anordnung und Anströmwinkel überlagern sich diese beiden Effekte.

Abhängig von der Tätigkeit, z.B. Stehen oder Sitzen in Aufenthaltszonen, werden höhere Windgeschwindigkeiten als unangenehm empfunden. Die Planung von Aufenthaltsbereichen (Haltestellen, Straßencafés, Spielplätze, usw.) in Zonen, in denen mit vermehrter Zugigkeit zu rechnen ist, sollte vermieden werden. Wo dies nicht möglich ist, sind Windschutzmaßnahmen nötig.

In Abbildung A2-0-1 bis Abbildung A2-0-3 sind die Änderungen der bodennahen Strömungsgeschwindigkeit gegenüber dem Ist-Zustand im Untersuchungsgebiet für die beiden Hauptwindrichtungen (nordostöstlicher Wind und südsüdwestlicher Wind) sowie im Jahresmittel dargestellt. Weiße Zonen kennzeichnen Bereiche, in denen keine Änderungen auftreten. In den blauen bis grünen Bereichen sind geringere Windgeschwindigkeiten zu erwarten als im Ist-Zustand. Gelbe Zonen markieren Bereiche mit erhöhter Windgeschwindigkeit.

### 6.1 Hauptwindrichtung Nordostost

Abbildung A2-0-1 im Anhang zeigt die Änderungen der Strömungsgeschwindigkeit zwischen Ist-Zustand und Planfall bei einer Anströmung aus Nordostost.

Durch die abschirmende Wirkung der Plangebäude sind die Windgeschwindigkeiten an einigen Wohngebäuden des östlichen Rand des Siedlungsgebiets von Löhne-Ort etwas geringer. Lokal gibt es jedoch auch Zonen mit erhöhter Windgeschwindigkeit. Dies liegen am nordwestlichen und südöstlichen Rand der Plangebäude und sind auf Verdrängungseffekte zurückzuführen.

### 6.2 Hauptwindrichtung Südsüdwest

In Abbildung A2-0-2 im Anhang ist die Abweichung der Strömungsgeschwindigkeit bei der Anströmung aus Südsüdwest dargestellt. Bei dieser Hauptwindrichtung ist auch mit den höchsten Windgeschwindigkeiten (z.B. bei stürmischen Wetterlagen) zu rechnen.

In diesem Fall wird die bodennahe Windgeschwindigkeit durch die abschirmende Wirkung der Plangebäude für die nördlich der Bahnlinie liegenden Industriegebäude reduziert.

### 6.3 Veränderungen im Jahresmittel

Abbildung A2-0-3 im Anhang stellt die durch die Plangebäude verursachten Veränderungen der Strömungsgeschwindigkeiten im Jahresmittel dar. Dazu werden die Reduktionen bei einzelnen Windrichtungen mit der Häufigkeit des Auftretens dieser Richtung gewichtet.

Im gesamten Nahbereich der Plangebäude (d.h. in einem Abstand von maximal 100 m) wird die durchschnittliche Windgeschwindigkeit teilweise deutlich (um bis zu 50% bis 75%) reduziert.

Die Effekte reichen jedoch nicht bis zu den westlich des Plangebiets liegenden Wohngebieten. Die einzigen Wohnhäuser, die in der Zone reduzierter Windgeschwindigkeit liegen, befinden sich südsüdöstlich des Plangebiets. Hier wird die durchschnittliche Windgeschwindigkeit allerdings nur um ca. 5% reduziert, was kaum spürbar sein dürfte.

Eine reduzierte Durchlüftung ist dann ungünstig, wenn in diesen Bereichen starke thermische oder lufthygienische Belastungen vorliegen. Diese Belastungen werden dann langsamer abgebaut.

Die westlich liegende Wohnbebauung in Richtung Schierholzstraße und Am Mühlenbach ist sowohl thermisch wie lufthygienisch wenig belastet, da es stark durchgrünt und in offener Bauweise (keine Riegelbebauungen) angelegt ist. Zudem ist nur mit geringen Emissionen durch die Erschließungsstraße (Am Mühlenbach, Scherholzstraße) zu rechnen.

Das nördlich angrenzende Gewerbegebiet ist thermisch und lufthygienisch stärker belastet. Da keine Hauptverkehrsstraßen betroffen sind, ist nicht davon auszugehen, dass Grenzwerte der 39. BImSchV erreicht oder überschritten werden. Hinsichtlich thermischer Belastung sind Gewerbegebiete weniger empfindlich als reine Wohngebiete.

# 7 Kaltluft

Im Rahmen des Gutachtens wurden thermische Windsysteme (Kaltluftabflüsse), die sich bei schwachwindigen wolkenarmen Verhältnissen in den Abend- und Nachtstunden ausbilden, modelliert. Diese Windsysteme führen bei austauscharmen Verhältnissen zu einer Reduktion thermischer wie lufthygienischer Belastungen und sind deshalb erwünscht. Die Relevanz dieser Strömungen ergibt sich aus deren Intensität und deren Häufigkeit des Auftretens. Die Intensitäten der Strömung werden mit dem prognostischen Kaltluftabflussmodell DFM berechnet.

## *7.1 Eingesetztes Modell*

Das Modell DFM (Röckle, R., Richter, C.-J., 1998) beruht auf Gleichungen, die von Garrett und Smith (1984)[3] hergeleitet wurden. Es beschreibt ein vertikal integriertes Kaltluftabflussmodell.

In einem geländefolgenden Koordinatensystem werden die Erhaltungsgleichungen für Impuls und Masse numerisch gelöst. Die Gleichungen enthalten Terme für Advektion, Schwerebeschleunigung, Reibung an der Erdoberfläche, Einmischen von Luft (Entrainment) am oberen Rand der Kaltluft, mesoskalige und großräumige Druckgradienten, Antrieb durch übergeordnete Strömungen, Coriolis-Effekte und horizontale Diffusion.

Eingangsgrößen sind das digitale Höhenmodell und landnutzungsabhängige Größen wie die Geländerauigkeit, der potentielle Temperaturgradient der Kaltluft (Maß für die Kaltluftproduktivität) und ein Höhenzuschlag zur Orographie.

Ausgabegrößen sind die vertikal gemittelten Horizontalkomponenten und die Höhe der fließenden Kaltluft. Daraus lassen sich der lokale Volumenstrom (Produkt aus Kaltlufthöhe und Horizontalgeschwindigkeit) und unter Annahme eines typischen Kaltluftströmungsprofils auch Geschwindigkeiten in vorgegebenen Höhen ableiten.

## *7.2 Das Simulationsgebiet*

Das Rechengebiet von DFM wurde so groß gewählt, dass das gesamte Kaltlufteinzugsgebiet des Beurteilungsgebiets enthalten ist. Es erstreckt sich über 33 km in West-Ost- und 30 km in Süd-Nord-Richtung. Abbildung 7-1 zeigt eine perspektivische Ansicht des Simulationsgebiets aus Südost. Das Plangebiet liegt an einem in das Werretal nach Norden hin sanft abfallenden Hang. Das Werretal selbst verläuft weitgehend von West nach Ost und weist nur ein geringes Gefälle auf.

Die horizontale Auflösung (Maschenweite) der Simulation beträgt 25 m. Das Geländemodell beruht auf GLOBDEM-Daten aus der SRTM-Satellitenbefliegung.

Die Landnutzung im Simulationsgebiet wurde auf der Basis von Corine-Daten (2006) angesetzt. Im näheren Umfeld des Plangebiets wurde die Nutzung auf der Basis aktueller topografischer Karten digitalisiert, da hier die Corine-Daten der Auflösung von 25 m nicht mehr gerecht werden.

---

[3] **Garrett, A.J., Smith, F.G.:** Two-Dimensional Simulations of Drainage Winds and Diffusion Compared to Observations. Journal of Climate and Applied Meteorology, Vol.23, 1984.

Die Kaltluftbildung wird zum Zeitpunkt Null (entspricht etwa der Zeit des Sonnenuntergangs) gestartet und dann die ganze Nacht fortgesetzt, so dass die Verhältnisse zu unterschiedlichen Zeiten dargestellt werden können.

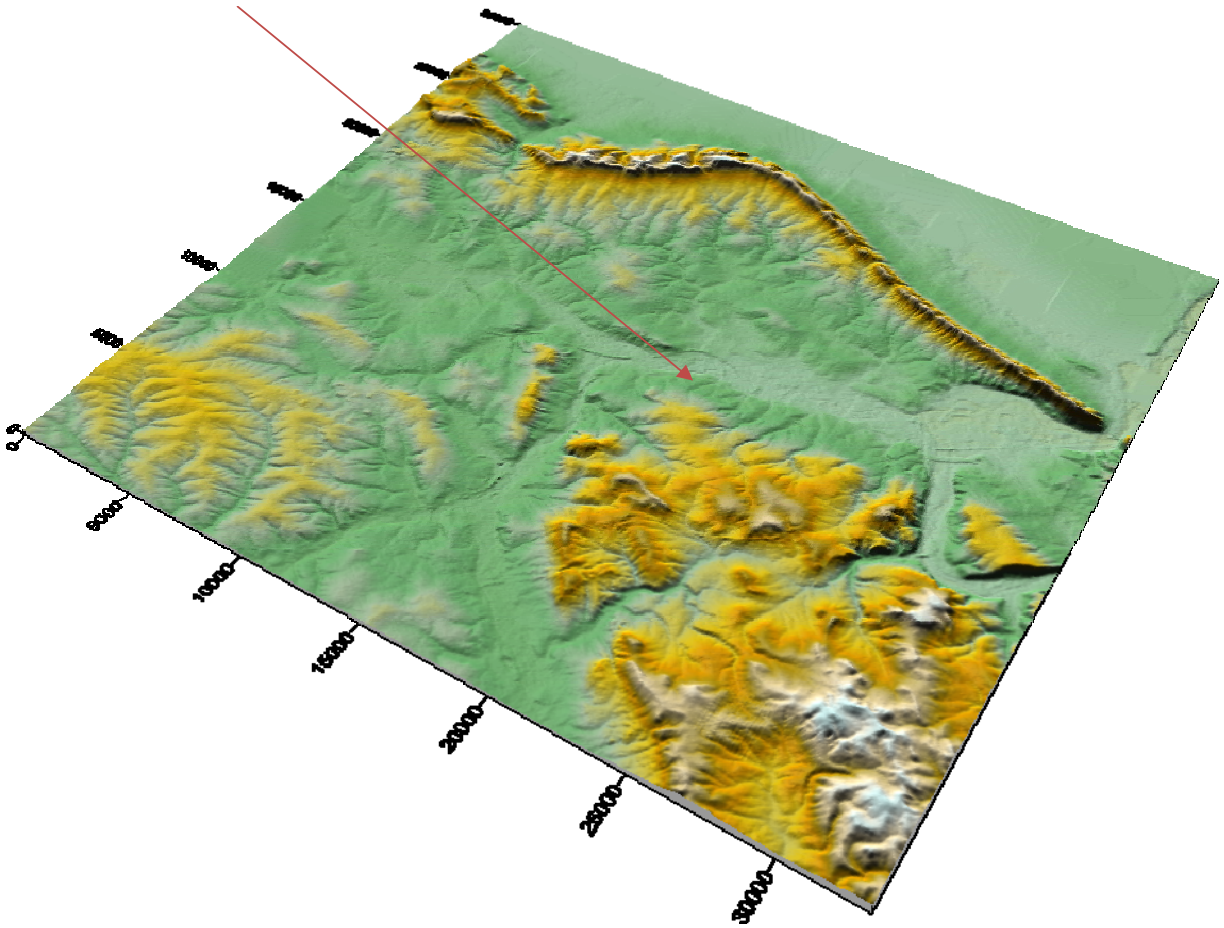



Abbildung 7-1: Perspektivische Ansicht des Simulationsgebiets aus Südost

## *7.3 Ergebnisse der Kaltluftabflussberechnungen*

Im Anhang 3 ist die zeitliche Entwicklung der Kaltluftabflüsse dargestellt. Die jeweils linke Abbildung zeigt die Verhältnisse im Ist-Zustand, die rechte jeweils die Verhältnisse im Planfall. Zur besseren Orientierung ist die topografische Karte unterlegt. Im Planfall sind die geplanten gebäudeumrisse und die verseigelten Flächen eingefügt.

In den Abbildungen A3–1 bis A3–3 ist die Mächtigkeit der fließenden Kaltluft dargestellt.

Die Intensität der Kaltluftströmung ist in Abbildung A3–4 bis A3–6 in Form einer Volumenstromdichte[4] dargestellt. Die Volumenstromdichte ist der Volumenstrom, der durch eine Fläche von 1 m Breite und der jeweiligen Kaltlufthöhe fließt. Je größer die Intensität der Strömung ist, desto größer ist auch deren lokalklimatische Bedeutung.

---

[4] *Volumenstromdichte – gebildet aus dem Produkt aus vertikal gemittelter Fließgeschwindigkeit und Kaltlufthöhe.*

Etwa zur Zeit des Sonnenuntergangs setzt die Kaltluftproduktion ein. Diese ist über vegetationsbestanden Flächen größer als über bebauten und versiegelten Bereichen. In geneigtem Gelände setzt sich die Kaltluft in Bewegung, so dass sich zunächst Hangabwinde entwickeln. Die abfließende Kaltluft sammelt sich bereits in Geländeeinschnitten oder staut sich vor ausgedehnteren Hindernissen und führt dort zu größeren Kaltluftmächtigkeiten als an den Hängen. In den Siedlungsbereichen hat sich noch keine Kaltluft gebildet.

In Abbildung A3–1 ist die Mächtigkeit (Kaltlufthöhe über den Oberflächen) der fließenden Kaltluft kurze Zeit nach Sonnenuntergang dargestellt. Die Kaltlufthöhen sind noch sehr gering. Im Nullfall (linke Abbildung) erkennt man einen Kaltluftstau vor dem Gewerbegebiet nördlich der Bahnlinie und kleienre Staubereiche vor einem Wäldchen am Ortsrand der Wohnbebauung in Richtung Schierholzstraße und Am Mühlenbach und an den bestehenden Gewerbebauten östlich des Plangebiets. Im Planfall (rechte Abbildung) verlagert sich der Kaltluftstau vom Gleisbereich auf die Südseite der geplanten Hallen.

In Abbildung A3–4 ist Fließrichtung und Intensität der Kaltluftströmung mittels Pfeilen dargestellt. Die Pfeilrichtung gibt die Fließrichtung an, die Pfeillänge ist ein Maß für die Stärke der Kaltluftströmung. Am Hang bildet sich im Nullfall ein Hangabwind aus, der nach Norden strömt und dann am Gewerbegebiet nördlich der Bahnlinie größtenteils zum Erliegen kommt. Im Planfall (rechts) entfällt die überplante Fläche als Kaltluftproduktionsfläche und die von Süden ankommende Strömung wird hauptsächlich im Westen vorbeigeführt. Der Südrand des nördlich gelegenen Gewerbegebiets wird zu Beginn der Nacht schlechter belüftet. An der westlich gelegenen Wohnbebauung (in Richtung Schierholzstraße und Am Mühlenbach) ergeben sich keine spürbaren Auswirkungen.

In Abbildung A3–2 sind die Mächtigkeiten der fließenden Kaltluft zwei Stunden nach Sonnenuntergang dargestellt. Auch hier ist der Stau am Gewerbegebiet nördlich der Bahnlinie im Ist-Zustand (linke Abbildung) deutlich zu erkennen. Im Planfall (rechte Abbildung) liegen die geplanten Gebäude in diesem Kaltluftstaubereich.

An den Strömungsrichtungen (Abbildung A3–5) hat sich kaum etwas geändert. Im Hangbereich gibt es den nach Norden abfließenden Kaltluftstrom, der am Gewerbegebiet nördlich der Bahnlinie weitgehend zum Erliegen kommt. Nur durch eine kleine hindernisarme Schneise zwischen Wohnbebauung und Gewerbegebiet kann die Kaltluft etwas intensiver In Richtung Werre abfließen.

Mit zunehmender Andauer der Strahlungsnacht sammelt sich immer mehr Kaltluft in der Tallage. In Abbildung A3–3 ist die Mächtigkeit der fließenden Kaltluft 5 Stunden nach Sonnenuntergang dargestellt. Das Werre-Tal hat sich mit Kaltluft gefüllt, die bis 80 m über Grund reichen kann. Die höher gelegenen Hangbereich im Süden ragen aus der Kaltluft heraus. Die Unterschiede zwischen Planfall und Nullfall sind gering, da sich das Plangebiet in einem Bereich mit Kaltluftüberdeckung von ca. 55 m liegt.

Im Werre-Tal hat sich eine schwache Westströmung etabliert (vgl. Abbildung A3–6). Bei einer Volumenstromdichte von typischerweise 25 m³/sm und einer Kaltluftmächtigkeit von 50 m und mehr, ergeben sich mittlere Strömungsgeschwindigkeiten unter 0,5 m/s. Während das Plangebiet in der westliche Strömung liegt, gibt es südlich davon noch einen Zustrom aus den südlich gelegenen Hangbereichen. Die geplanten Gebäude führen deshalb zu einer Geschwindigkeitsreduktion im östlich angrenzenden Gewerbegebiet. Im weiteren Verlauf der Nacht ändert sich an dieser Situation nichts mehr Wesentliches.

Diese „idealen“ Kaltluftabflussverhältnisse ohne übergeordneten Wind findet man in den Messungen (vgl. Kapitel 3.2) selten. Deshalb wurden zusätzlich Simulationen bei einem schwachen geostrophischen Wind[5] mit 1 m/s aus Südosten durchgeführt. Insbesondere unter dem Einfluss von Hochdruckwetterlagen findet man übergeordnete östliche Winde häufig.

Zu Beginn der Nacht bedingt diese schwache Höhenströmung keine großen Unterschiede im Kaltluftgeschehen. Mit fortschreitendem Anwachsen der Kaltlufthöhe nimmt der Einfluss zu.

In Abbildung A3–7 ist die Mächtigkeit der fließenden Kaltluft 5 Stunden nach Sonnenuntergang bei übergeordnetem Südostwind dargestellt. Das Tal hat sich wie im Fall ohne übergeordneten Wind mit Kaltluft gefüllt. Die Unterschiede zwischen Planfall und Ist-Zustand sind gering, da im Bereich des Plangebiets Kaltluftmächtigkeiten um 50 m über Grund vorliegen und dadurch der Einfluss der Planung nur noch schwach wirksam ist.

Im Tal stellt sich bei diesen Bedingungen eine östliche bis nordöstliche Strömung ein (vgl. Abbildung A3–7). Die Fließrichtung entspricht der Nordostwindsituation, die an der meteorologischen Messstation häufig nachts bei stabiler Schichtung beobachtet wird (vgl. Abbildung 3-5).

[5] Nicht mehr von den topografischen Verhältnissen beeinflusste Höhenströmung.

# 8 Planungsempfehlungen

Für lokalklimatische Auswirkungen existieren bislang keine Grenz- oder Richtwerte, wie das bei lufthygienischen oder schalltechnischen Fragestellungen der Fall ist. Eine Beurteilung anhand solcher Maßstäbe ist folglich nicht möglich. Ebenso wenig lassen sich zwingende Forderungen ableiten. Trotzdem sollten zur Vermeidung und Minderung unerwünschter Auswirkungen Maßnahmen Berücksichtigung finden.

Unabhängig von einer Bewertungsstruktur sollten im Fall der Realisierung der Planung nachteilige Auswirkungen weitgehend reduziert werden. Dazu sind nachfolgend dargestellte Planungshinweise geeignet.

**Reduktion thermischer Effekte**

Der vorgesehene Grüngürtel wirkt sich positiv auf die thermischen Effekte aus. Dagegen können sich vor allem die großen Dachflächen bei Strahlungswetterlagen durch die kurzwellige Einstrahlung stark aufheizen und diese Wärme an die Luft weitergeben. Angesicht der relativ geringen thermischen Wirkungen ist als primäre Minderungsmaßnahme das Albedomanagement zu empfehlen. Dies bedeutet die Beschichtung des Daches mit Material, das eine hohe Rückstreuwirkung im kurzwelligen Bereich aufweist. Dadurch wird ein Großteil der einfallenden Strahlung reflektiert und heizt die Oberfläche nicht auf.

Nur der Vollständigkeit halber sei noch die intensive Dachbegrünung (Reduktion der Aufheizung durch Verdunstung auch während längerer Trockenperioden) bzw. die extensive Dachbegrünung (Reduktion der Aufheizung durch Verdunstung solange die Pflanzen nicht ausgetrocknet sind) erwähnt. Diese Maßnahmen sind aber hier nicht erforderlich.

Photovoltaik ist zum Schutz des globalen Klimas eine sinnvolle Dachflächengestaltung. Da aber nur ein kleiner Teil der einfallenden Strahlung in Strom umgewandelt wird, steht der größte Teil zur Aufheizung der Panel und letztendlich der Luft zur Verfügung. In diesem Falle wären die lokalen und globalen Belange abzuwägen.

Elementar wichtig ist auch für industrielle Gebäude der Wärmeschutz. Dieser hilft nicht nur die Regelung der Innentemperaturen zu erleichtern und damit Energie zu sparen (weniger Heizung und Kühlung erforderlich), sondern er führt auch dazu, dass weniger Gebäudemasse die tagsüber eingestrahlte Wärme speichert und bis lange in die Nacht abgibt.

Da Parkpaletten geplant sind, ist das Thema Aufheizung durch Parkflächen hier wenig relevant. Generell gilt, dass wenig frequentierte Stellplätze mit Rasenbausteinen befestigt werden sollten. Weiterhin besteht die Möglichkeit der Beschattung, was aber häufig mit einfachen Mitteln nicht machbar ist. Verschattung durch Bäume benötigt in der Regel 15 bis 20 Jahre, bis sich die Kronendächer als ausreichende Schattenspender ausgebildet haben. Auch hier gibt es Untersuchungen mit hellen Materialien, die einen Teil der kurzwelligen Strahlung reflektieren und so die Aufheizung reduzieren.

Auch im Umschlagbereich sind helle Oberflächen, die mehr der Einstrahlung reflektieren von Vorteil. Beton, heller Asphalt (hoher Splitanteil) oder Betonpflaster sind einer dunklen Asphaltdecke vorzuziehen.

**Durchlüftung**

In der Planung sollen die Gebäude in den Hang eingelassen werden. In diesem Gutachten wurde dagegen ein Worst-case-Szenario simuliert, das von Gebäuden ausgeht, die auf das freie Gelände gestellt werden, so dass die volle Kubatur als Strömungshindernis wirkt. Falls hier keine Durchlüftungsprobleme auftreten, so erst recht nicht, wenn die Gebäude im Südteil deutlich weniger über das Gelände ragen. Dieser Schutz wirkt positiv auf die Durchlüftung aus (weniger Reduktion bzw. Erhöhung der Windgeschwindigkeiten).

Geringere Auswirkungen auf die Durchlüftung können durch geringere Bebauungshöhen erzielt werden. Dachaufbauten sollten möglichst reduziert werden.

**Kaltluftabflusssituation**

Der aus dem südlichen Hangbereich zu Beginn der Nacht abfließende Kaltluftstrom wird durch die Gebäude verdrängt, so dass insbesondere das nördlich Industriegebiet nicht mehr im direkten Zustrom liegt. Die thermischen Auswirkungen und der Verlust an Kaltluftproduktionsfläche können durch Gebäudeisolation und Dachbegrünung reduziert werden.

Die thermischen Auswirkungen und der Verlust an Kaltluftproduktionsfläche können durch Gebäudeisolation und Dachbegrünung reduziert werden, wobei aufgrund der in der Summe unbedenklichen Auswirkungen auch an dieser Stelle die Dachbegrünung nur der Vollständigkeit halber genannt wird. Für das vorliegende Planvorhaben stellt sie keine erforderliche Minderungsmaßnahme dar (siehe auch Reduktion thermischer Effekte).

# 9 Zusammenfassung

Die Hermes Fulfilment GmbH plant die Ansiedlung eines Logistikzentrums bei Gohfeld.

Die Auswirkungen der Planung auf die lokalklimatischen Verhältnisse wurden mit Hilfe von Modellrechnungen untersucht. Im Vordergrund der Untersuchung stehen aus klimatischer Sicht Auswirkungen auf die Durchlüftung, die thermischen und bioklimatischen Verhältnisse sowie die Kaltluftabflusssituation.

Zur Minderung nachteiliger Effekte sind die Planungshinweise im Kapitel Planungshinweise zu beachten.

**Thermische Effekte**

Baukörper und versiegelte Flächen heizen sich an Strahlungstagen stark auf. Diese Erwärmung ist im Winter und den Übergangsjahreszeiten unproblematisch, kann aber während Hitzeperioden die Belastungssituation erhöhen. Bei der Hauptwindrichtung Südsüdwest ergeben sich im nördlich und östlich angrenzenden Industrie-/Gewerbegebiet leichte Zunahmen der thermischen Belastung. Bei nordöstlichen Winden liegen die Gebäude der Wohnbebauung in Richtung Schierholzstraße und Am Mühlenbach im Zustrom der über die Plangebäude geführten Luft. Aufgrund des Abstandes sind jedoch keine spürbaren Effekte zu erwarten.

**Durchlüftung**

Die Auswirkungen der Planung wurden für die beiden Hauptwindrichtungen Nordnordost und Südsüdwest sowie für das Jahresmittel untersucht.

Aufgrund der Abmessungen der geplanten Gebäude ergeben sich im Nahbereich der Planung (d.h. in einem Abstand von maximal 100 m) deutliche Geschwindigkeitsreduktionen.

Im Jahresmittel gibt es am Rand der Gewerbegebiete im Norden und Osten Windgeschwindigkeitsreduktionen in der Größenordnung von 10%. Am Ostrand von Löhne (Wohnbebauung in Richtung Schierholzstraße und Am Mühlenbach) ergeben sich im Jahresmittel keine signifikanten Beeinträchtigungen.

Bei einzelnen Windrichtungen sind die Effekte größer als im Jahresmittel. Bei Südsüdwestwind kann die Reduktion am Rand des nördlich der Bahnlinie gelegenen Gewerbegebiets bis zu 50% betragen.

Bei Nordostwind sind lokal Auswirkungen an den Gebäuden der Schierholzstraße mit Reduktionen bis ca. 10% zu erwarten.

Eine schlechtere Durchlüftung bewirkt einen schlechteren Abtransport von lufthygienischen und thermischen Belastungen. Das westlich angrenzende Wohngebiet ist nur gering belastet (stark durchgrünt, offene Bauweise, nur geringe Emissionen), so dass hier geringe Reduktionen der Durchlüftung akzeptabel sind.

Die Gewerbegebiete im Norden und Osten des Plangebiets sind thermisch und lufthygienisch stärker belastet. Da keine Hauptverkehrsstraßen betroffen sind, ist nicht davon auszugehen, dass die Grenzwerte der 39. BImSchV erreicht oder gar überschritten werden. Hinsichtlich thermischer Belastung sind Gewerbegebiete weniger empfindlich als reine Wohngebiete.

**Kaltluftabfluss**

Bei Strahlungswetterlagen mit geringen übergeordnetem Wind sind lokale Kaltluftabflüsse für die Belüftung maßgebend. Im Untersuchungsgebiet stellt sich in den ersten Nachtstunden ein Hangabwind aus südlicher Richtung ein. Dieser belüftet die Wohnbebauung in Richtung Schierholzstraße und Am Mühlenbach und die nördlich und östlich des Plangebiets gelegenen Randbereiche der Gewerbegebiete.

Im Planfall wird durch die Gebäude ein Teil der von Süden ankommenden Kaltluft umgelenkt, ein Teil durch die hindernisbedingten Turbulenzen und Wärmeströme aufgerieben. Die größten Reduktionen stellen sich am Südrand des nördlich gelegenen Gewerbegebiets ein. Am Ortsrand der Wohnbebauung in Richtung Schierholzstraße und Am Mühlenbach sind keine Auswirkungen zu erwarten.

Etwa drei Stunden nach Einsetzen der Kaltluftabflüsse hat sich das Werre-Tal mit Kaltluft gefüllt. Es stellt sich bei Wetterlagen ohne übergeordneten Wind eine talabwärts gerichtete westliche Strömung ein.

Bei übergeordneten östlichen Strömungen, wie sie häufig im Einflussbereich von Hochdruckgebieten vorkommen, stellt sich dagegen eine östlich bis nordöstlich Strömung im Tal ein.

Da die Kaltluftmächtigkeiten zu diesen Zeiten die Hindernishöhen bereits deutlich überragen, ergeben sich typischerweise Geschwindigkeitsreduktionen, wie sie im Kapitel Durchlüftung beschrieben sind.

**Fazit**

In der Summe wird die Planung aus klimatischer Sicht als unbedenklich eingestuft.

Steinicke & Streifeneder, Umweltuntersuchungen

Freiburg, den 31. Oktober 2013

Dipl. Phys. Dr. Wolfgang Steinicke

# Literatur

**Baugesetzbuch:** "Baugesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 23. September 2004 (BGBl. I S. 2414), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 22. Juli 2011 (BGBl. I S. 1509) geändert worden ist".

**Bruse, M.:** Die Auswirkungen kleinskaliger Umweltgestaltung auf das Mikroklima. Dissertation, Ruhr-Universität Bochum, 1999

**Bruse, M., Fleer, H.:** Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. Environmental Modelling & Software (13), 373-384, 1998

**ENVI-met Website:** www.envi-met.com

**Garrett, A.J., Smith, F.G.:** Two-Dimensional Simulations of Drainage Winds and Diffusion Compared to Observations. Journal of Climate and Applied Meteorology, Vol. 23. 1984

**GNUPLOT:** Version 4.4.3, März 2011. http://www.gnuplot.info/

**Kuttler, W.:** Human-biometeorologische Bewertung stadtklimatologischer Erkenntnisse für die Planungspraxis. In: Wissenschaftliche Mitteilungen aus dem Institut für Meteorologie der Universität Leipzig und dem Institut für Troposphärenforschung e. V. Leipzig. Band 13, Leipzig 1999.

**Matzarakis, A., Röckle, R., Richter, C.-J., Höfl, H.-C., Steinicke, W., Streifeneder, M., Mayer,H., 2008:** Planungsrelevante Bewertung des Stadtklimas. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft. 68(2008) Nr. 7/8, S. 334-340

**Matzarakis, A.; Mayer, H.:** Another kind of environmental stress: Thermal stress. WHO 392, Newsletter 1996, 18, 7 - 10.

**Matzarakis, A.; Mayer, H:** Dependence of the thermal urban climate on morphological variables. http://www.mif.uni-freiburg.de/matzarakis/papers/Fest50_matzarakisUrbanParameters.pdf

**Mayer, Helmut; Holst, Jutta; Imbery, Florian:** Human Thermal Comfort within Urban Structures in a Central European City. The seventh International Conference on Urban Climate, 29 June – 3 July 2009, Yokohama, Japan

**Mayer; H.; Höppe, P.:** Thermal comfort of man in different urban environments. Theor. Appl. Climatol. 38 (1987), S.43-49.

**Nordrhein-Westfalen:** Handbuch Stadtklima. Maßnahmen und Handlungskonzepte für Städte und Ballungsräume zur Anpassung an den Klimawandel. März 2010

**Reuter, U., Baumüller, J., Hoffmann, U.:** Luft und Klima als Planungsfaktor im Umweltschutz. Expert-Verlag, Band 328, 1991

**Röckle, R., Richter, C.-J.:** Ermittlung des Strömungs- und Konzentrationsfeldes im Nahbereich typischer Gebäudekonfigurationen – Modellrechnungen –. Projekt Europäisches Forschungszentrum für Maßnahmen der Luftreinhaltung, Forschungsbericht FZKA-PEF 136, Oktober 1995

**SPACETEC:** Stadtklimauntersuchung Löhne, Freiburg 1994

**VDI 3787 Blatt 2:** Umweltmeteorologie – Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung – Teil 1: Klima. Beuth Verlag Düsseldorf, 10. 2008

**VDI-Richtlinie 3783 Blatt 10:** Diagnostische mikroskalige Windfeldmodelle – Gebäude- und Hindernisumströmung. VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 1b, 2001

**Wirtschaftsministerium des Landes Baden Württemberg:** Städtebauliche Klimafibel Online. Hinweise für die Bauleitplanung. http://www.staedtebauliche-klimafibel.de

# Anhang

## A1 Lokalklima

## A2 Durchlüftung und Windkomfort

## A3 Kaltluftabflüsse

# A1 Lokalklima

Tabelle A1-1: Eingangsdaten für ENVI-met im Fall „Nordostost-Wind“.

| **Meteorologische Eingangsdaten** | **August** |
|---|---|
| Windgeschwindigkeit in 10 m ü. Gr. | 1 m/s |
| Windrichtung | 70° |
| Rauhigkeitslänge | 0,1 m |
| Temperatur (Atmosphäre) | 20 °C |
| Spezifische Feuchte in 2500 m | 7 g Wasser/kg Luft |
| Relative Feuchte in 2 m | 50 % |
| Anteil Wolken am Himmel | 0 |
| **Eingangsdaten für Oberflächen** | **August** |
| Temperatur obere Bodenschicht (0-20 cm) | 17 °C |
| Temperatur mittlere Bodenschicht (20-50 cm) | 17 °C |
| Temperatur untere Bodenschicht (unter 50 cm) | 15 °C |
| Relative Feuchte obere Bodenschicht (0-20 cm) | 50 % |
| Relative Feuchte mittlere Bodenschicht (20-50 cm) | 60 % |
| Relative Feuchte untere Bodenschicht (unter 50 cm) | 60 % |
| **Eingangsdaten für die PMV-Berechnung** | **August** |
| Fortbewegungsgeschwindigkeit | 0,3 m/s |
| Energieumsatz pro $m^2$ Körperoberfläche | 116 $W/m^2$ |
| Mechanischer Wirkungsgrad | 0 |
| Wärmedurchgangswiderstand Bekleidung | 0,5 |

Tabelle A1-2: Eingangsdaten für ENVI-met im Fall „Südsüdwest-Wind“

| **Meteorologische Eingangsdaten** | **August** |
|---|---|
| Windgeschwindigkeit in 10 m ü. Gr. | 1 m/s |
| Windrichtung | 225° |
| Rauhigkeitslänge | 0,1 m |
| Temperatur (Atmosphäre) | 20 °C |
| Spezifische Feuchte in 2500 m | 7 g Wasser/kg Luft |
| Relative Feuchte in 2 m | 50 % |
| Anteil Wolken am Himmel | 0 |
| **Eingangsdaten für Oberflächen** | **August** |
| Temperatur obere Bodenschicht (0-20 cm) | 17 °C |
| Temperatur mittlere Bodenschicht (20-50 cm) | 17 °C |
| Temperatur untere Bodenschicht (unter 50 cm) | 15 °C |
| Relative Feuchte obere Bodenschicht (0-20 cm) | 50 % |
| Relative Feuchte mittlere Bodenschicht (20-50 cm) | 60 % |
| Relative Feuchte untere Bodenschicht (unter 50 cm) | 60 % |
| **Eingangsdaten für die PMV-Berechnung** | **August** |
| Fortbewegungsgeschwindigkeit | 0,3 m/s |
| Energieumsatz pro $m^2$ Körperoberfläche | 116 $W/m^2$ |
| Mechanischer Wirkungsgrad | 0 |
| Wärmedurchgangswiderstand Bekleidung | 0,5 |

Tabelle A1-3: Verwendete Bodenprofile in ENVI-met.

| Bodentyp | Aufbau | Rauhigkeitslänge der Oberfläche | Kurzwellige Albedo der Oberfläche | Langwellige Emissivität der Oberfläche |
|---|---|---|---|---|
| Lehmiger Boden | Lehm | 0,015 m | 0,0 | 0,98 |
| Asphaltstraße | Asphalt (mit Basalt) bis in 25 cm Tiefe, darunter Lehm | 0,01 m | 0,2 | 0,9 |
| Schotter | Sand-Ton-Lehm-Mischung bis 1,5cm, zwischen 1,5 und 3,5cm Sand, darunter Lehm | 0,01 m | 0,4 | 0,9 |

Tabelle A1-4: Verwendete Pflanzenprofile in ENVI-met.

| Vegetationstyp | Höhe | Kurzwellige Albedo der Oberfläche | Blattflächendichte |
|---|---|---|---|
| Rasen | 6 cm | 0,2 | 0,30 $m^2/m^3$ |
| Bäume | 10m | 0,2 | ca. 1 $m^2/m^3$ in der Krone |
| Dichte Hecke | 2m | 0,2 | Ca. $2m^2/m^3$ |

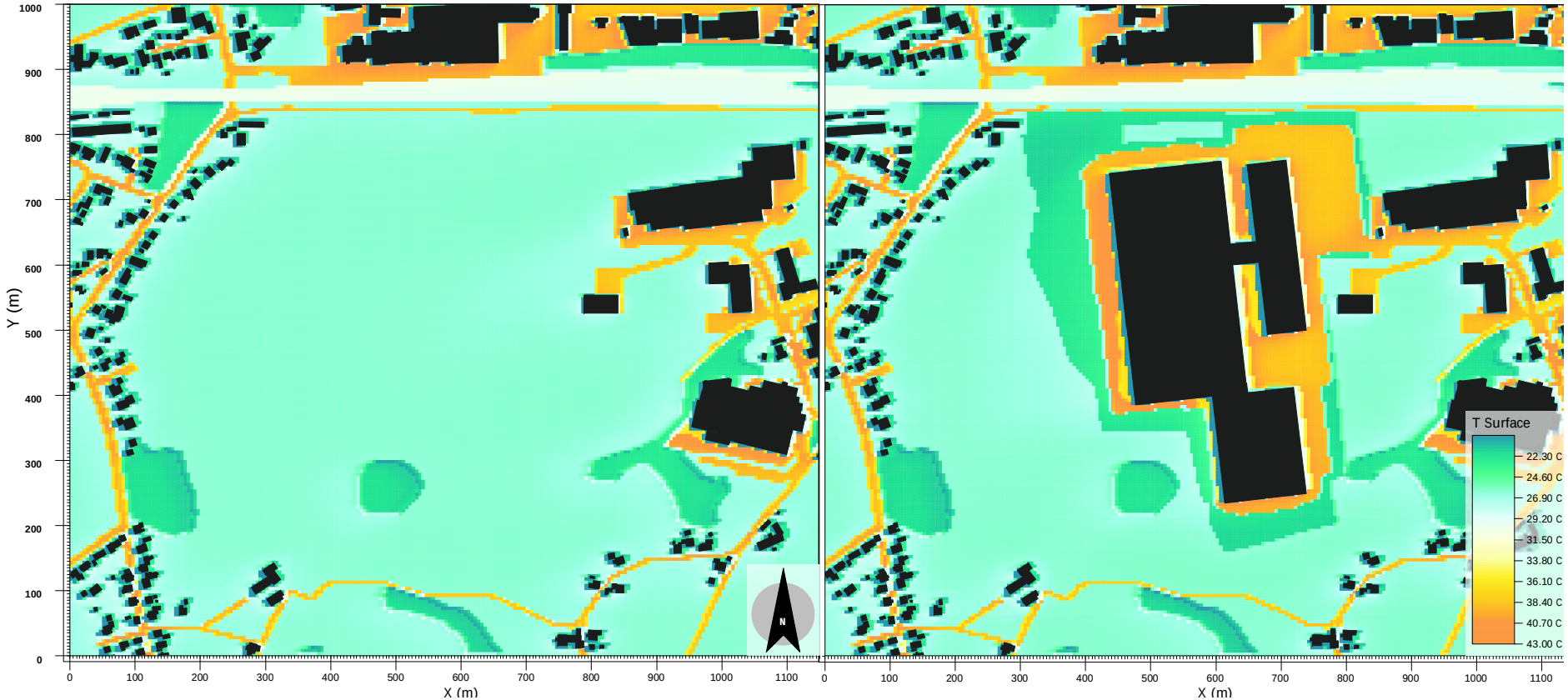



Abbildung A1-0-1: Oberflächentemperatur bei Windanströmung von Nordostost (70 Grad). Links: Nullfall, Rechts: Planfall

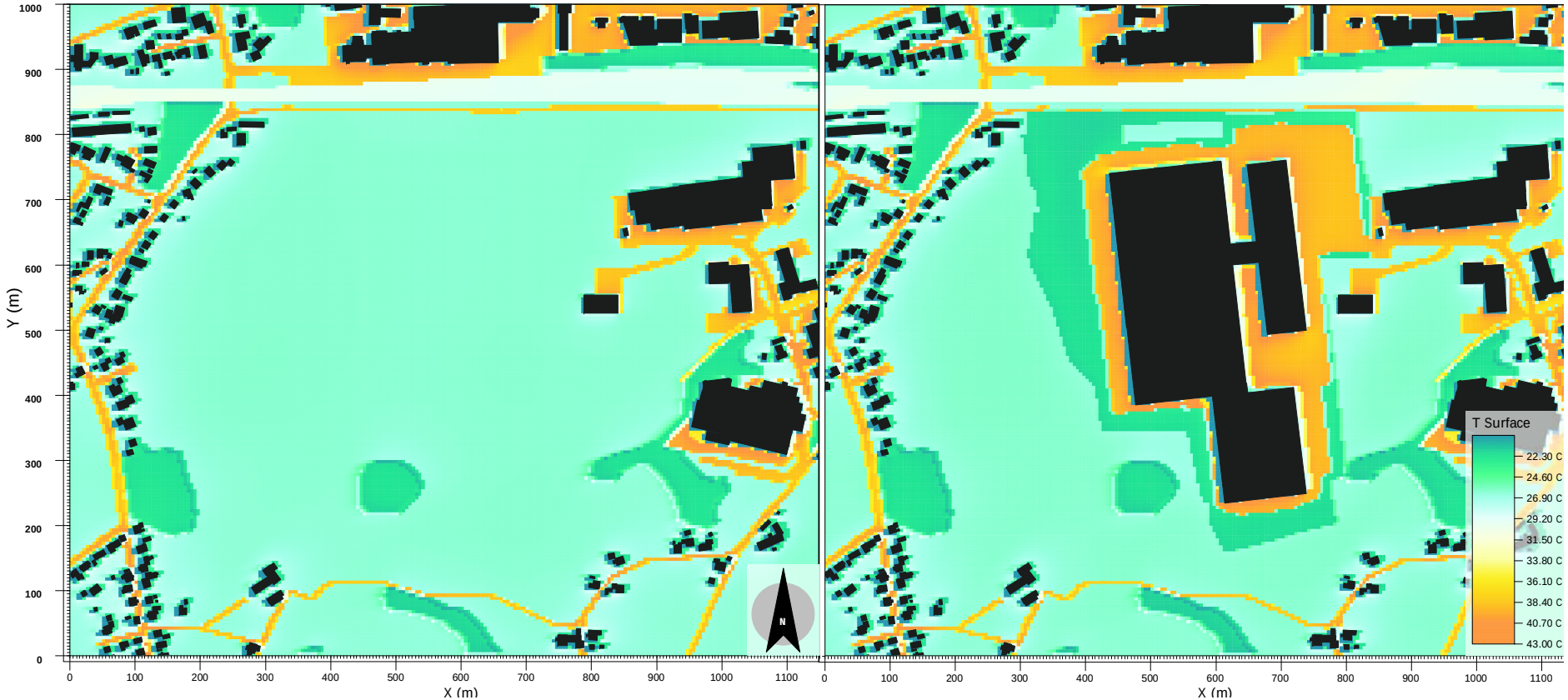



Abbildung A1-0-2: Oberflächentemperatur bei Windanströmung von Südsüdwest (225 Grad). Links: Nullfall, Rechts: Planfall

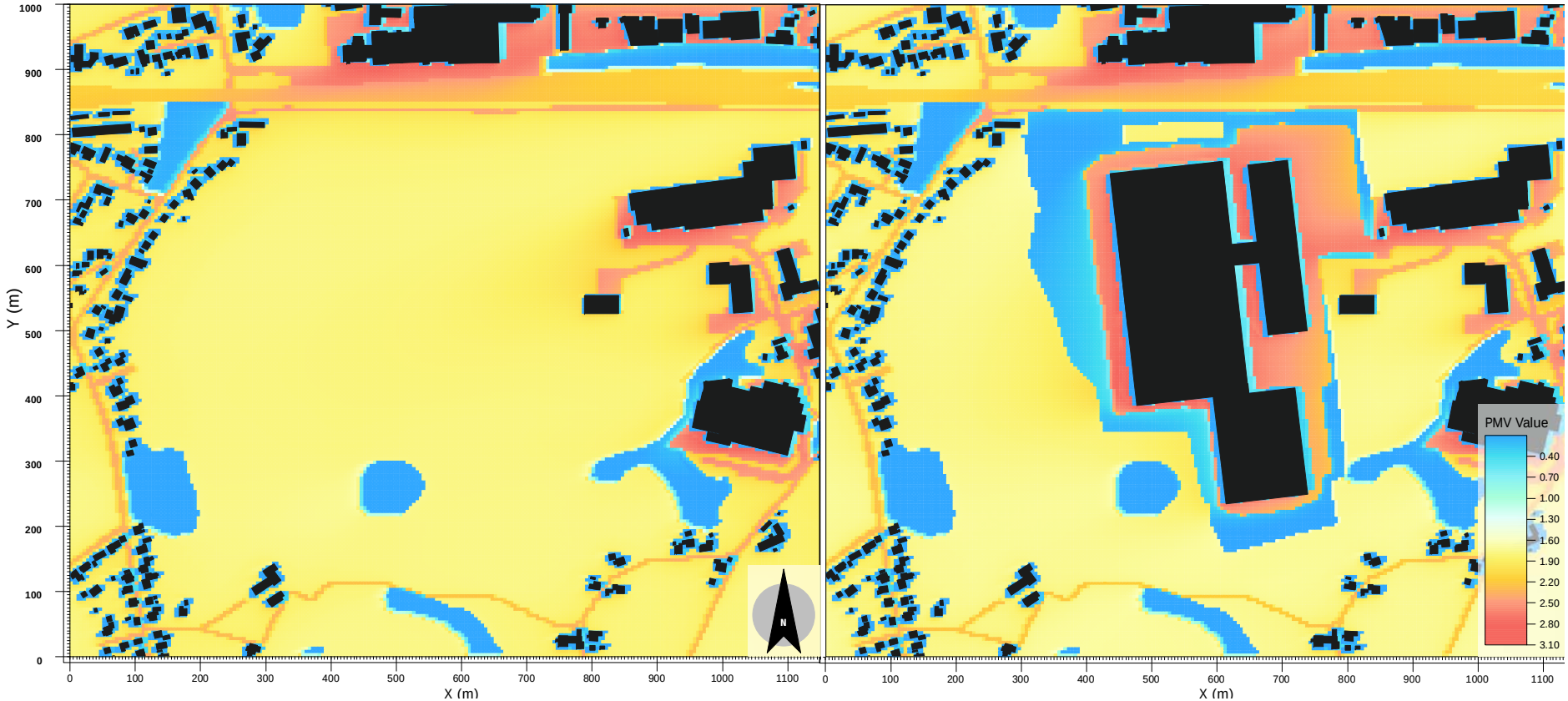



Abbildung A1-0-3: PMV-Werte bei Windanströmung von Nordost (70 Grad). Links: Nullfall, Rechts: Planfall

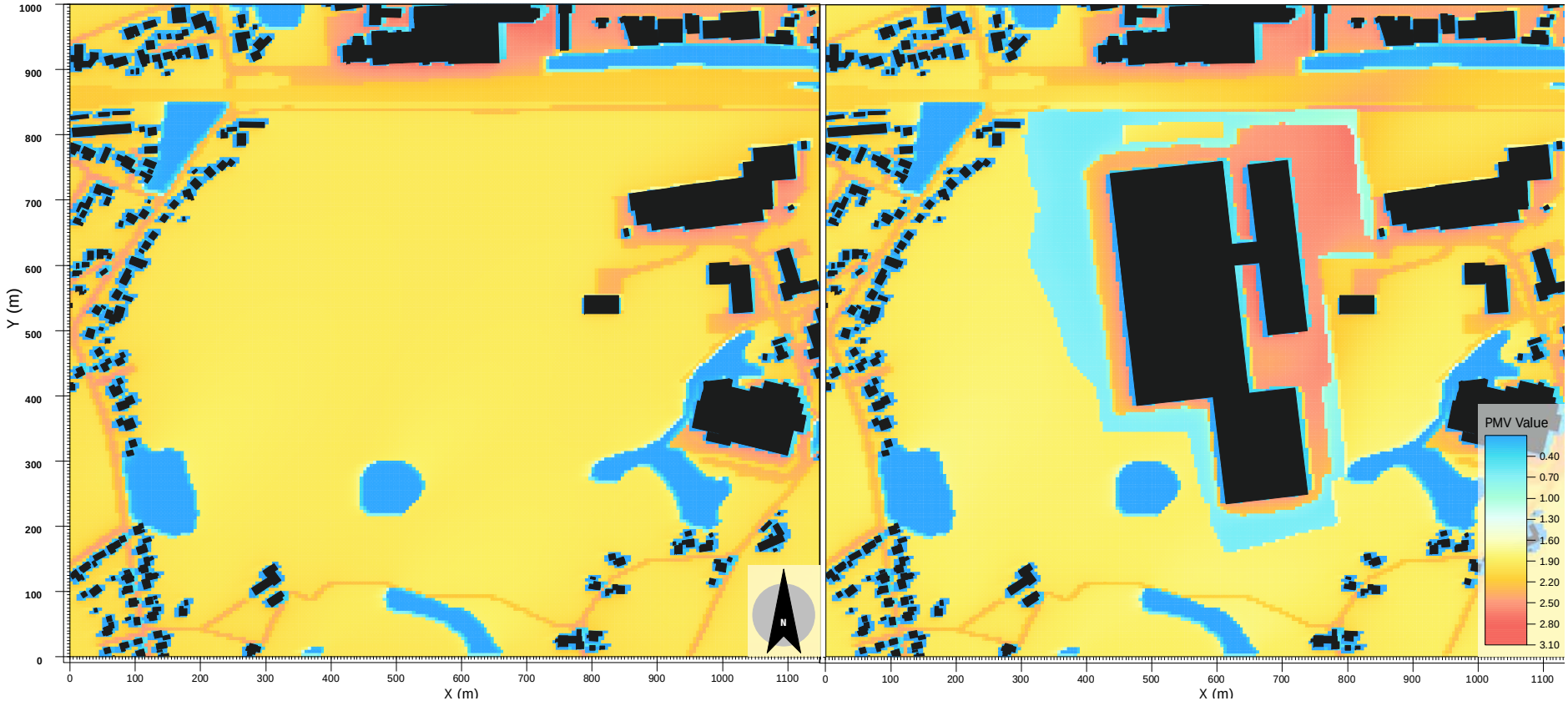



Abbildung A1-0-4: PMV-Werte bei Windanströmung von Südsüdwest (225 Grad). Links: Nullfall, Rechts: Planfall

## A2 Durchlüftung und Windkomfort

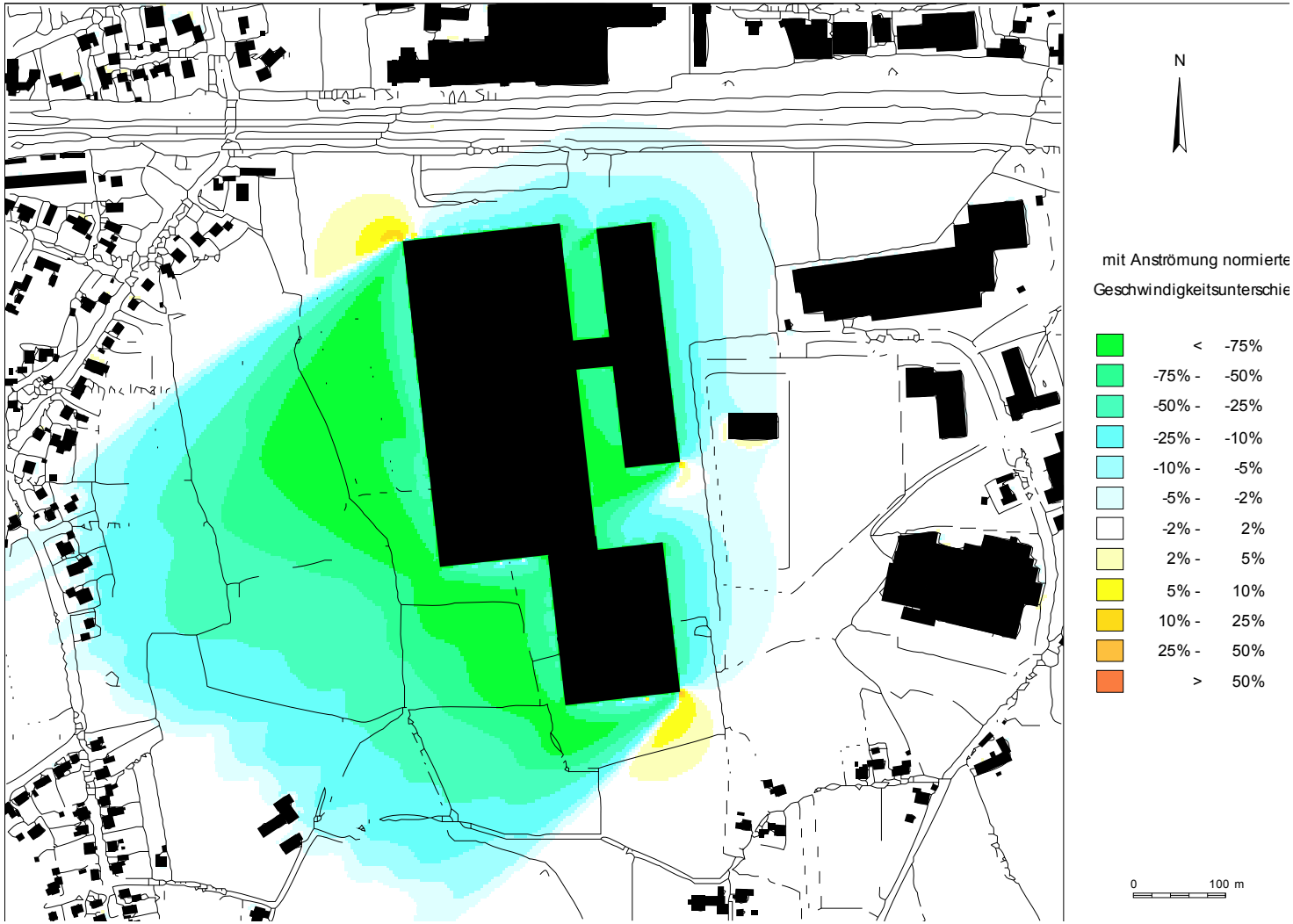



Abbildung A2-0-1: Abweichung von der ungestörten Windgeschwindigkeit in 1,5 m ü. Gr. bei einer Anströmung aus ONO

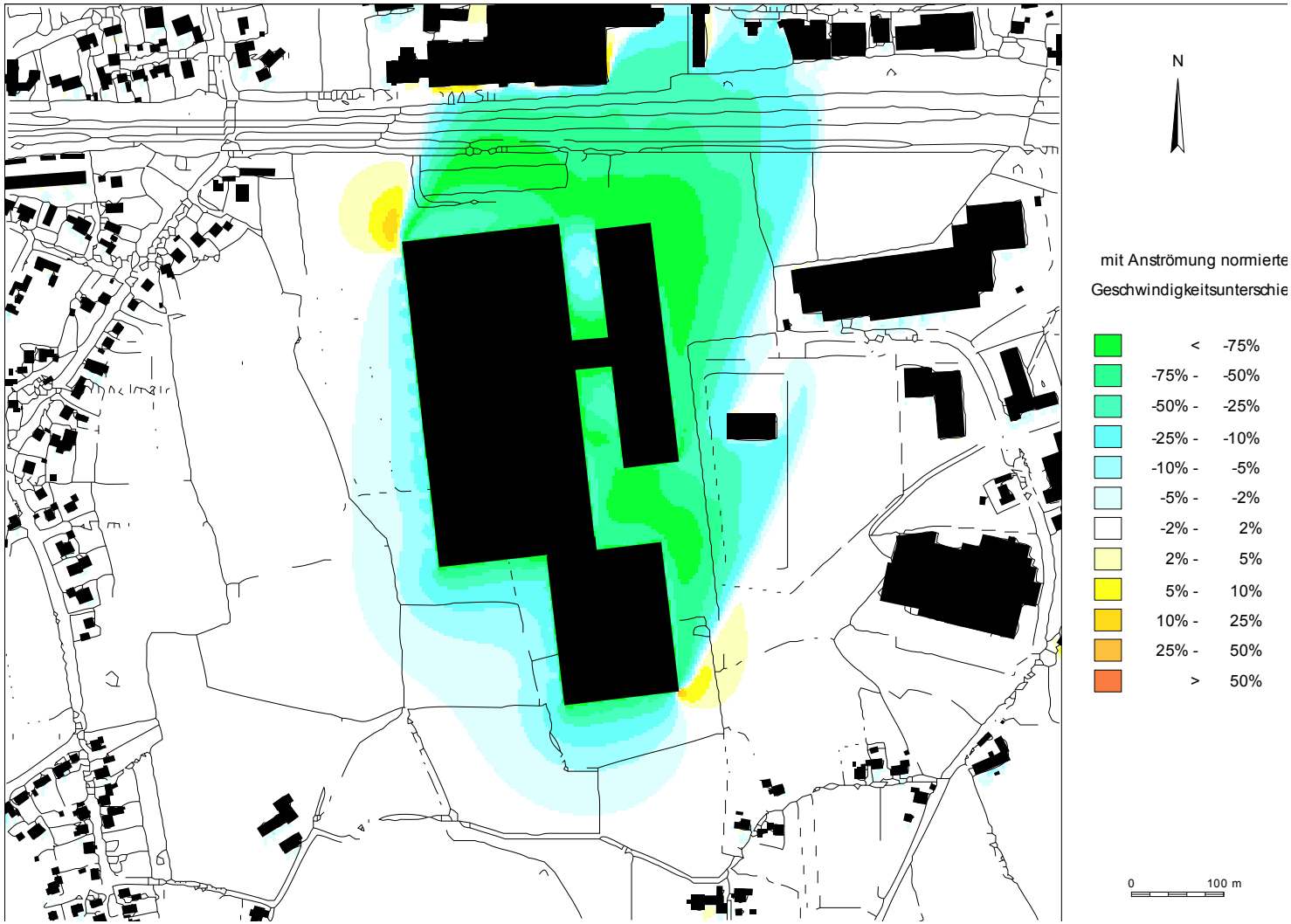



Abbildung A2-0-2: Abweichung von der ungestörten Windgeschwindigkeit in 1,5 m ü. Gr. bei einer Anströmung aus SSW

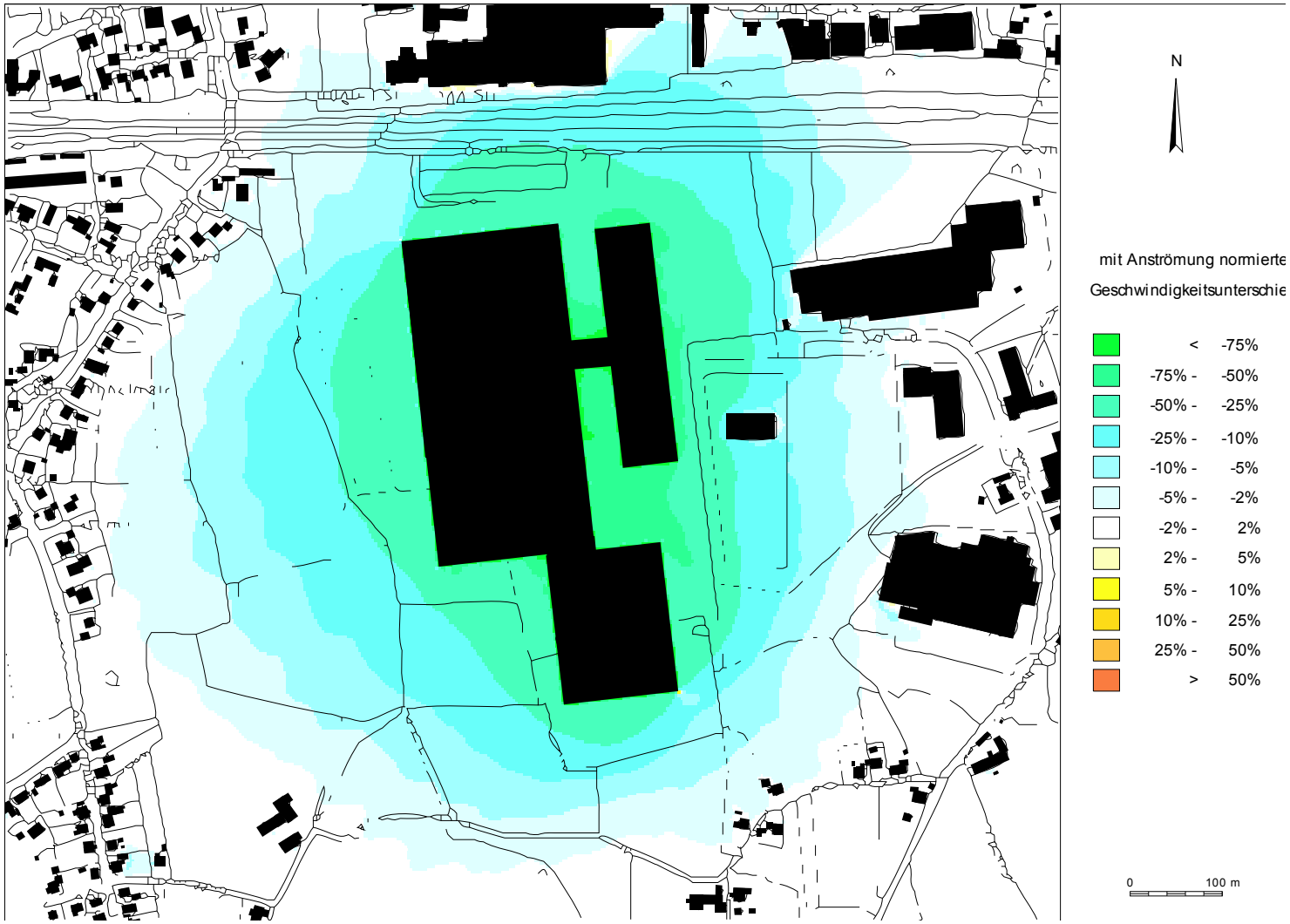



Abbildung A2-0-3: Abweichung von der ungestörten Windgeschwindigkeit in 1,5 m ü. Gr. im Jahresmittel

## A3 Kaltluftabflüsse

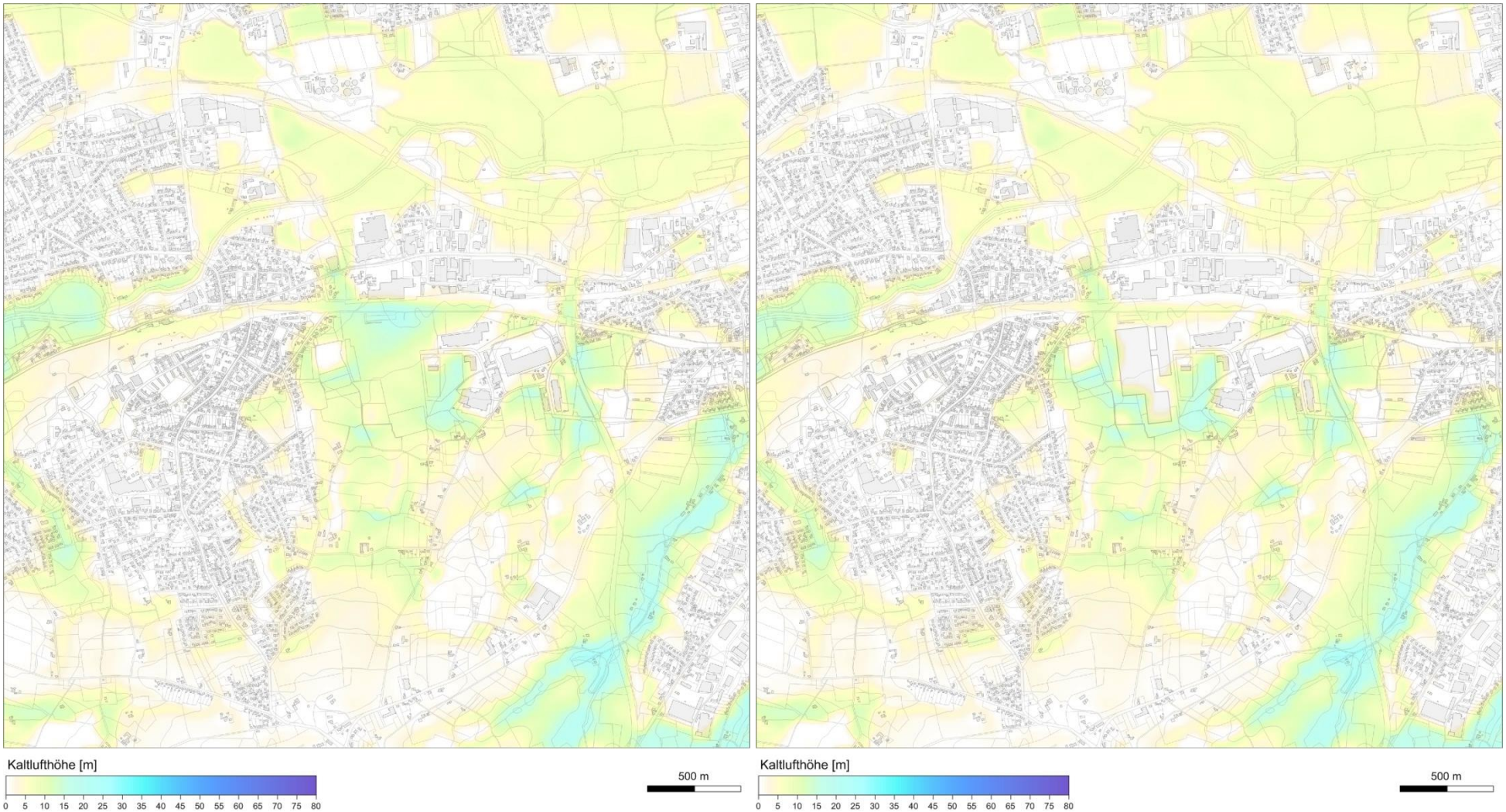



Abbildung A3–1: Kaltlufthöhen kurze Zeit nach Einsetzen der Kaltluftabflüsse. Links – Ist-Zustand, rechts – Planfall

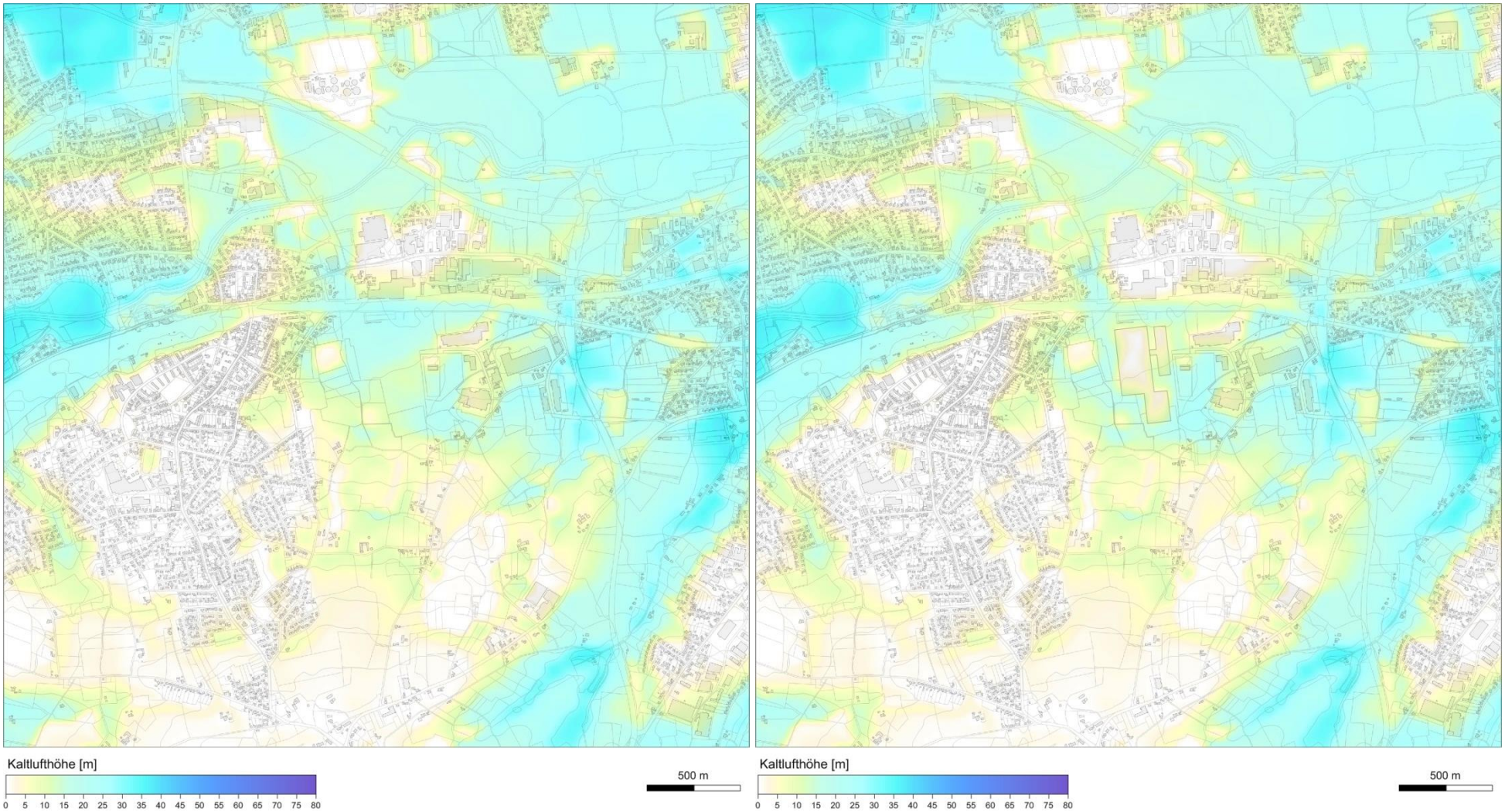



Abbildung A3–2: Kaltlufthöhen zwei Stunden nach Einsetzen der Kaltluftabflüsse. Links – Ist-Zustand, rechts – Planfall

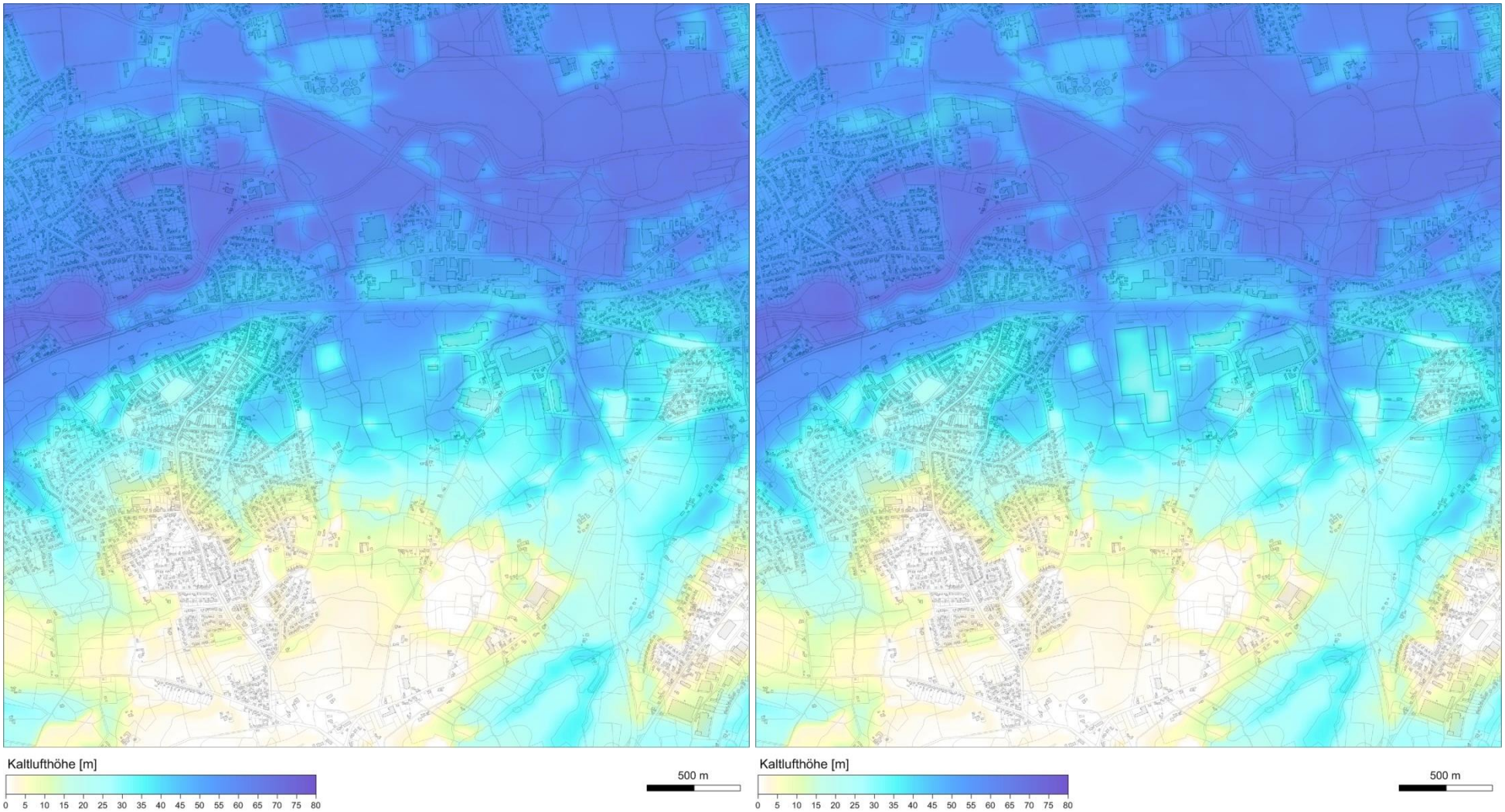



Abbildung A3–3: Kaltlufthöhen fünf Stunden nach Einsetzen der Kaltluftabflüsse. Links – Ist-Zustand, rechts – Planfall

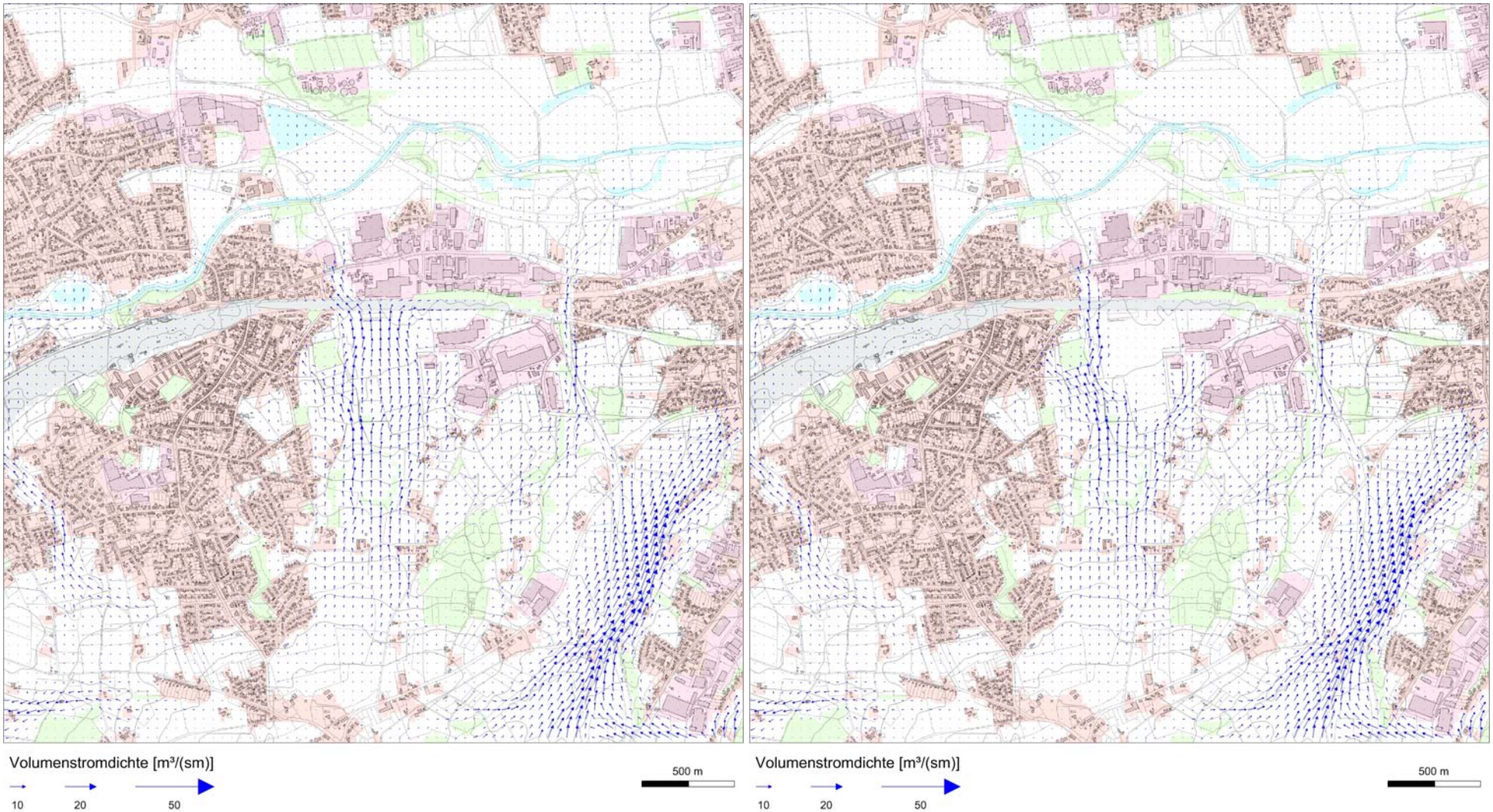



Abbildung A3–4: Volumenstromdichte (Maß für die Intensität der Kaltluftströmung) kurze Zeit nach Sonnenuntergang. Links – Ist-Zustand, rechts – Planfall

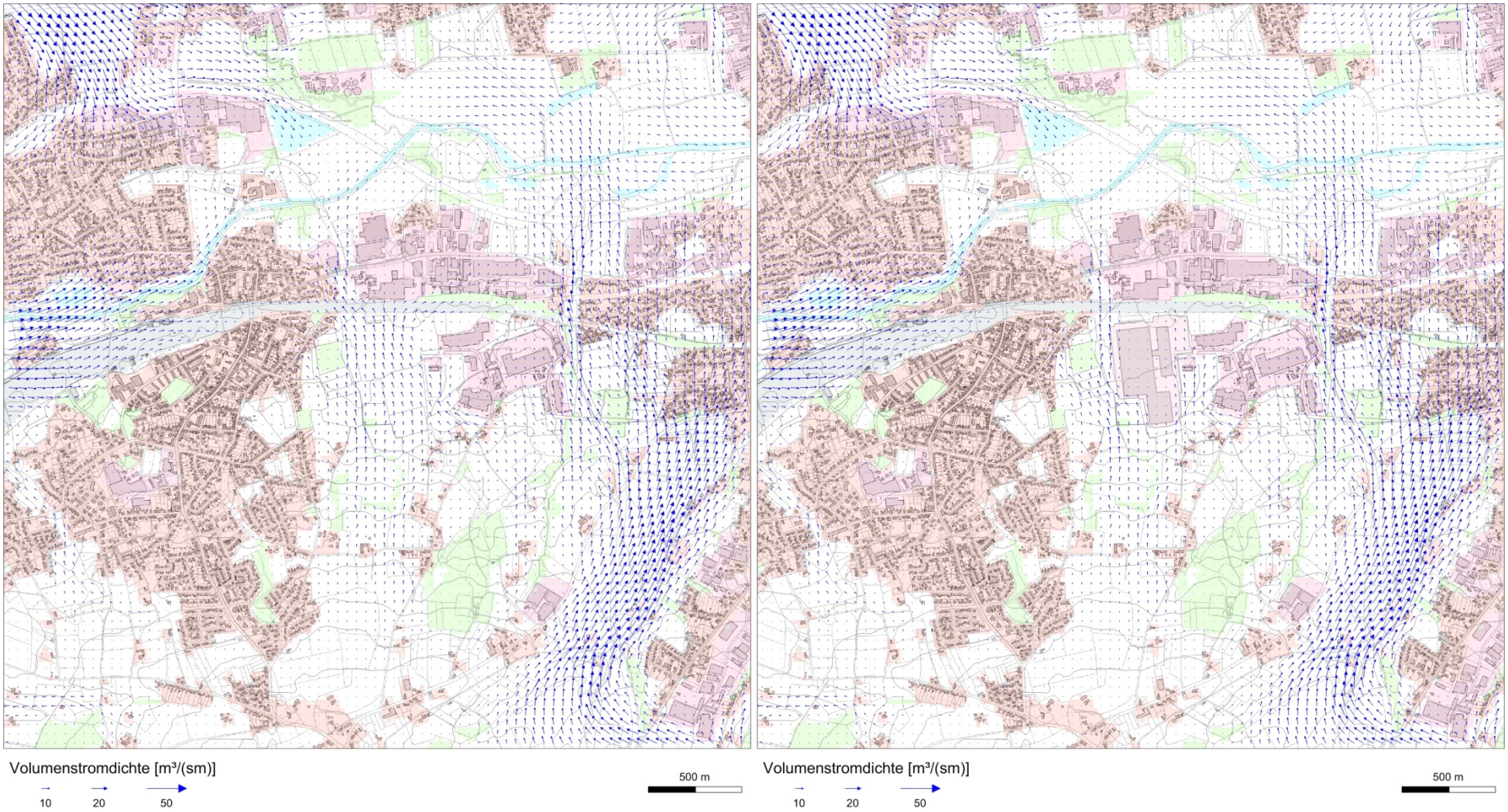



Abbildung A3–5: Volumenstromdichte (Maß für die Intensität der Kaltluftströmung) 2 Stunden nach Sonnenuntergang. Links – Ist-Zustand, rechts – Planfall

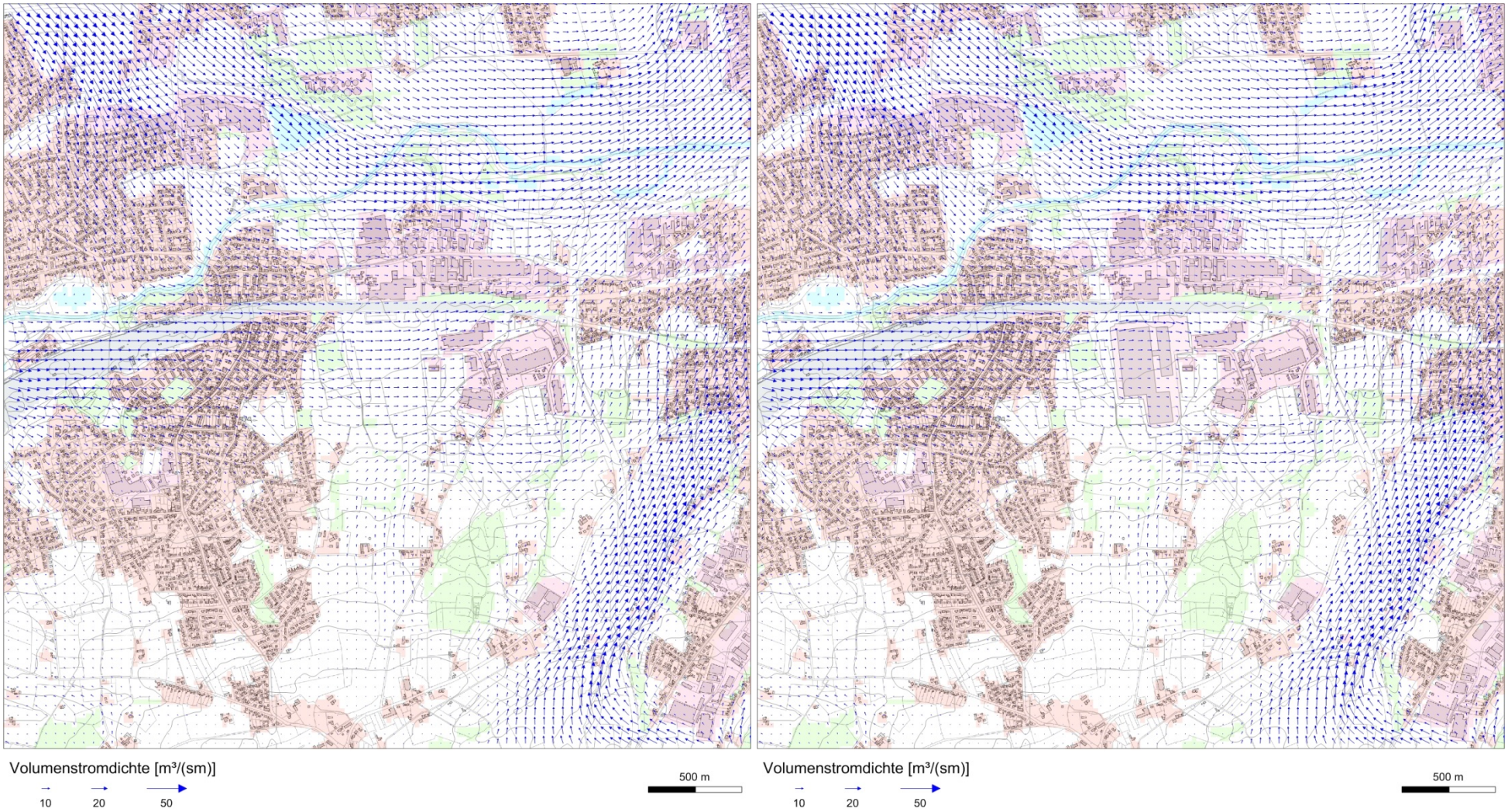



Abbildung A3–6: Volumenstromdichte (Maß für die Intensität der Kaltluftströmung) 5 Stunden nach Sonnenuntergang. Links – Ist-Zustand, rechts – Planfall

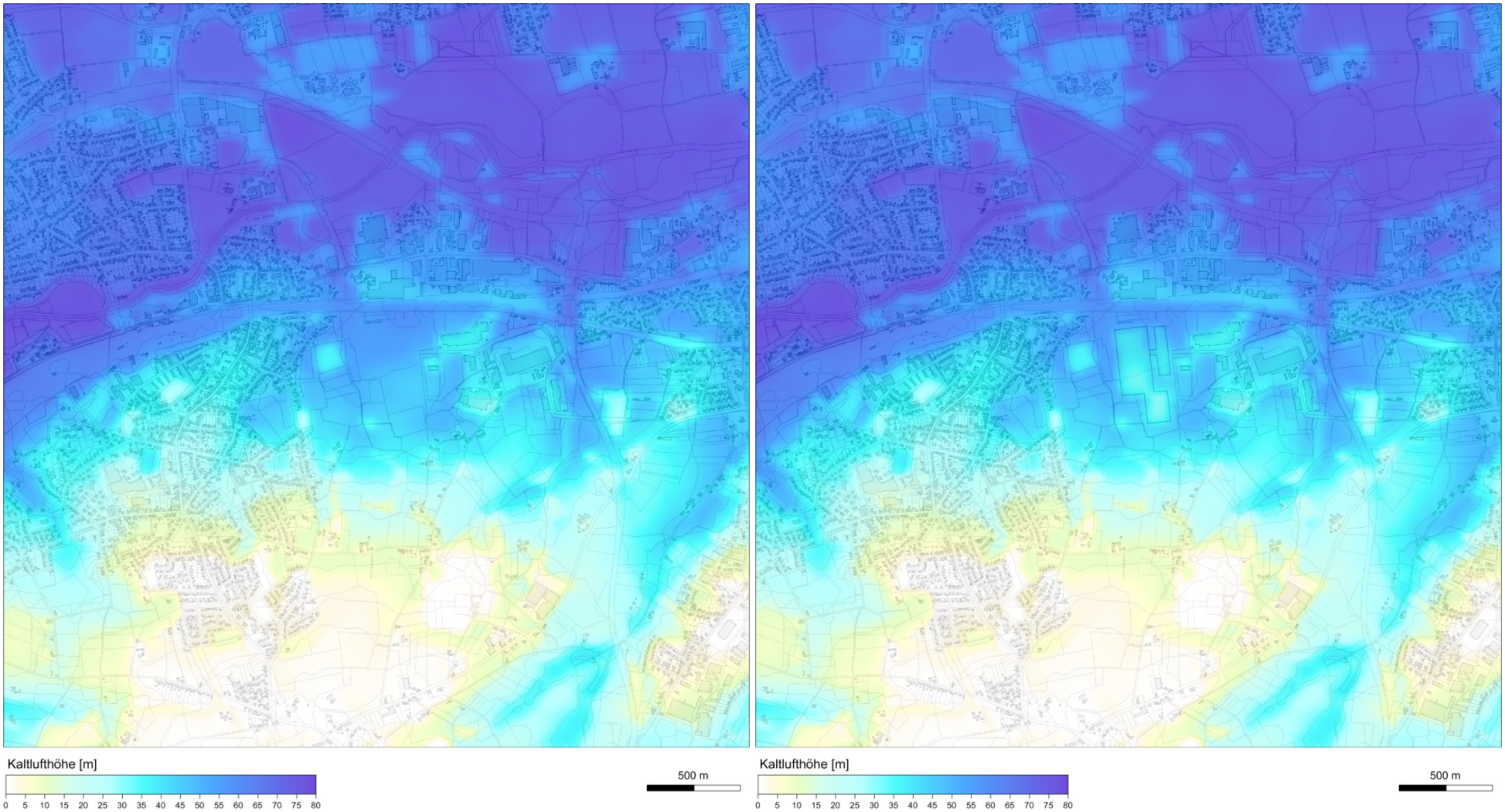



Abbildung A3–7: Kaltlufthöhen fünf Stunden nach Einsetzen der Kaltluftabflüsse bei übergeordnetem Südostwind. Links – Ist-Zustand, rechts – Planfall

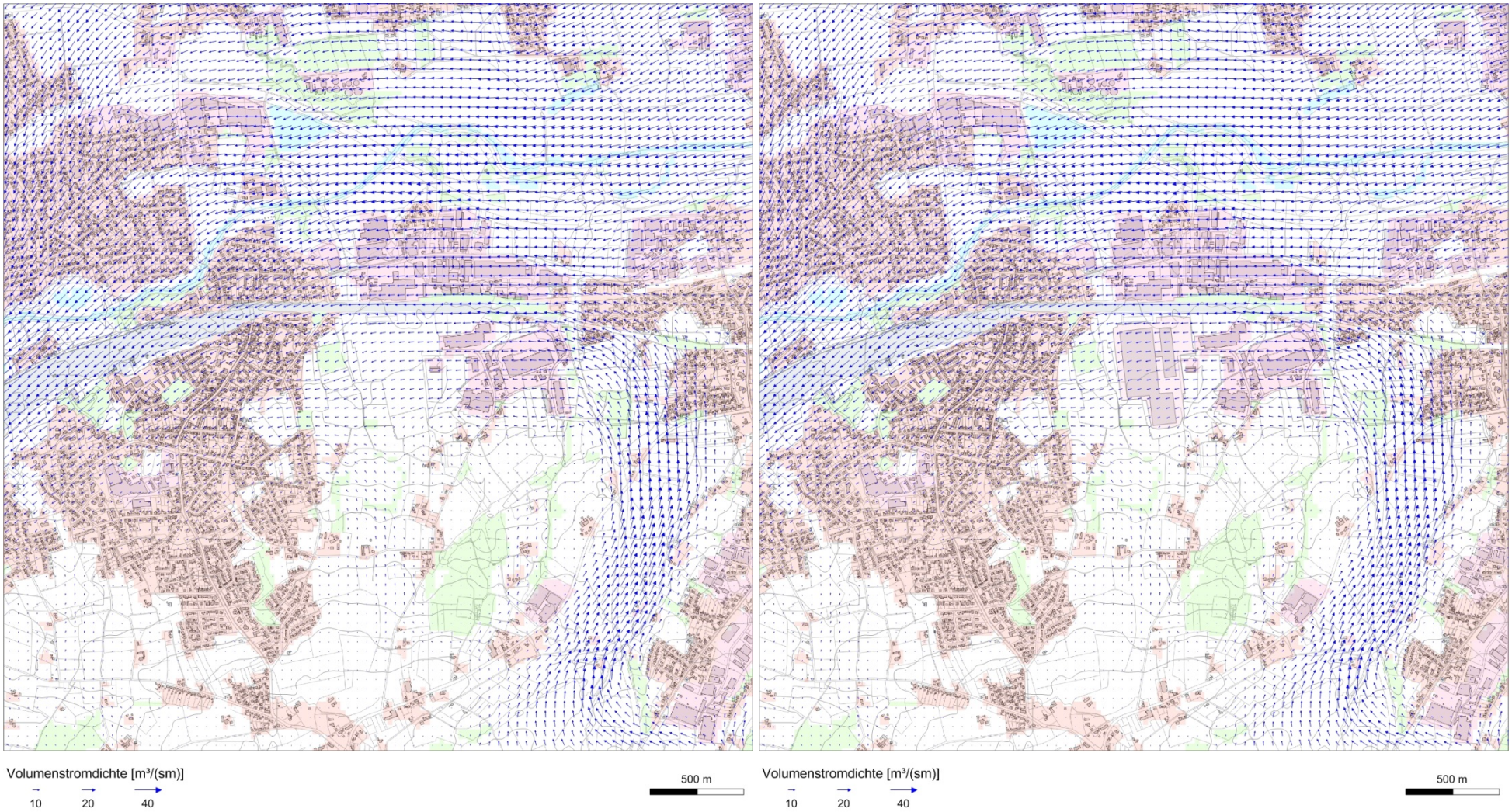



Abbildung A3–8: Volumenstromdichte (Maß für die Intensität der Kaltluftströmung) 5 Stunden nach Sonnenuntergang. Links – Ist-Zustand, rechts – Planfall