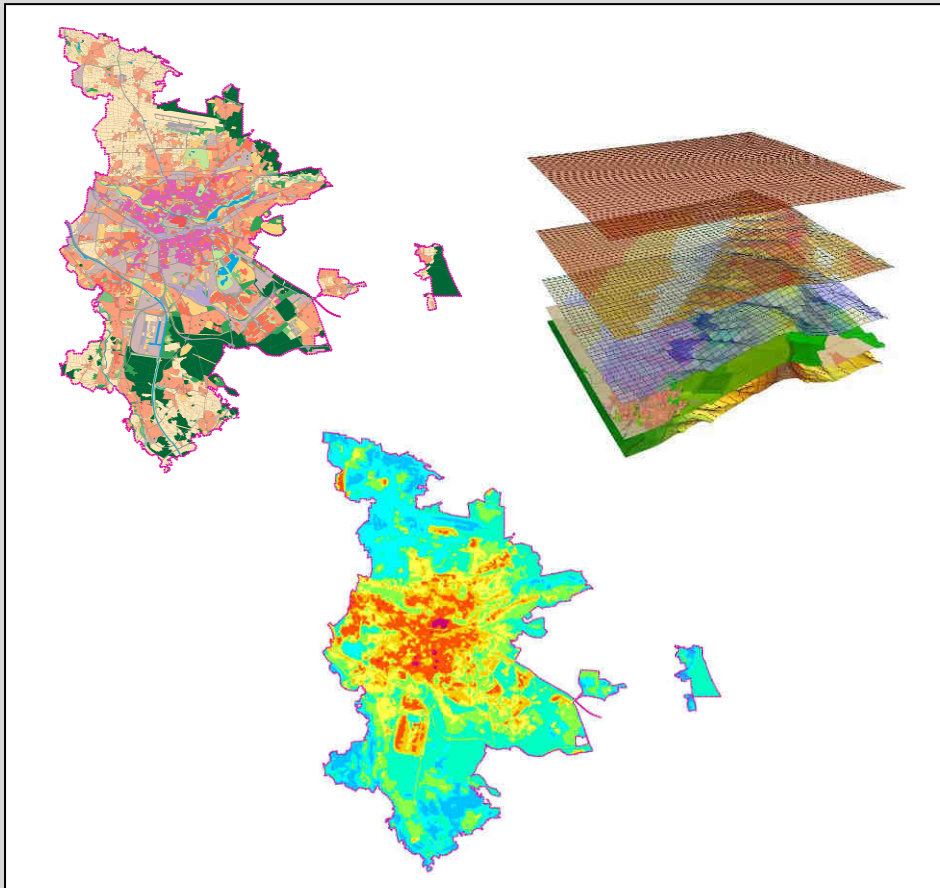


Stadtklimagutachten

Analyse der klimaökologischen Funktionen für das Stadtgebiet von Nürnberg



GEO-NET Umweltconsulting GmbH

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

Auftraggeber:



Stadt Nürnberg

Umweltamt
Lina-Ammon Straße 28
90471 Nürnberg

In Zusammenarbeit mit: Prof. Dr. G. Gross
Anerkannt beratender Meteorologe (DMG),
Öffentlich bestellter Gutachter für Kleinklima der IHK Hannover-Hildesheim

Hannover, Mai 2014

Inhaltsverzeichnis

Seite:

Inhaltsverzeichnis.....	I
Abbildungsverzeichnis.....	III
Tabellenverzeichnis.....	V
Anhangsverzeichnis	VI
1. Aufgabenstellung.....	7
2. Die klimatische Situation von Nürnberg	9
3 Methodik und Datengrundlagen der Stadtklimaanalyse.....	17
3.1 Eingangsdaten.....	17
3.1.1 Geländehöhe.....	18
3.1.2 Nutzungsstruktur	19
3.2 Methodik der Modellrechnung.....	22
3.2.1 Das mesoskalige Klimamodell FITNAH.....	22
3.2.2 Meteorologische Rahmenbedingungen für die Modellberechnung Kaltlufthaushalt.....	26
3.3 Methodik der Bewertung der klimaökologischen Nutzungsstrukturen	28
3.3.1 Grün- und Freiflächen	29
3.3.2 Bioklima in den Siedlungsflächen	30
3.3.3 Kaltluftleitbahnen.....	31
3.3.4 Planerische Bewertung von Grün- und Freiflächen und Siedlungsräumen	32
4. Ergebnisse der Modellrechnung	35
4.1 Das bodennahe Lufttemperaturfeld	35
4.2 Kaltluftproduktionsrate und Kaltluftentstehungsgebiete	44
4.3 Das nächtliche Strömungsfeld	46
4.4 Kaltluftvolumenstrom	50
5. Klimafunktionskarte	54
5.1 Grün- und Freiflächen.....	54
5.2 Siedlungsräume.....	59
5.3 Luftaustausch	67

6.	Planungshinweiskarte Stadtklima	70
6.1	Grün- und Freiflächen.....	70
6.2	Luftaustausch	78
6.3	Siedlungsräume.....	79
6.4	Bewertung der potentiellen Bauflächen in Nürnberg	82
6.5	Kleinräumige Maßnahmen zur Verbesserung der stadtklimatischen Situation	86
7.	Klimaökologische Detailauswertung Nürnberg „Tiefes Feld“	89
7.1	Aufgabenstellung.....	89
7.2	Datengrundlage und Aufbau der Geodatenbasis	91
7.2.1	Nutzungsstruktur	91
7.2.2	Geländehöhe	94
7.2.3	Das Plangebiet „Tiefes Feld“	94
7.3	Ergebnisse	97
7.3.1	Vorgehen bei der Modellierung	97
7.3.2	Lufttemperatur.....	98
7.3.3	Kaltluftströmungsfeld	101
7.3.4	Kaltluftvolumenstrom	105
7.3.5	Bioklimatische Situation	109
7.3.6	Planungsvarianten	113
7.4	Fazit.....	116
7.4.1	Allgemeine Ergebnisse	116
7.4.2	Planungshinweise	117
8.	Zusammenfassung	121
	Literatur	126
	Glossar	127

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1: Klimadiagramm Nürnberg-Kraftshof (Zeitraum 1956-2008).....	9
Abb. 2.2: Profilmessfahrt am 18.08.2011 durch das Stadtzentrum Nürnbergs	10
Abb. 2.3: Zahl der Sommertage an der Station Nürnberg-Kraftshof.....	11
Abb. 2.4: Jahresdurchschnitttemperatur Nürnberg-Flugwetterwarte, Betrachtungszeitraum 1961- 2100.....	12
Abb. 2.5: Anzahl der Hitzetage pro Jahr Nürnberg-Flugwetterwarte, Betrachtungszeitraum 1961- 2100.....	13
Abb. 2.6: Durchschnittliche Anzahl von Hitzewellen pro Jahr Nürnberg-Flugwetterwarte, Betrachtungszeitraum 1961- 2100.....	14
Abb. 2.7: Windrichtungsverteilung an der Station Nürnberg-Kraftshof.	15
Abb. 2.8: Prinzipskizze Flurwinde	16
Abb. 3.1: Eingangsdaten für die Modellrechnung	17
Abb. 3.2: Geländehöhe im Untersuchungsraum.....	18
Abb. 3.3: Nutzungsstruktur im Stadtgebiet	19
Abb. 3.4: Unterschiedliche Rasterweiten (links: 500 m x 500 m; rechts: 125 m x 125 m) bei einem digitalen Geländehöhenmodell	23
Abb. 3.5: Einfluss der Bebauungsdichte auf die Strömungsgeschwindigkeit	25
Abb. 3.6: Einfluss der Vegetation auf die Durchströmbarkeit einer Rasterzelle	26
Abb. 3.7: Temperaturverlauf und Vertikalprofil der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit für verschiedene Landnutzungen.....	27
Abb. 3.8: Schematische Darstellung des Bewertungsschemas für z-transformierte Parameter.	29
Abb. 3.9: Prinzipskizze einer Kaltluftleitbahn	32
Abb. 3.10: Vereinfachtes Verknüpfungsmodell zur Ermittlung der bioklimatischen Bedeutung der Grün- und Freiflächen.....	34
Abb. 4.1: Bodennahe Temperaturen in °C für den Zeitpunkt 4 Uhr morgens im Untersuchungsgebiet Nürnberg.....	37
Abb. 4.2: Die Altstadt Nürnbergs.....	39
Abb. 4.3: Detail-Ausschnitt: Temperaturverteilung Nürnberg-Mitte/-Ost.....	40
Abb. 4.4: Temperaturmessfahrten in der Altstadt Nürnbergs vom DWD München im Vergleich mit der FITNAH-Modellierung	41
Abb. 4.5: Temperaturmessfahrten in der Weststadt Nürnbergs vom DWD München im Vergleich mit der FITNAH-Modellierung	43

Abb. 4.6: Kaltluftproduktionsrate im Untersuchungsgebiet Nürnberg	45
Abb. 4.7: Windgeschwindigkeiten im Untersuchungsgebiet Nürnberg	47
Abb. 4.8: Kaltluftströmungsfeld und Windgeschwindigkeit im Vertiefungsraum Nürnberg-Mitte/-Ost	49
Abb. 4.9: Prinzipskizze Kaltluftvolumenstrom	50
Abb. 4.10: Kaltluftvolumenstrom zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens im Untersuchungsgebiet Nürnberg	52
Abb. 4.11: Kaltluftvolumenstrom zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens im Vertiefungsraum Nürnberg-Mitte/-Ost	53
Abb. 5.1: Ausschnitt Klimafunktionskarte im Bereich Westfriedhof (ohne Volumenstrom) mit Darstellung der Windvektoren	56
Abb. 5.2: Klimafunktionskarte/Ausschnitt Nürnberg-Nord.....	58
Abb. 5.3: Bioklimatische Situation der Siedlungsflächen in Nürnberg	60
Abb. 5.4: Klimafunktionen im Bereich Nürnberg-Mitte/-Ost	62
Abb. 5.5: Bilanz der bioklimatischen Situation der unterschiedlichen Siedlungstypen im Untersuchungsgebiet.	63
Abb. 5.6: Bioklimatisch ungünstige Siedlungsgebiete mit einer hohen Einwohnerdichte (weiße Schraffur) sowie Gebiete mit einer hohen Einwohnerdichte und einem hohen Anteil von Menschen über 65 Jahren und/oder Menschen im Alter von null bis drei (weiße Kreuzschraffur)	66
Abb. 5.7: Ausschnitt aus der Klimafunktionskarte: Nürnberg Zentrum mit Leitbahnen	67
Abb. 6.1: Planungshinweiskarte/Kartenausschnitt Nürnberg-Nord.....	73
Abb. 6.2: Bilanzierung der planerisch relevanten Grün- und Freiflächen.....	75
Abb. 6.3: Planungshinweiskarte: Ausschnitt Nürnberg-Mitte/-Ost	80
Abb. 6.4: Baupotentialflächen in Nürnberg	83
Abb. 7.1: Nutzungsstruktur im Ist-Zustand.....	92
Abb. 7.2: Gebäudehöhen im Untersuchungsgebiet.....	93
Abb. 7.3: Geländehöhe im Untersuchungsraum (Ist-Zustand)	94
Abb. 7.4: Geplante Bebauung des „Tiefen Felds“	95
Abb. 7.5: Geplante Nutzung im Tiefen Feld.....	96
Abb. 7.6: Untersuchungsaufbau	97
Abb. 7.7: Bodennahe Lufttemperatur um 04 Uhr – Istzustand (oben) und Planzustand (unten).....	99
Abb. 7.8: Differenz bodennahen Lufttemperatur um 04 Uhr zwischen Plan- und Istzustand.....	101

Abb. 7.9: Bodennahe Strömungsgeschwindigkeit der Kaltluft um 04 Uhr – Istzustand (oben) und Planzustand (unten)	103
Abb. 7.10: Differenz der Strömungsgeschwindigkeit um 04 Uhr	105
Abb. 7.11: Kaltluftvolumenstrom um 04 Uhr – Istzustand (oben) und Planzustand (unten)	107
Abb. 7.12: Differenz des Kaltluftvolumenstroms um 04 Uhr	109
Abb. 7.13: Bioklimatische Situation um 04 Uhr – Istzustand (oben) und Planzustand (unten)	112
Abb. 7.14: Veränderung der bioklimatischen Situation	113
Abb. 7.15: Planungsvariante „Gewässerfinger“	114

Tabellenverzeichnis

Tab. 3.1: Nutzungskategorien der Klimamodellierung mit Kennwerten zur Strukturhöhe und zum Versiegelungsgrad der einzelnen Nutzungsklassen	21
Tab. 3.2: Bewertung der Kaltluftlieferung in der Klimafunktionskarte	29
Tab. 3.3: Klassifizierung der bioklimatischen Situation und dafür typische Siedlungsstrukturen	31
Tab. 5.1: Qualitative Einordnung der Kaltluftlieferung von Grün- und Freiflächen im Stadtgebiet Nürnberg	55
Tab. 5.2: Große Kaltluftliefergebiete in Nürnberg	57
Tab. 5.2: Distrikte in ungünstigen Siedlungsgebieten mit einer hohen Einwohnerdichte	64
Tab. 5.3: Distrikte in ungünstigen Siedlungsgebieten mit einer hohen Einwohnerdichte und einem hohen Anteil alter und/oder junger Menschen	65
Tab. 5.4: Leitbahnen in Nürnberg	68
Tab. 6.1: Stadtklimatische Hinweise für Planungsentscheidungen zu Grün- und Freiflächen	77
Tab. 6.2: Stadtklimatische Hinweise für Planungsentscheidungen zu Siedlungsräumen	81
Tab. 6.3: Klimaökologisches Konfliktpotential der potentiellen Bauflächen in Nürnberg	82
Tab. 6.4: Kleinräumige Maßnahmen zur Verringerung der Wärmebelastung	88
Tab. 7.1: Qualitative Einordnung des Kaltluftvolumenstroms	106
Tab. 7.2: Klassifizierung der bioklimatischen Belastung der Siedlungsflächen während einer windschwachen Sommernacht	110
Tab. 7.3: Planungshinweise	120
Tab. 8.1: Leitbahnen in Nürnberg	122
Tab. 8.2: Große Kaltluftliefergebiete in Nürnberg	122

Anhangsverzeichnis

Anhang 1 – Kartenverzeichnis

Karte 1: Oberflächennahe Lufttemperatur während einer austauscharmen Strahlungswetternacht

Karte 2: Kaltluftproduktion während einer austauscharmen Strahlungswetternacht

Karte 3: Autochthones Strömungsfeld und Windgeschwindigkeit während einer austauscharmen Strahlungswetternacht

Karte 4: Kaltluftvolumenstrom und autochthones Strömungsfeld während einer austauscharmen Strahlungswetternacht

Karte 5: Bioklimatische Situation während einer austauscharmen Strahlungswetternacht

Karte 6: Klimafunktionskarte

Karte 7: Planungshinweiskarte

Karte 8: Klimaökologisches Konfliktpotential der potentiellen Bauflächen in Nürnberg

Anhang 2 – Maßnahmen-Katalog für die Stadt Nürnberg

Anhang 3 – Zusammenfassung Plangebiet „Tiefes Feld“

1. Aufgabenstellung

Das Schutzgut Klima ist ein wichtiger Aspekt der räumlichen Planung und Bestandteil der Abwägung in der Bauleitplanung und Umweltverträglichkeitsprüfung. Vor dem Hintergrund konkurrierender Planungsziele ist das Vorliegen flächenbezogener Fachinformationen ein wichtiges Hilfsmittel zur sachgerechten Beurteilung dieses Schutzgutes. Aus der Kenntnis des in einer Stadt vorherrschenden Lokalklimas, die dadurch mitbestimmte lufthygienische Situation und den klimatischen Funktionszusammenhängen lassen sich Schutz- und Entwicklungsmaßnahmen zur Verbesserung von Klima und Luft ableiten. Dieser Leitgedanke gilt der Sicherung, Entwicklung und Wiederherstellung klimaökologisch wichtiger Oberflächenstrukturen und zielt somit ab auf die Erhaltung und Verbesserung günstiger bioklimatischer Verhältnisse, die Unterstützung gesundheitlich unbedenklicher Luftqualität und das Angebot besonderer Lokalklimate.

Im Auftrag der Stadt Nürnberg wurde vom Büro GEO-NET Umweltconsulting GmbH in Kooperation mit Prof. Dr. G. Gross (Universität Hannover) im Jahr 2013 eine modellgestützte Analyse zu den klimaökologischen Funktionen für das Stadtgebiet Nürnberg durchgeführt. Im Vordergrund standen dabei austauscharme sommerliche Hochdruckwetterlagen, die häufig mit einer überdurchschnittlich hohen Wärmebelastung in den Siedlungsräumen sowie lufthygienischen Belastungen einhergehen. Unter diesen meteorologischen Rahmenbedingungen können nächtliche Kalt- und Frischluftströmungen aus dem Umland und innerstädtischen Grün- und Freiflächen zum Abbau der Belastungen beitragen.

Auf Basis von Modellsimulationen mit dem Klimamodell FITNAH (Flow over Irregular Terrain with Natural and Anthropogenic Heat Sources) kann eine umfassende Bestandsaufnahme der klimatischen Situation im Stadtgebiet von Nürnberg erstellt werden. Die Untersuchungen haben zum Ziel, die unterschiedlichen Teilflächen der Stadt Nürnberg nach ihren klimatischen Funktionen, d.h. ihrer Wirkungen auf andere Räume, abzugrenzen und die klimaökologisch wichtigen Raumstrukturen herauszuarbeiten.

Analyse der stadtklimatischen Zusammenhänge

Das Ergebnis ist eine aktuelle, komplexe und hochauflösende Karte der klimaökologischen Funktionen (Klimafunktionskarte). Als Grundlage für die Bewertung dienen die modellierten meteorologischen Parameter der Klimaanalyse.

Methodischer Ausgangspunkt für die Analyse der klimaökologischen Funktionen ist die Gliederung des Stadtgebietes in:

- bioklimatisch belastete Siedlungsräume (*Wirkungsräume*) einerseits und
- Kaltluft produzierende, unbebaute und vegetationsgeprägte Flächen andererseits (*Ausgleichsräume*).
- Sofern diese Räume nicht unmittelbar aneinander grenzen und die Luftaustauschprozesse stark genug ausgeprägt sind, können linear ausgerichtete, gering überbaute Grün- oder Freiflächen (*Kaltluftleitbahnen*) beide miteinander verbinden.

Aus der Abgrenzung von Gunst- und Ungunsträumen sowie der verbindenden Strukturen ergibt sich somit ein komplexes Bild vom Prozesssystem der Luftaustauschströmungen des Ausgleichsraum-Wirkungsraum-Gefüges in Form einer Klimafunktionskarte.

Im Gegensatz zu punkthaften Messungen liegen mit dem modellgestützten Ansatz flächendeckende Daten zum Kaltlufthaushalt für das gesamte Stadtgebiet vor. Darüber hinaus werden in einem weiteren Schritt die Empfindlichkeiten dieser Funktionen gegenüber strukturellen Veränderungen bewertet und in Form einer *Planungshinweiskarte* dargestellt. Die Umsetzung in raumspezifische klimaökologische Qualitätsziele mündet in der Forderung nach Handlungsempfehlungen. Durch konkrete Zuordnung planungsrelevanter Aussagen zu den wichtigen, das klimaökologische Prozessgeschehen steuernden Strukturelementen wie z.B. Kaltluftentstehungsflächen können Flächen benannt werden, die in ihrem Bestand gesichert und vor negativen Einflüssen geschützt werden sollten. Andererseits werden Belastungsräume mit einem Mangel an Durchlüftung identifiziert.

Die im Rahmen der vorliegenden Untersuchung eingesetzte Methode bietet gegenüber einer Thermalscannerbefliegung, die lediglich die Oberflächentemperaturen erfassen kann den Vorteil, dass das Luftaustauschgeschehen und die Verhältnisse der bodennahen Atmosphäre umfassend abgebildet werden. Des Weiteren ermöglicht nur die numerische Simulation eine Prognose der Auswirkungen zukünftiger städtebaulicher Entwicklungen.

Das methodische Vorgehen (Modell, Verfahren, Bewertungsansätze) erlaubt fundierte Aussagen für den Maßstabsbereich 1 : 50 000 bis 1 : 20 000 (FNP-Ebene). Eine abschätzende Beurteilung der Auswirkungen von Planungsmaßnahmen ist aber auch auf Bebauungsplanebene gegeben.

2. Die klimatische Situation von Nürnberg

Die Stadt Nürnberg lässt sich klimatisch dem Mittelgebirgsraum zuordnen. Sie liegt im Mittelfränkischen Becken. Dieser Bereich ist von einem Übergangsklima geprägt, das weder ausgeprägte kontinentale noch maritime Einflüsse aufweist. Die topographische Lage der Stadt innerhalb des Mittelfränkischen Beckens und die Begrenzung durch die Fränkische Alb im Osten beeinflussen das Klima zudem. In den Sommermonaten kann es dadurch verstärkt zur Ausprägung hoher Temperaturen im Stadtgebiet Nürnbergs kommen.

Nach der Klimaklassifikation von Köppen-Geiger zählt Franken, einschließlich Nürnberg, insgesamt zum warm gemäßigten Regenlima (Cfb-Klima), bei dem die mittlere Lufttemperatur des wärmsten Monats unter 22 °C und die des kältesten Monats über –3 °C bleibt. Abbildung 2.1 zeigt für die Klimastation Nürnberg-Kraftshof durchschnittliche Monatsmittelwerte von Niederschlag (in mm) und Lufttemperatur (in °C) für den Zeitraum 1956 bis 2008, die einen charakteristischen Verlauf für diese Klimazone aufweisen. Die Messstation liegt außerhalb des verdichteten Stadtgebietes von Nürnberg in der Nähe des Flughafens. Das Klimadiagramm repräsentiert eine Zwischenstellung zwischen den inneren Stadtgebieten und der ländlichen Umgebung.

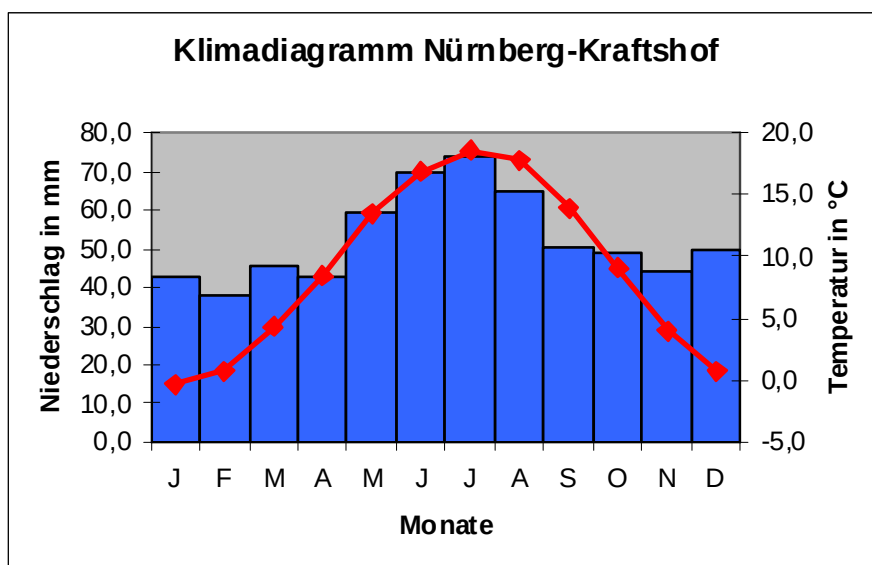


Abb. 2.1:
Klimadiagramm Nürnberg-Kraftshof (Zeitraum 1956-2008).

Monatsmittelwerte der Niederschlagsmengen in mm (blaue Balken) und der Lufttemperatur in °C (rote Kurve).
(Datengrundlage: DWD, bereitgestellt von der Stadt Nürnberg)

Vom Deutschen Wetterdienst wurden im Rahmen der Bewerbung der Stadt Nürnberg zum Modellvorhaben „Urbane Strategien zum Klimawandel – Kommunale Strategien und Potenziale“ als Teil des Forschungsfeldes „Experimenteller Wohnungs- und Städtebau“ (ExWoSt) in der Zeit vom Frühsommer 2010 bis Ende 2011 verschiedene Temperaturmessungen im Stadtgebiet von Nürnberg durchgeführt, um unterschiedliche Temperaturverteilungen innerhalb der Stadt zu untersuchen. Dies erfolgte durch stationäre Klimastationen, Profilmessfahrten und Thermobuttons¹. Besonders die Profilmessfahrten ermöglichen es, die kleinräumige Variabilität der der Temperatur innerhalb des Stadtgebiets Nürnbergs aufzuzeigen. Deutlich wird, dass sich die

¹ S. Glossar

Bereiche in der Nähe der Pegnitz mit angrenzenden Grünbereichen, aber auch der Westfriedhof, klimatisch günstiger darstellen. Besonders hohe Temperaturen wiesen bei allen Fahrten die dicht bebauten Stadtteile, insbesondere die baulich stark verdichtete Altstadt, auf. Bei einer Messfahrt am Abend eines heißen Tages (18.08.2011, etwa 20.30 Uhr, Maximaltemperatur knapp über 30°C) konnten Temperaturunterschiede von über 3 K (Kelvin) zwischen der Insel Schütt und den dicht bebauten Gebieten der Altstadt gemessen werden. Ebenfalls geringe Werte wurden in stark verschatteten Bereichen der Altstadt gemessen (vgl.: Abb. 2.2). (DWD, 2012)

Differenzen zur tiefsten Lufttemperatur in Kelvin Nürnberg - Profilstrecke 1 und 2

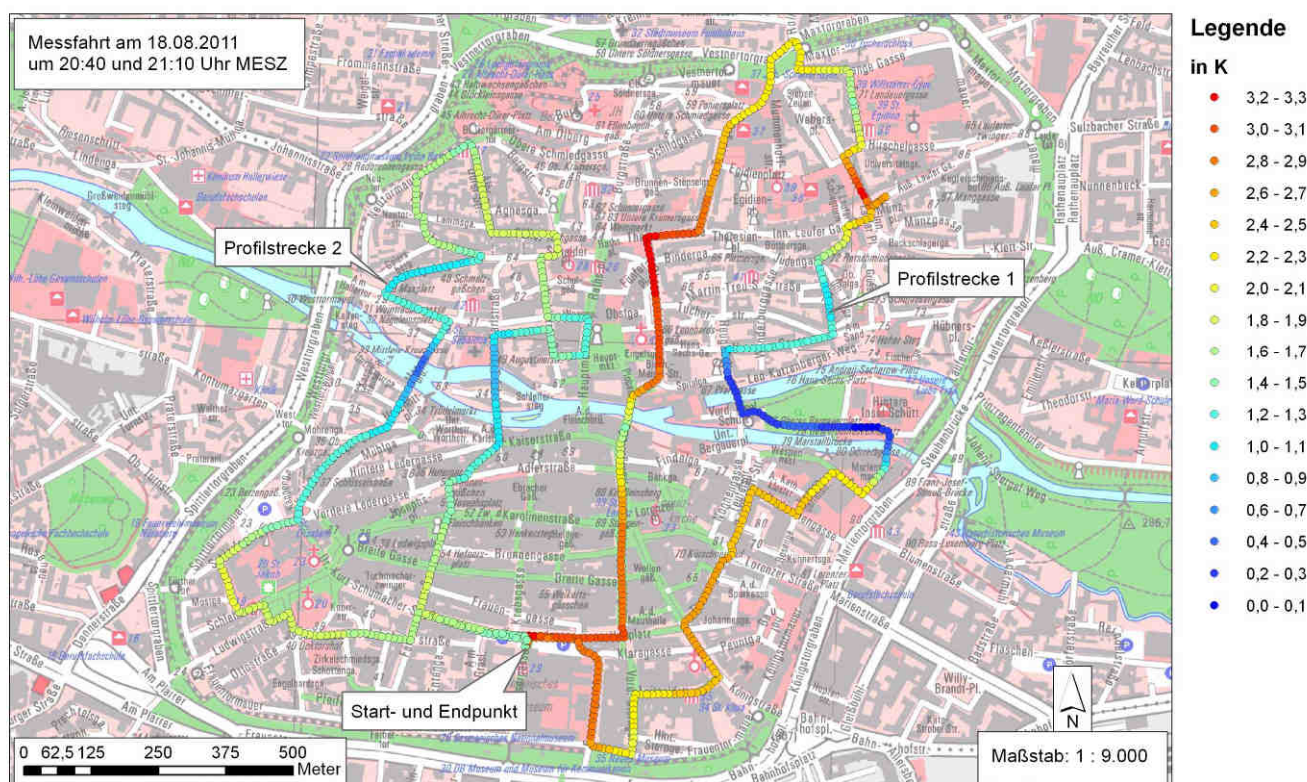


Abb. 2.2: Profilmessfahrt am 18.08.2011 durch das Stadtzentrum Nürnbergs
(Quelle: DWD 2012, bereitgestellt von der Stadt Nürnberg)

Das langjährige Jahresmittel (1961-2008) der Lufttemperatur beträgt an der Station Nürnberg-Kraftshof 9°C. In den letzten 80 Jahren ist allerdings die Zahl der Sommertage (Tage mit einer Höchsttemperatur von $\geq 25^{\circ}\text{C}$) tendenziell angestiegen, wie an der Trendlinie in Abbildung 2.3 zu erkennen ist. Die höchste Anzahl wurde 2003 mit 85 Sommertagen verzeichnet.

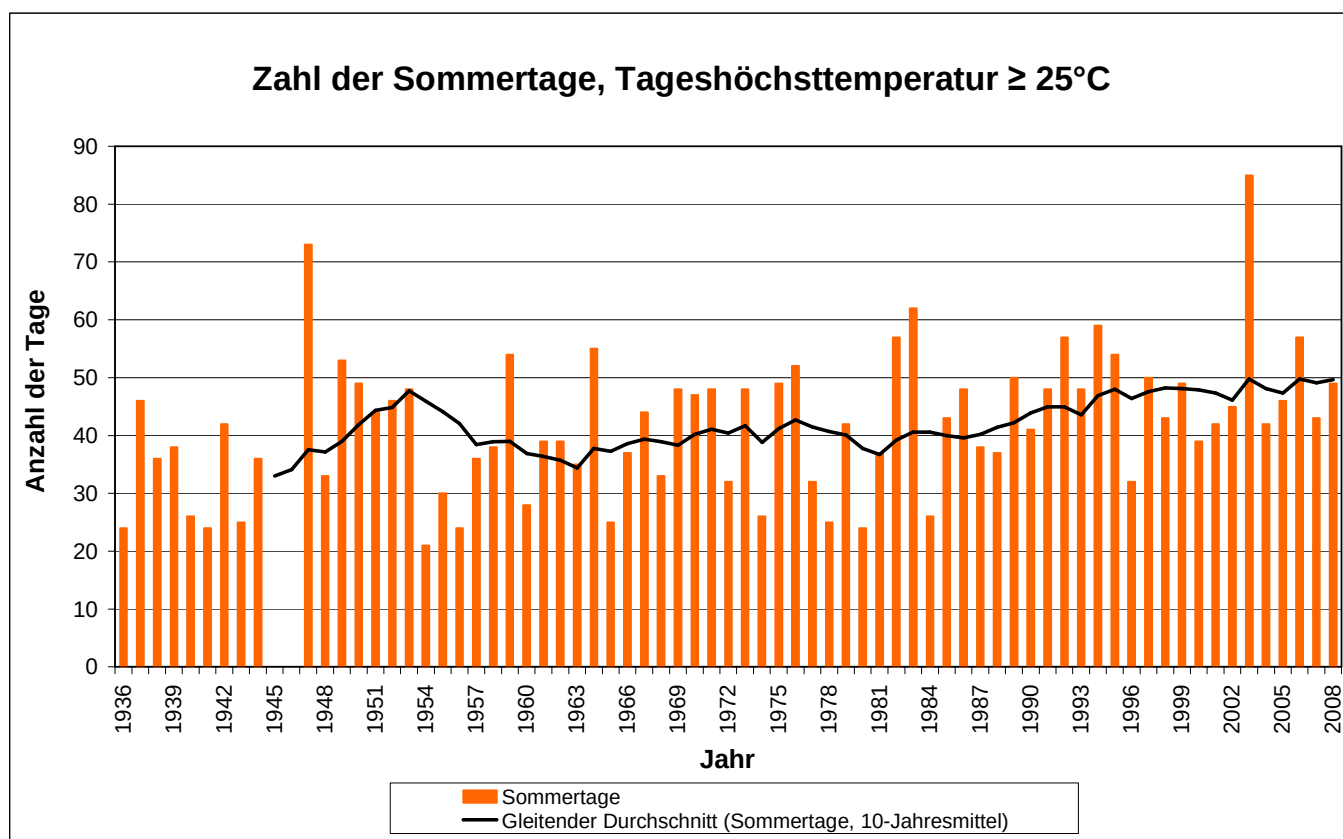


Abb. 2.3: Zahl der Sommertage an der Station Nürnberg-Kraftshof.
(Quelle: DWD, bereitgestellt von der Stadt Nürnberg)

Die jährliche Niederschlagssumme in Nürnberg beträgt im Durchschnitt etwa 630 mm. Im Mittel fällt an etwa 170 Tagen im Jahr $\geq 0,1$ mm Niederschlag. Der Hauptanteil der Niederschläge fällt im Sommer, wenn durch stärkere Einstrahlung Schauer und Gewitter auftreten. Im Sommer überwiegen daher die kurzen aber intensiven Schauerniederschläge, während im Winterhalbjahr eher lang anhaltende, mit einem Frontdurchgang verbundene Niederschläge auftreten. In den letzten 20 Jahren wurden an der Station Nürnberg-Kraftshof 18 Starkregenereignisse mit einem Niederschlag von ≥ 30 mm in 24 Stunden gemessen. (DWD, bereitgestellt von der STADT NÜRNBERG)

Auch die mögliche Entwicklung des Klimas in der Zukunft spielt vor allem für die Klimaanpassung eine wichtige Rolle. Im Folgenden sollen kurz die wichtigsten Prognosen für das Bioklima im Hinblick auf die Temperaturentwicklung dargestellt werden. Hierbei wird auf das Klimamodell WETTREG 2010², Szenario A1B, Kli-

² S. Glossar

mastation Nürnberg-Flugwetterwarte zurückgegriffen. Dargestellt werden die gemittelten Werte aus 10 Modellläufen.

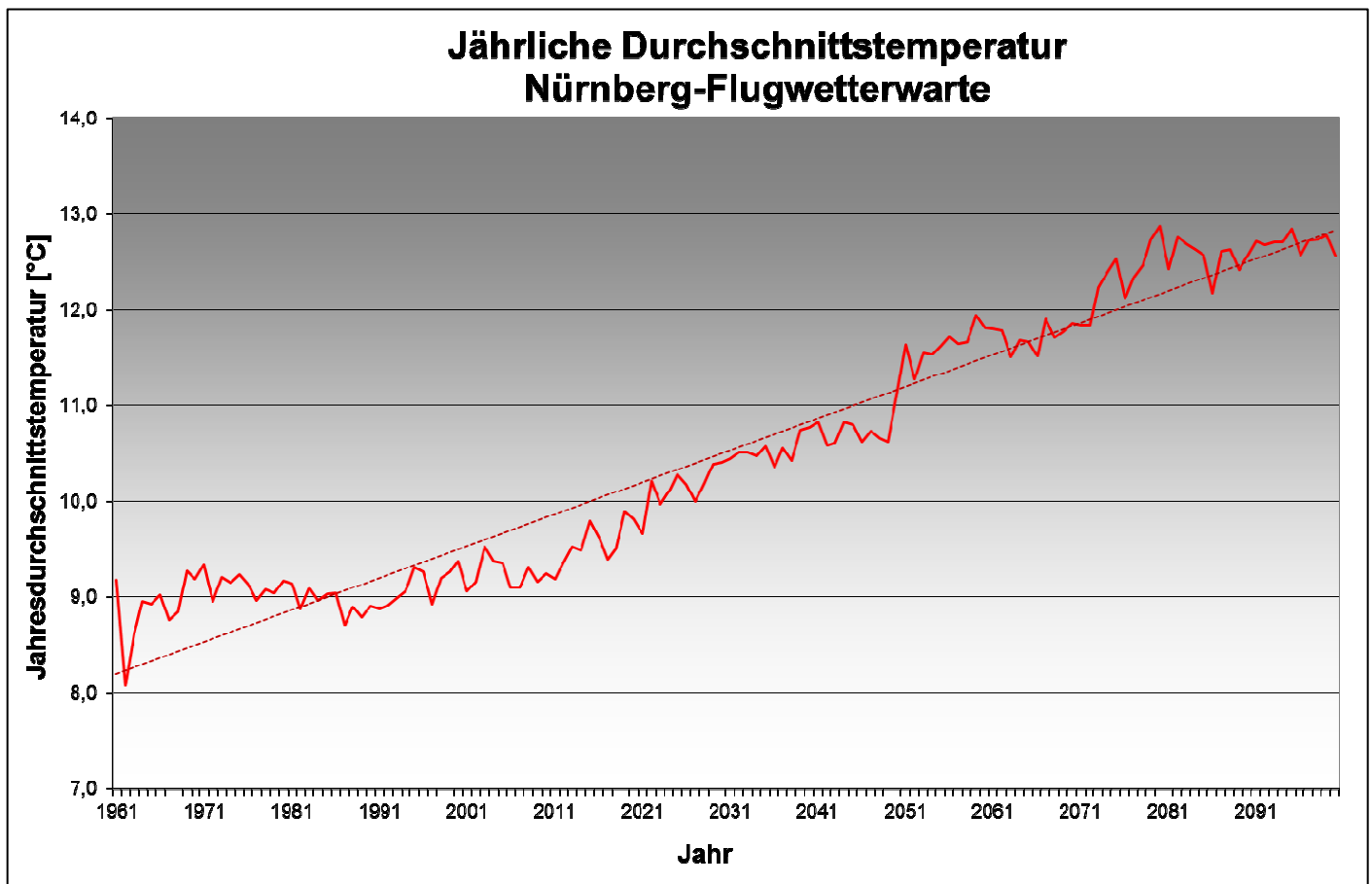


Abb. 2.4: Jahresdurchschnittstemperatur Nürnberg-Flugwetterwarte, Betrachtungszeitraum 1961- 2100
WETTREG 2012-Simulation, Szenario A1B, (gestrichelte Linie = linearer Trend)

Abbildung 2.4 zeigt die modellierte Jahresdurchschnittstemperatur an der Klimastation Nürnberg-Flugwetterwarte für den Zeitraum 1961 - 2100. Prognostiziert wird ein Anstieg der Jahresmitteltemperaturen auf 12,6°C im Jahre 2100. Der höchste prognostizierte Jahresmittelwert wird im Jahre 2080 mit 12,9°C erreicht. Damit wird ein deutlicher Anstieg der Jahresmitteltemperaturen von etwa 3,5°C bis zum Ende des Jahrhunderts im Vergleich zur heutigen Situation vorhergesagt. Diese Entwicklung der steigenden Temperaturen wird auch bei der Betrachtung der Entwicklung der Hitzetage in Nürnberg deutlich. In Abbildung 2.5 wird die Anzahl der Hitzetage pro Jahr für den Zeitraum 1961 bis 2100 begleitet von einer polynomischen Trendlinie dargestellt. Es ist ein deutlicher Anstieg der Hitzetage pro Jahr zu erkennen. Im Jahr 2100 werden 46,8 Tage im Jahr mit einer Temperatur $\geq 30^{\circ}\text{C}$ prognostiziert, während es für das Jahr 2014 lediglich 10,4 Tage sind. Für den menschlichen Organismus sind vor allem Hitzetage belastend. Davon betroffen sind insbesondere ältere oder sehr junge Menschen, aber auch Menschen, die schwere körperliche Arbeiten verrichten müssen. Aus diesem Grund ist die Betrachtung der Entwicklung von Hitzewellen insbesondere interessant, denn je länger die hohen Temperaturen andauern, desto stärker ist auch die Belastung für den menschlichen Organismus.

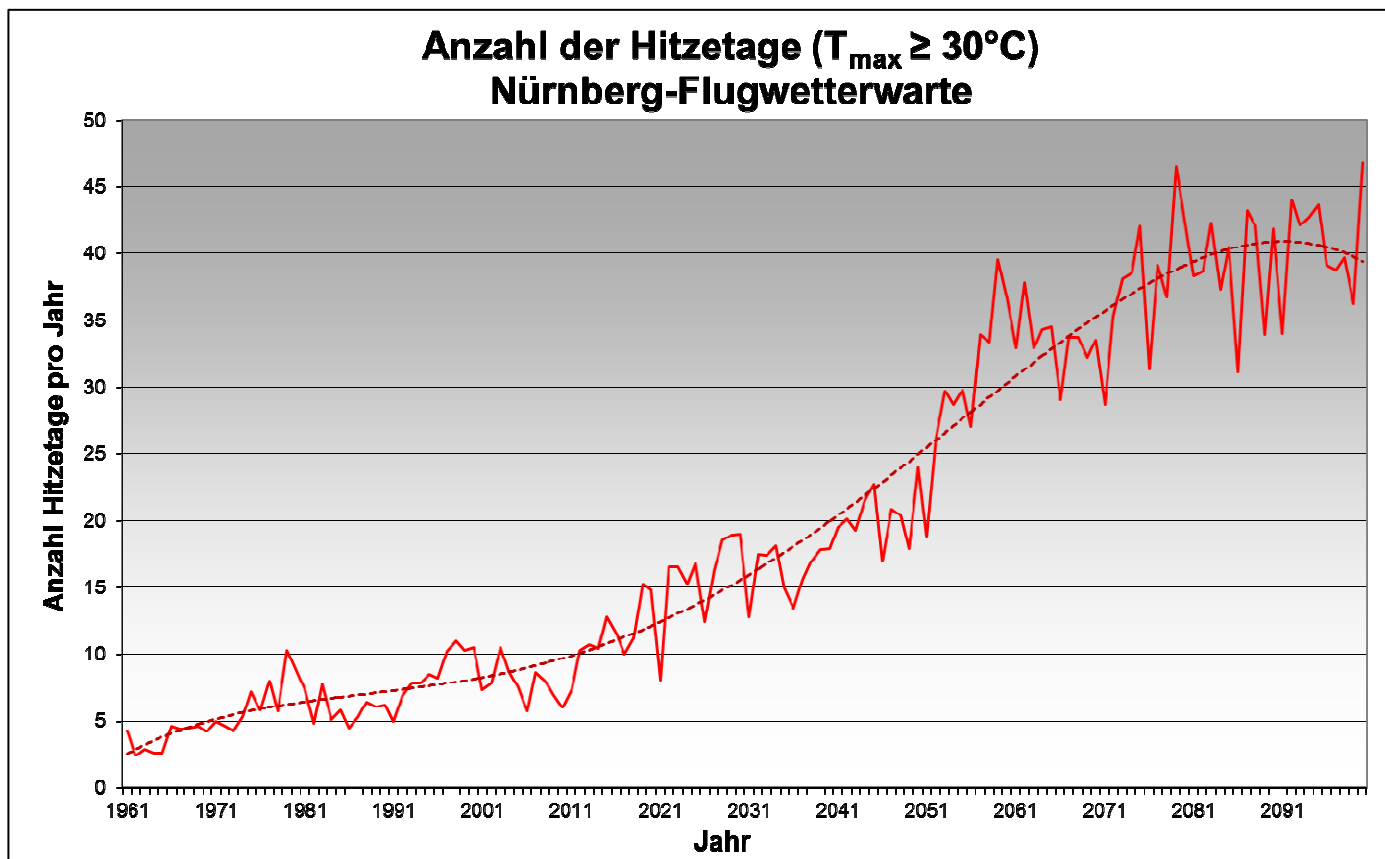


Abb. 2.5: Anzahl der Hitzetage pro Jahr Nürnberg-Flugwetterwarte, Betrachtungszeitraum 1961- 2100
WETTREG 2012-Simulation, Szenario A1B, (gestrichelte Linie = polynomischer Trend)

Der Begriff Hitzewelle ist nicht klar definiert. Temperaturschwellenwerte und andere Rahmenbedingungen (z.B.: Luftfeuchte oder Dauer) unterscheiden sich je nach Land oder Region. Grund dafür sind die klimatischen Unterschiede, die auch eine unterschiedliche Akklimatisierung der Bevölkerung (bezogen auf einen gesunden Menschen durchschnittlichen Alters) an hohe Temperaturen mit sich bringen. In Deutschland gibt es keine offizielle Definition einer Hitzewelle. Für dieses Gutachten werden mindestens 5 Tage mit Maximaltemperaturen über 30°C als Hitzewelle angenommen.

Abbildung 2.6 zeigt die Entwicklung der durchschnittlichen Anzahl von Hitzewellen für die Station Nürnberg-Flugwetterwarte. Der zunächst noch schwache Anstieg erhöht sich etwa ab dem Jahr 2010 deutlich. Werden 2010 noch 0,3 Hitzewellen projiziert, sind es im Jahr 2083 4,3 Hitzewellen. In den Jahren danach ist wieder ein kleiner Rückgang von Hitzewellen pro Jahr zu erkennen. Die Anzahl von 2,8 Hitzewellen im Jahr 2100 ist dennoch wesentlich höher als zu Beginn des Jahrhunderts.

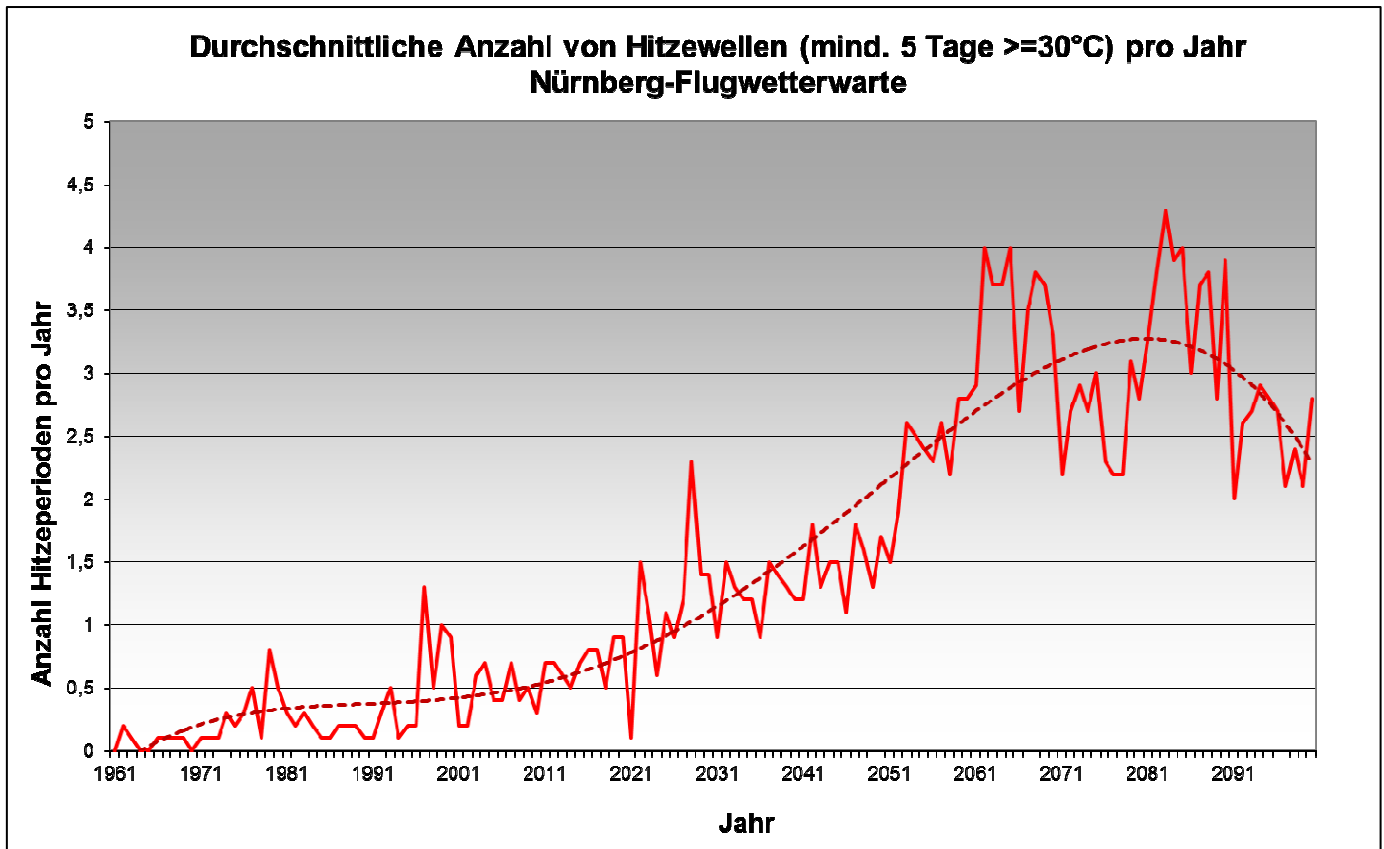


Abb. 2.6: Durchschnittliche Anzahl von Hitzewellen pro Jahr Nürnberg-Flugwetterwarte, Betrachtungszeitraum 1961- 2100
WETTREG 2012-Simulation, Szenario A1B, (gestrichelte Linie = polynomischer Trend)

Angesichts dieses hier kurz dargestellten Trends der Temperaturentwicklungen für die nächsten Jahre und der zunehmenden Häufigkeit von Extremtemperaturen wird deutlich, wie wichtig Maßnahmen zum Klimaschutz und Klimaanpassung für die Erhaltung gesundheitlich möglichst günstiger Lebensbedingungen in den Städten sind.

Abbildung 2.7 zeigt die Windrichtungsverteilung an der Station Nürnberg-Kraftshof. Links ist die Tagsituation zu sehen, rechts die Nachtsituation. Es wird deutlich, dass in den Tagesstunden die westlichen Anströmungen dominieren, während Winde aus Südost vor allem nachts auftreten. Dieses tagesperiodische Windsystem ist auf die Lage der Stadt Nürnberg im Mittelfränkischen Becken mit der im Osten angrenzenden Fränkischen Alb zurückzuführen. Dieses Windgeschehen ist für die Stadt Nürnberg grundsätzlich positiv einzuschätzen, da durch die Ostwinde kühle saubere Luft aus dem im Osten der Stadt angrenzenden Nürnberger Reichswald in die verdichteten Gebiete transportiert werden kann (DWD, 2012).

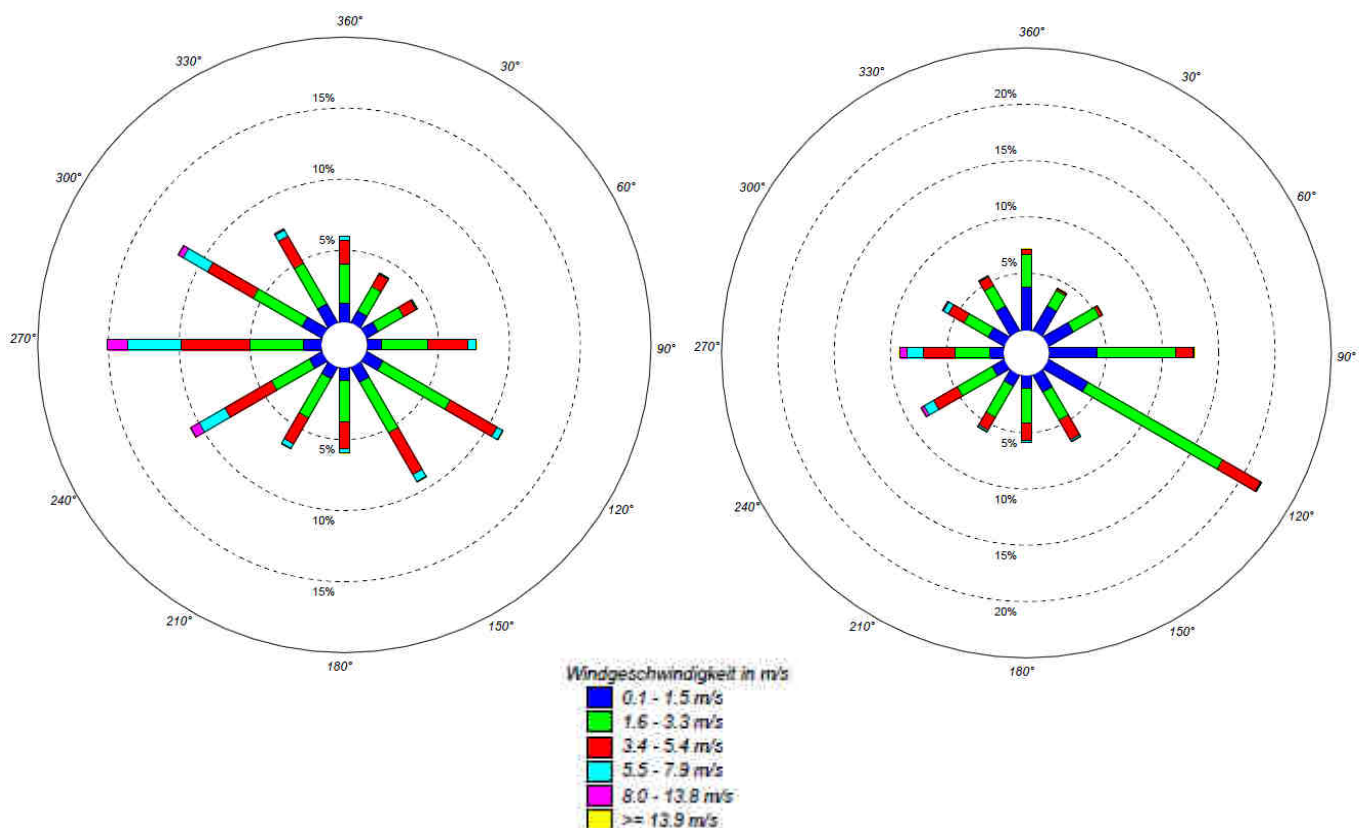


Abb. 2.7: Windrichtungsverteilung an der Station Nürnberg-Kraftshof.

Links: Tagsituation: 01.01.2000 – 31.12.2009; 07-18 h

Rechts: Nachtsituation: 01.01.2000 – 31.12.2009; 19-06 h

Im Ballungsraum Nürnberg entstehen durch anthropogene Einflüsse spezielle Stadtklimate, die sich unter anderem durch Wärmeinseleffekte auszeichnen. Im Sommer führen sie zu höheren Temperaturen und bioklimatischen Belastungen in den Siedlungsflächen, die Beeinträchtigungen des Wohlbefindens und der Gesundheit der Bewohner zur Folge haben können.

Solche belastenden Wettersituationen entstehen bei Hochdruckwetterlagen und sind durch einen ausgeprägten Tagesgang der Strahlung, Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Wind und Bewölkung geprägt. Diese Wetterlagen werden als autochthone (eigenbürtige) Wetterlagen bezeichnet (s. Glossar). Unter diesen Rahmenbedingungen kommt es tagsüber zu einem konvektiven Aufsteigen von warmer Luft über dem überwärmten Stadtkörper. Als Folge dessen treten sogenannte Flurwinde als Ausgleichsströmungen auf, die bodennah zu

einem Zuströmen kühlerer Luft aus dem Umland führen. Solche Strömungen sind auf einen überwärmten Bereich ausgerichtet und fließen bevorzugt über gering bebaute Flächen in die Stadt ein (Abb. 2.8). Die neutralen bis labilen Temperaturschichtungen, die tagsüber während sommerlicher Hochdrucklagen vorliegen, bewirken, dass den Flurwinden häufig eine geringe Höhenströmung überlagert ist. Das Aufsteigen von Warmluftblasen verursacht zusätzlich eine Böigkeit der bodennah nachströmenden Luft, so dass die Ausgleichsströmungen insgesamt weniger sensibel auf Strömungshindernisse reagieren.

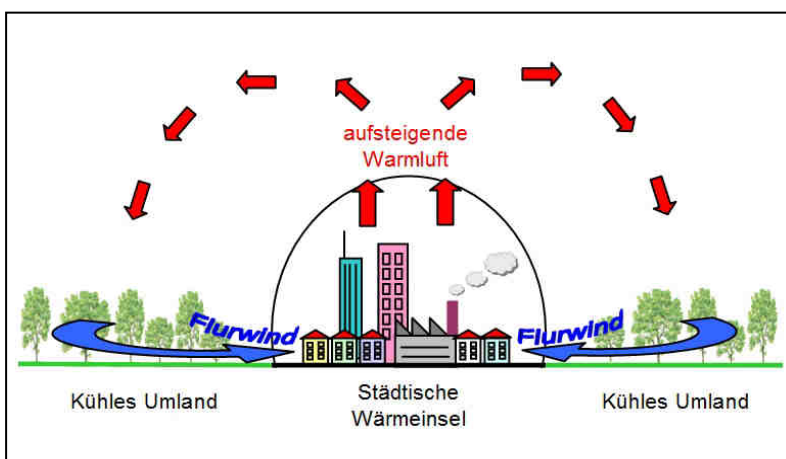


Abb. 2.8: Prinzipskizze Flurwinde

In den Nachtstunden sind autochthone Wetterlagen dagegen durch eine stabile Temperaturschichtung der unteren Luftschichten gekennzeichnet. Damit wird eine vertikale Durchmischung unterbunden und eine ggf. überlagerte Höhenströmung hat keinen Einfluss mehr auf das bodennahe Strömungsfeld. Durch lokal unterschiedliche Abkühlungsraten entstehen Temperatur- und damit Dichteunterschiede, die zu Ausgleichsströmungen führen. Während der nächtlichen Abkühlung fließt dann kühlere Umgebungsluft aus stadtnahen Grün- oder Freiflächen in das wärmere Stadtgebiet ein. Da der Zustrom bodennah, mit geringen Strömungsgeschwindigkeiten erfolgt, kann dieser Luftaustausch nur entlang von Flächen ohne blockierende Strömungshindernisse, auf sogenannten Leitbahnen erfolgen. Da die nächtlichen Ausgleichsströmungen auf Grund ihrer insgesamt geringeren Dynamik leicht durch Hindernisse und Rauigkeiten abgeschwächt werden können, werden für eine Ausweisung der wichtigen Leit- und Ventilationsbahnen die nächtlichen Ausgleichsströmungen analysiert. Leitbahnen, die Kaltluft produzierende Flächen mit überwärmten Stadtgebieten verbinden sind wichtige Bestandteile für ein günstiges Stadtklima und daher besonders schützenswert.

Austauscharme Wetterlagen können weiterhin vor allem im Winter mit überdurchschnittlich hohen Schadstoffkonzentrationen verbunden sein, wenn es zur Ausbildung von Inversionen und einem Ansammeln von freigesetzten Schadstoffen, zum Beispiel aus Hausbrand oder Verkehr, in der bodennahen Luftschicht kommt. Für eine Minderung von Belastungssituationen ist es auch hier wichtig, eine gute Durchlüftung des Stadtgebietes zu gewährleisten.

Im Rahmen der durch Modellsimulationen unterstützten Klimaaanalyse sollen die bioklimatischen Belastungen einzelner Bereiche der Stadt bestimmt sowie für das Stadtklima wichtige Kaltluftproduktionsflächen und Kaltluftleitbahnen analysiert werden.

3 Methodik und Datengrundlagen der Stadtklimaanalyse

3.1 Eingangsdaten

Bei numerischen Simulationen muss zur Festlegung und Bearbeitung einer Aufgabenstellung eine Reihe von Eingangsdaten zur Verfügung stehen (Abb. 3.1). Diese müssen zum einen die Landschaft charakterisieren für welche die lokalklimatische Studie durchgeführt werden soll und zum anderen auch die größerskaligen meteorologischen Rahmenbedingungen wie Wetterlage oder Klimaszenario definieren.

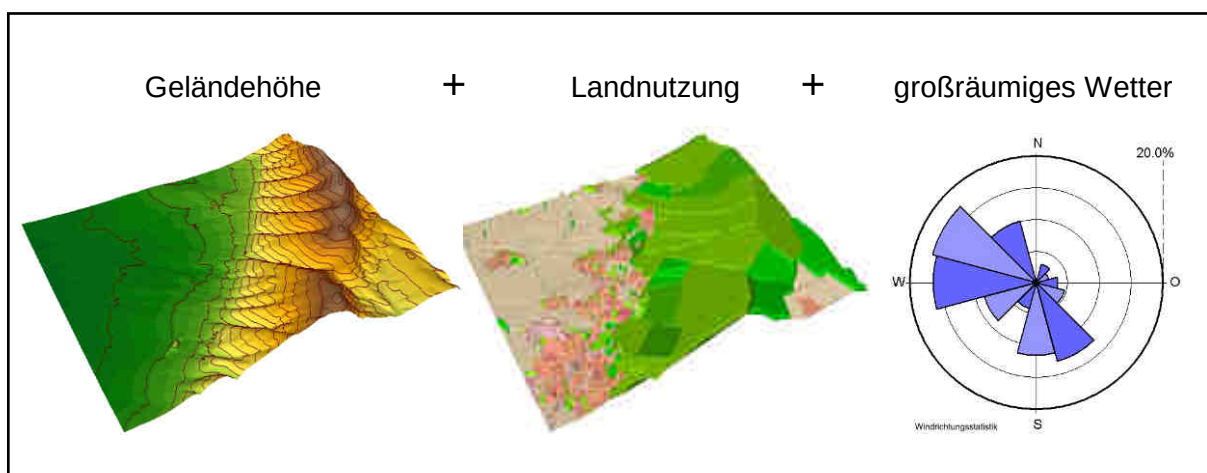


Abb. 3.1: Eingangsdaten für die Modellrechnung

Alle Eingangsdaten müssen jeweils als repräsentativer Wert für eine Rasterzelle bereitgestellt bzw. definiert werden:

- Geländedaten (z.B. Geländehöhe, Neigung, Orientierung)
- Nutzungsdaten (Verteilung der Landnutzung)
 - o Bei urbanen Räumen: z.B. Gebäudehöhe, Überbauungsgrad, anthropogene Abwärme, Albedo,.....
 - o Bei Bewuchs: z.B. Bestandshöhe, Bestandsdichte, Blattflächenverteilung,...
- Wetter-/Klimadaten (z.B. großräumige Anströmungsrichtung und –geschwindigkeit, Luftmassencharakteristiken wie Temperatur und Feuchte).

Bei einer Gesamtgröße des Untersuchungsgebietes von ca. 600 km² geht die Abgrenzung des Untersuchungsraumes deutlich über das Stadtgebiet Nürnberg hinaus und zielt darauf ab, auch die außerhalb der Stadtgrenzen liegenden Gelände- und Nutzungsstrukturen in die Klimamodellierung zu integrieren. Somit ist gewährleistet, dass alle für den Kaltlufthaushalt relevanten Struktureinheiten berücksichtigt werden. Die für die FITNAH-Modellierung vorgesehene Rasterzellenauflösung beträgt 50 m.

3.1.1 Geländehöhe

Zur Bereitstellung der orographischen Eingangsparameter für die modellgestützte Klimaanalyse konnte auf ein digitales Geländehöhenmodell der Stadt Nürnberg mit einer Auflösung von 1 m zurückgegriffen werden. Für das nähere Umland wurde das Geländemodell durch DTED-Höhendaten ergänzt (Digital Terrain Elevation Data - NGA 2004). Darauf basierend wurde das für die Modellrechnung erforderliche Raster mit einer Auflösung von 50 m erzeugt. Abbildung 3.2 zeigt die Geländehöhen im Untersuchungsgebiet.

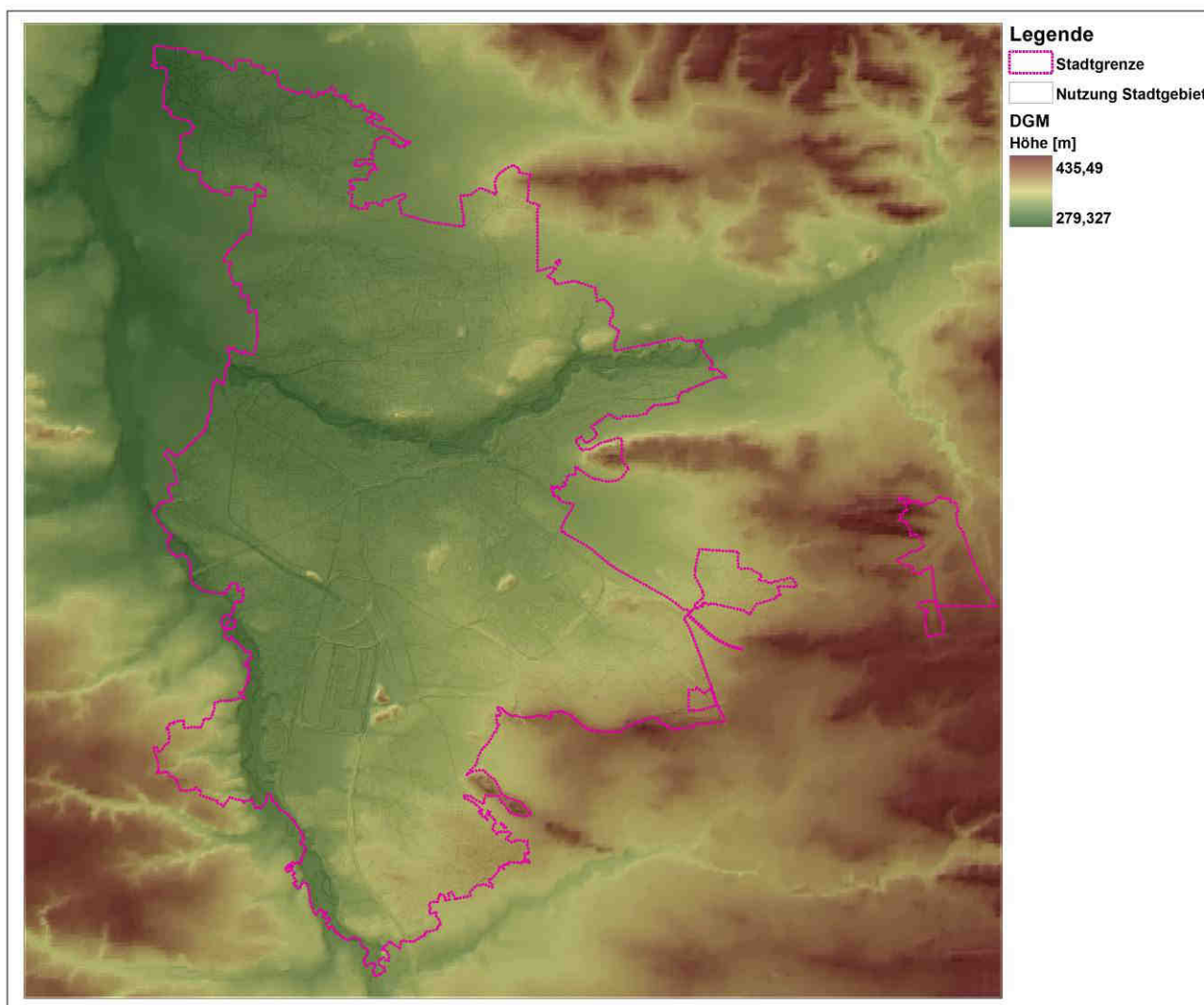


Abb. 3.2: Geländehöhe im Untersuchungsraum

Die höchsten Erhebungen mit Höhen von etwa 430 m ü. NN sind am östlichen und nordöstlichen Rand des Untersuchungsgebiets im Nürnberger Reichswald zu finden. Die niedrigsten Geländehöhen mit etwa 280 m über NN liegen in den Niederungen der Pegnitz, der Rednitz und des Main-Donau-Kanals. Die Pegnitz durchfließt das Untersuchungsgebiet von Nordosten in einem Bogen nach Nordwesten, während der Main-Donau-Kanal und die Rednitz das westliche Untersuchungsgebiet von Norden nach Süden durchqueren. Im Recherchegebiet treten somit Höhendifferenzen bis etwa 150 m zwischen den Flussniederungen im Westen und dem Nürnberger Reichswald im Osten auf.

3.1.2 Nutzungsstruktur

Für die Aufbereitung der Nutzungsstrukturen wurde die Flächennutzungstypenkartierung unter Einbezug des Flächennutzungsplans der Stadt Nürnberg herangezogen (STADT NÜRNBERG 1991/92; Fortschreibung 2010). Für die Areale außerhalb des Stadtgebietes, für die keine detaillierten Nutzungsdaten vorlagen, sind Corine-Landnutzungsinformationen zum Aufbau der Geodatenbasis herangezogen worden (EUROPEAN COMMISSION 1994). Die Nutzungsstruktur im Stadtgebiet zeigt Abbildung 3.3.

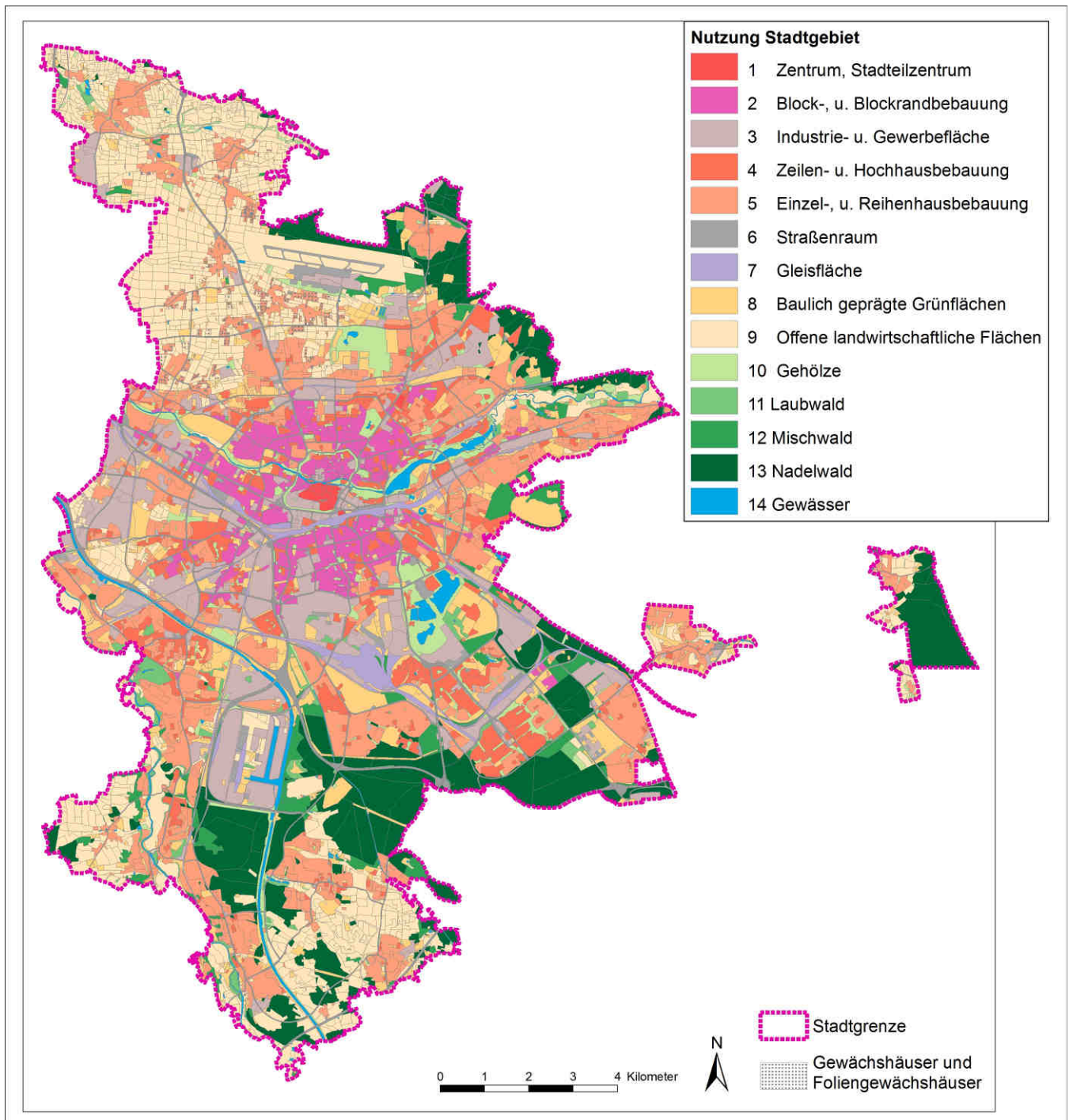


Abb. 3.3: Nutzungsstruktur im Stadtgebiet

Ein wichtiger Modelleingangsparameter stellt darüber hinaus die Höhe der Baustrukturen dar, welche einen wesentlichen Einfluss auf das lokale Windfeld ausüben. Da auf Maßstabsebene der gesamtstädtischen Klimamodellierung keine Einzelgebäude aufgelöst wurden, sind für die Einordnung der Strukturhöhe und des Oberflächenversiegelungsgrades nutzungsklassifiziert vorliegende Literaturdaten (u.a. MOSIMANN et al. 1999) genutzt worden, die auf Untersuchungsergebnissen aus mehreren deutschen Städten beruhen. Um den speziellen Anforderungen der Modellanalyse gerecht werden zu können, wurde bei der Aufbereitung der Nutzungsstrukturen ein vereinfachter, 14-klassiger Nutzungsschlüssel verwendet. Der Schlüssel wurde vor allem auch dahingehend definiert, eine problemlose Zuweisung des mittleren Versiegelungsgrades auf Basis der in den Eingangs- und Literaturdaten vorkommenden Nutzungsklassifizierungen möglich zu machen. In einem weiteren Schritt wurden unter Verwendung von Luftbildern, die durch die Stadt Nürnberg bereitgestellt wurden, die Datenpunkte der Modellrechnung überprüft und gegebenenfalls ergänzt. Damit war es beispielsweise möglich, über die in der Kartierung der Stadt Nürnberg enthaltenen Informationen hinaus zusätzliche Grünanteile innerhalb von Siedlungsbereichen zu erfassen und deren klimatische Wirkung zu berücksichtigen. Die verwendeten Nutzungskategorien zeigt Tab. 3.1.

Für die Klimamodellierung ist weniger die Nutzungsart relevant als vielmehr die Nutzungsstruktur und damit der Flächentyp. Maßgeblichen Einfluss auf die meteorologischen Parameter üben die Flächeneigenschaften wie z.B. Versiegelungsgrad, Bebauungsdichte und Strukturhöhe aus. Daher gilt es eine Einstufung zu finden, welche am ehesten die strukturelle Eigenschaft einer Fläche widerspiegelt. Aus der Verknüpfung der unterschiedlichen Quellen ist somit eine aktuelle Informationsebene zur Realnutzung, Strukturhöhe und Oberflächenversiegelung aufgebaut worden. Für die Modellrechnung zum Kaltlufthaushalt, auf dessen Grundlage die Klimafunktions- und Planungshinweiskarte beruht, ist eine einheitliche Rasterauflösung von 50 m x 50 m verwendet worden.

Klasse	Flächentyp	Beschreibung	Mittlerer Versiegelungsgrad (%)	Mittlere Strukturbhöhe (m)
1	Zentrum, Stadtteilzentrum	Kerngebietsnutzung, welche durch einen sehr hohen Bebauungs- und Versiegelungsgrad gekennzeichnet ist.	95	25,0
2	Block- und Blockrandbebauung	Vergleichsweise dicht bebaute und häufig auch stark versiegelte Siedlungsfläche. Baustrukturell ist sie meist durch geschlossene Blockinnenhöfe geprägt. Sie umfasst sowohl Vorkriegs- als auch Nachkriegsbauten.	78	15,0
3	Industrie- und Gewerbefläche	Sie weist einen ähnlich hohen Versiegelungsgrad wie die Zentrumsbebauung auf, gleichzeitig ist der versiegelte Flächenanteil oft größer als der mit Gebäuden bestandene.	87	10,0
4	Zeilen- und Hochhausbebauung	Zu diesem Flächentyp zählen sowohl freistehende Punkthochhäuser als auch halboffene Blockrandbebauung und Zeilenbebauung. Gemeinsames Merkmal ist ein relativ hoher Grün- und Freiflächenanteil, welcher sich durch die zwischen den Gebäudekörpern befindlichen Abstandsflächen ergibt.	55	15,0
5	Einzel- und Reihenhausbebauung	Dieser Typ weist unter den Siedlungsräumen den geringsten Überbauungsgrad auf. Der Übergang zwischen dicht ausgeprägter Reihenhausbebauung und einer Zeilenbebauung ist fließend.	41	5,0
6	Straßenraum	Ebenerdig versiegelte Fläche des Straßenraums.	95	0,0
7	Gleisfläche	Schienenverkehrsfläche mit geringer Strukturbhöhe.	25	0,5
8	Baulich geprägte Grün- und Freifläche	Unter diesem Flächentyp sind vegetationsgeprägte Flächen zusammengefasst, welche zugleich auch einen gewissen Anteil an versiegelter Fläche (Zuwegungen) und/oder Bebauung aufweisen. Dazu zählen z.B. Kleingartenanlagen und Gartenbauflächen, sowie Spiel- und Sportplätze. Es überwiegt aber letztlich die Eigenschaft als Grünfläche.	25	5,0
9	Offene landwirtschaftliche Flächen	Beinhaltet vor allem landwirtschaftlich genutzte Wiesen und Weiden sowie ackerbaulich genutzte Flächen. Innerstädtisch handelt es sich meist um Rasenflächen mit geringem Gehölzanteil.	5	1,0
10	Gehölz	Diese Nutzungskategorie umfasst sowohl innerstädtische Parkareale und Gehölzflächen als auch Obstbauflächen, Baumschulen und Straßenbegleitgrün.	5	2,0
11	Laubwald	Waldflächen sowie waldartige Bestände im Siedlungsbereich.	5	12,5
12	Mischwald			
13	Nadelwald			
14	Gewässer	Still- und Fließgewässer.	0	0

Tab. 3.1: Nutzungskategorien der Klimamodellierung mit Kennwerten zur Strukturbhöhe und zum Versiegelungsgrad der einzelnen Nutzungsklassen

3.2 Methodik **der Modellrechnung**

3.2.1 **Das mesoskalige Klimamodell FITNAH**

Allgemeines

Neben globalen Klimamodellen und regionalen Wettervorhersagemodellen wie sie zum Beispiel vom Deutschen Wetterdienst für die tägliche Wettervorhersage routinemäßig eingesetzt werden, nehmen kleinräumige Modellanwendungen für umweltmeteorologische Zusammenhänge im Rahmen von stadt- und landschaftsplanerischen Fragestellungen einen immer breiteren Raum ein. Die hierfür eingesetzten meso- (und) mikroskaligen Modelle erweitern das Inventar meteorologischer Werkzeuge zur Berechnung atmosphärischer Zustände und Prozesse.

Der Großteil praxisnaher umweltmeteorologischer Fragestellungen behandelt einen Raum von der Größenordnung einer Stadt oder einer Region. Die bestimmenden Skalen für die hier relevanten meteorologischen Phänomene haben eine räumliche Erstreckung von Metern bis hin zu einigen Kilometern und eine Zeitdauer von Minuten bis hin zu Stunden. Unter Verwendung des üblichen Einteilungsschemas meteorologischer Phänomene werden diese in die Mikro- und Mesoskala eingeordnet. Beispiele für solche Phänomene in der Mesoskala sind der Einfluss orographischer Hindernisse auf den Wind wie Kanalisierung und Umströmungseffekte, Land-See-Winde, Flurwinde und das Phänomen der urbanen Wärmeinsel oder, als mikroskaliges Phänomen, Düseneffekte in Straßen.

Obwohl die allgemeine Struktur und die physikalischen Ursachen dieser lokalklimatischen Phänomene im Allgemeinen bekannt sind, gibt es nach wie vor noch offene Fragen hinsichtlich der räumlichen Übertragung auf andere Standorte oder bezüglich der Wechselwirkungen einzelner Strömungssysteme untereinander. Ein Grund hierfür sind die relativ kleinen und kurzen Skalen der mesoskaligen Phänomene und deren unterschiedlichem Erscheinungsbild in komplexem Gelände, was es extrem schwierig macht, mit Hilfe einer beschränkten Anzahl von Beobachtungen eine umfassende Charakterisierung zu erhalten. Mit Hilfe ergänzender Modelluntersuchungen kann dieser Nachteil überwunden werden.

Beginnend mit einem Schwerpunktprogramm der Deutschen Forschungsgemeinschaft (1988) wurden gerade in Deutschland eine Reihe mesoskaliger Modelle konzipiert und realisiert. Der heutige Entwicklungsstand dieser Modelle ist hoch und zusammen mit den über die letzten Dekaden gewonnenen Erfahrungen im Umgang mit diesen Modellen steht neben Messungen vor Ort und Windkanalstudien ein weiteres leistungsfähiges und universell einsetzbares Werkzeug zur Bearbeitung umweltmeteorologischer Fragestellungen in kleinen, stadt- und landschaftsplanerisch relevanten Landschaftsausschnitten zur Verfügung.

Grundlagen mesoskaliger Modelle

Die Verteilung der lokalklimatisch relevanten Größen wie Wind und Temperatur können mit Hilfe von Messungen ermittelt werden. Aufgrund der großen räumlichen und zeitlichen Variation der meteorologischen Felder im Bereich einer komplexen Umgebung sind Messungen allerdings immer nur punktuell repräsentativ

und eine Übertragung in benachbarte Räume selten möglich. Mesoskalige Modelle wie FITNAH bieten den Vorteil, dass sie physikalisch fundiert die räumlichen und/oder zeitlichen Lücken zwischen den Messungen schließen können, weitere meteorologische Größen berechnen, die nicht gemessen wurden, und Wind- und Temperaturfelder in ihrer 3-dimensionalen Struktur ermitteln. Die Modellrechnungen bieten darüber hinaus die Möglichkeit, Planungsvarianten und Ausgleichsmaßnahmen in ihrer Wirkung und Effizienz zu studieren und auf diese Art und Weise optimierte Lösungen zu finden.

Grundgleichungen

Für jede meteorologische Variable wird eine physikalisch fundierte mathematische Berechnungsvorschrift aufgestellt. Alle mesoskaligen Modelle basieren daher, wie Wettervorhersage- und Klimamodelle auch, auf einem Satz sehr ähnlicher Bilanz- und Erhaltungsgleichungen. Das Grundgerüst besteht aus den Gleichungen für die Impulserhaltung (Navier-Stokes Bewegungsgleichungen), der Massenerhaltung (Kontinuitätsgleichung) und der Energieerhaltung (1. Hauptsatz der Thermodynamik).

Je nach Problemstellung und gewünschter Anwendung kann dieses Grundgerüst noch erweitert werden um z.B. die Effekte von Niederschlag auf die Verteilung der stadtklimatologisch wichtigen Größen zu berücksichtigen. In diesem Falle müssen weitere Bilanzgleichungen für Wolkenwasser, Regenwasser und feste Niederschlagspartikel gelöst werden. Die Lösung des Gleichungssystems erfolgt in einem numerischen Raster. Die Rasterweite muss dabei so fein gewählt werden, dass die lokalklimatischen Besonderheiten des Untersuchungsraumes vom mesoskaligen Modell erfasst werden können. Je feiner das Raster gewählt wird, umso mehr Details und Strukturen werden aufgelöst (vgl. Abb. 3.4).

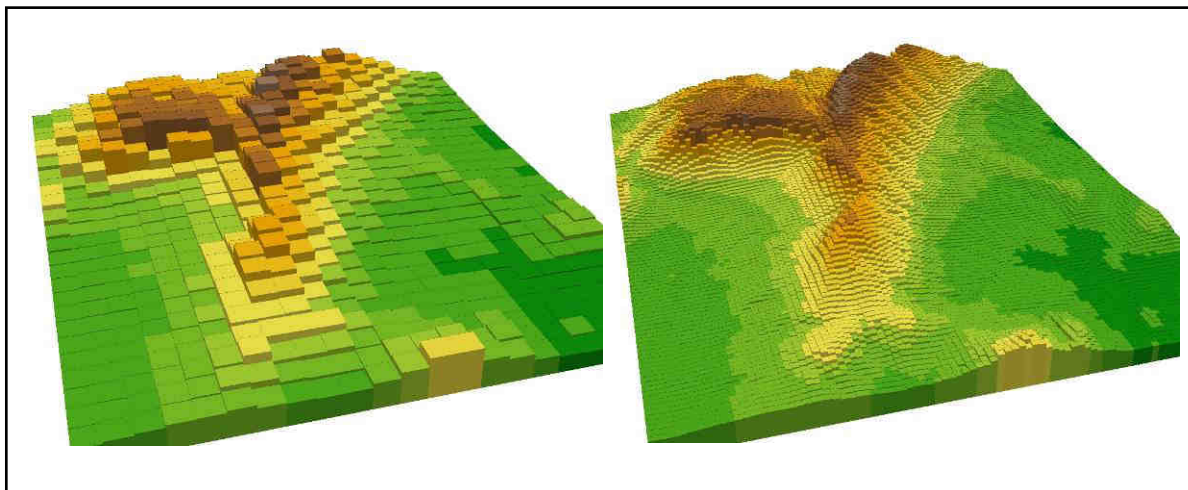


Abb. 3.4: Unterschiedliche Rasterweiten (links: 500 m x 500 m; rechts: 125 m x 125 m) bei einem digitalen Geländehöhenmodell

Allerdings steigen mit feiner werdender Rasterweite die Anforderungen an Rechenzeit und an die benötigten Eingangsdaten. Hier muss ein Kompromiss zwischen Notwendigkeit und Machbarkeit gefunden werden. Die für die Modellierung mit FITNAH hier verwendete horizontale Maschenweite Δx beträgt 50 m. Bei allen Modellrechnungen ist die vertikale Gitterweite nicht äquidistant und in Bodennähe sind die Rechenflächen besonders dicht angeordnet, um die starke Variation der meteorologischen Größen in der bodennahen atmo-

sphärischen Grenzschicht realistisch zu erfassen. So liegen die untersten Rechenflächen in Höhen von 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50 und 70 m. Nach oben hin wird der vertikale Abstand Δz immer größer und die Modellobergrenze liegt in einer Höhe von 3000 m über Grund. In dieser Höhe wird angenommen, dass die am Erdboden durch Orographie und Landnutzung verursachten Störungen abgeklungen sind. Die Auswertungen der FITNAH-Modellierung beziehen sich auf das bodennahe Niveau der Modellrechnung (2 m über Grund = Aufenthaltbereich der Menschen).

Parametrisierungen

Das mesoskalige Modell FITNAH berechnet alle meteorologischen Variablen als mittlere Werte für das entsprechende Raster. Mit der Rasterweite wird somit auch die Dimension der räumlich noch auflösbaren Strukturen festgelegt. Typische Rasterweiten sind 25m x 25m bis 1000m x 1000m. Sie decken damit den Maßstabsbereich von 1:20 000 bis 1:100 000 ab. Dies korrespondiert mit der Planungsebene Flächennutzungsplan bzw. Regionalplan. Sind diese Strukturen von ihrer räumlichen Ausprägung her kleiner als die Rasterweite, ist das Modell nicht in der Lage diese zu berechnen (beispielsweise können einzelne Wolken in globalen Klimamodellen nicht berechnet werden). Ist nun aber bekannt, dass solche vom Modell nicht erfassbaren Strukturen relevante Auswirkungen auf die lokalklimatischen Größen haben die berechnet werden sollen, so müssen diese in geeigneter Weise berücksichtigt werden. Eine Möglichkeit ist dabei die Darstellung der summarischen Effekte der nicht aufgelösten Strukturen durch die vom Modell berechneten Variablen (Parametrisierung).

Die beiden wichtigsten Strukturen, die bei stadtklimatischen Fragestellungen berücksichtigt werden müssen, sind einzelne Gebäude und der Baumbestand. Diese sind von ihrer räumlichen Dimension allerdings so klein, dass sie üblicherweise durch das gewählte Rechengitter nicht erfasst werden können und somit parametrisiert werden müssen. In bebautem Gelände stellen sich die einzelnen Gebäude der Strömung in den Weg und verzögern diese. Lokal kann es zwar durch Düseneffekte auch zu einer Beschleunigung des Windes kommen, die summarische Wirkung über eine Rasterzelle mit Gebäuden ist aber eine Verzögerung. Gleichzeitig wird durch die Vielzahl der unterschiedlichen Hindernisse die Turbulenz verstärkt. Auch die Temperaturverteilung wird in starkem Maße modifiziert, da die in die bodennahe Atmosphäre ragenden Baukörper bis zur mittleren Bauhöhe in einem Wärmeaustausch mit der Umgebung stehen. Diese Effekte können über einen Porositätsansatz berücksichtigt werden. Einzelne Gebäude füllen nur einen Anteil des Volumens aus, welches durch das horizontale Raster und die Anordnung der Rechenflächen in der Vertikalen aufgespannt wird. Dieses Verhältnis bestimmt dann die Porosität (Abb. 3.5). Das Rastervolumen kann folglich nur noch zu einem geringen Anteil durchströmt werden, wobei die Porosität als gleichmäßig verteilt angenommen wird.

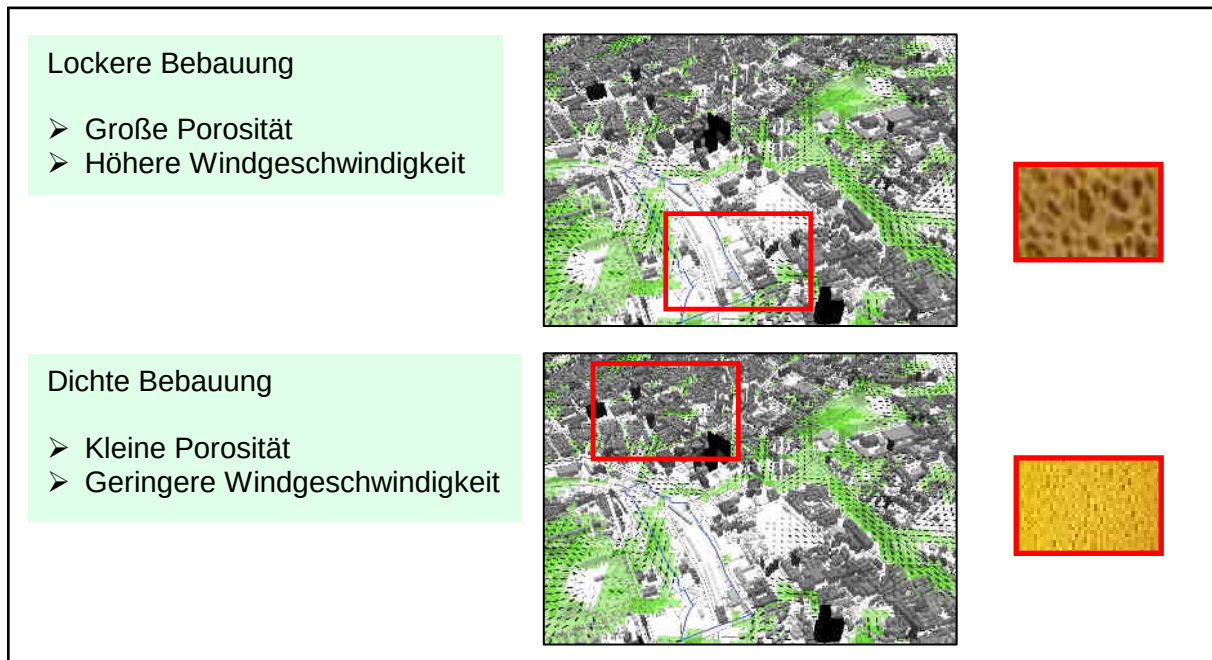


Abb. 3.5: Einfluss der Bebauungsdichte auf die Strömungsgeschwindigkeit

Eine Strömung ist nur noch in den offenen Poren möglich, was zu einer deutlichen Reduzierung der mittleren Geschwindigkeit führt. Die Temperatur wird durch die gebäudespezifischen Parameter wie Gebäudehöhe, Überbauungsgrad oder anthropogene Abwärme bestimmt und modifiziert damit das Temperaturfeld der bodennahen Atmosphäre bis in die mittlere Höhe der Bebauung (Grundlagen und Beschreibung: Groß, 1989).

Ein vorhandener Baumbestand kann über die Baumhöhe, die Bestandsdichte und die Baumart charakterisiert werden. Auch diese Bestandsstrukturen sind so klein, dass sie in der Mesoskala nicht vom Raster des Modells aufgelöst werden können und damit parametrisiert werden müssen. Eine solche Parametrisierung muss in der Lage sein, die Windberuhigung im Bestand, die Erhöhung der Turbulenz im oberen Kronenraum und die nächtliche Abkühlung bzw. die mittägliche Erwärmung im oberen Kronendrittel in Übereinstimmung mit Beobachtungen zu erfassen (Abb. 3.6). Bei FITNAH werden zusätzliche Terme in das Gleichungssystem eingeführt, die zum einen über einen Widerstandsterm die Modifizierung des Windfeldes gewährleistet und zum anderen den Strahlungshaushalt im Bereich eines Baumbestandes modifiziert (Grundlagen und Beschreibung: Groß, 1993).

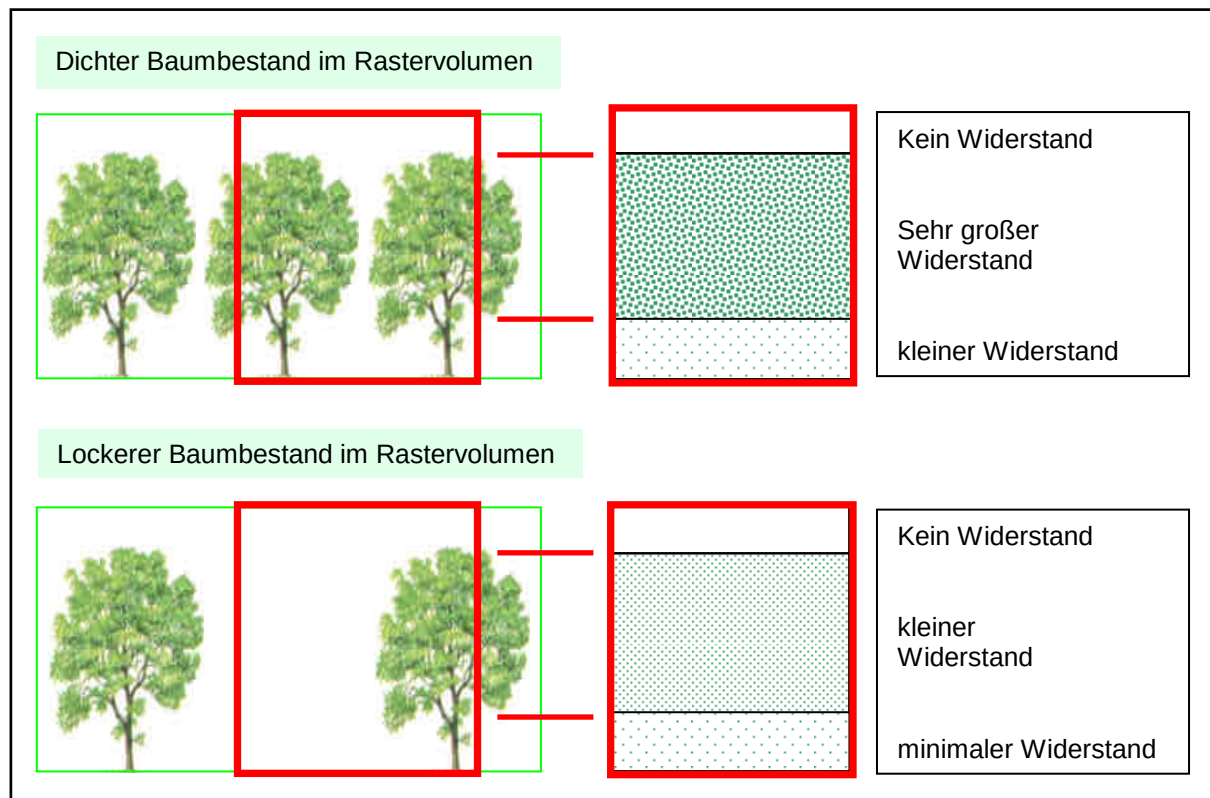


Abb. 3.6: Einfluss der Vegetation auf die Durchströmbarkeit einer Rasterzelle

Die beschriebenen Parametrisierungen sind geeignet, die aus Beobachtungen her bekannten, charakteristischen Veränderungen der verschiedenen meteorologischen Variablen im Bereich von Städten und Wäldern mit FITNAH zu berechnen.

3.2.2 Meteorologische Rahmenbedingungen für die Modellberechnung Kaltlufthaushalt

Während autochthoner Wetterlagen können sich die lokalklimatischen Besonderheiten einer Landschaft besonders gut ausprägen. Eine solche Wetterlage wird durch wolkenlosen Himmel und einen nur sehr schwachen überlagernden Höhenwind gekennzeichnet. Bei den hier durchgeführten numerischen Simulationen werden die großräumigen meteorologischen Rahmenbedingungen wie folgt festgelegt:

- Bedeckungsgrad 0/8 (wolkenlos)
- kein überlagernder Höhenwind
- relative Feuchte der Luftmasse 50%

Die vergleichsweise geringen Windgeschwindigkeiten bei einer austauscharmen Wetterlage bedingen vor allem nachts einen herabgesetzten Luftaustausch in der bodennahen Luftschicht. Treten diese Wetterlagen im Sommerhalbjahr auf, können sich bei gleichzeitiger hoher Ein- und Ausstrahlung somit lokal bioklimatische und lufthygienische Belastungsräume ausbilden. Charakteristisch für sommerliche Hochdruckwetterlage ist die Entstehung eigenbürtiger Kaltluftströmungen während der Nachtstunden, die durch den Temperaturgradienten zwischen kühlen Grün- oder Freiflächen und wärmeren Siedlungsräumen angetrieben werden.

In Abb. 3.7 sind der simulierte tageszeitliche Verlauf (Tagesgang) der Lufttemperatur in Bodennähe sowie Vertikalprofile der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit für die Landnutzungen Freiland, Stadt und Wald schematisch dargestellt.

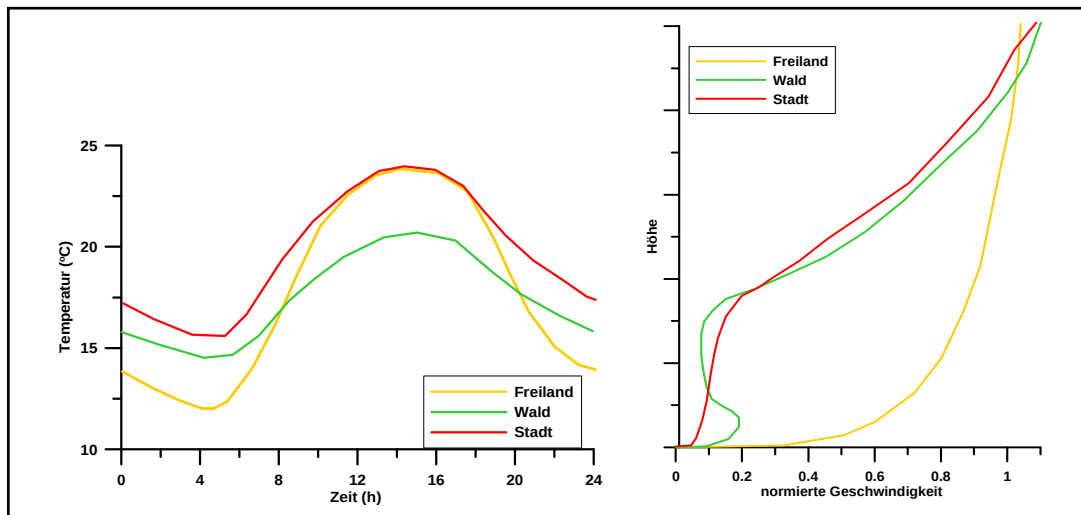


Abb. 3.7: Temperaturverlauf und Vertikalprofil der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit für verschiedene Landnutzungen

Der Tagesgang der Lufttemperatur zeigt, dass sowohl Grün- oder Freiflächen wie z.B. Wiesen als auch Bebauung ähnlich hohe Temperaturen zur Mittagszeit aufweisen können, die nächtliche Abkühlung der Siedlungsflächen vor allem durch die Wärme speichernden Materialien hingegen deutlich geringer ist. Bei der beispielsweise mit Gras oder Getreide bestandenen Grün- oder Freifläche führt der Mangel an Verschattung zu einem hohen Temperaturniveau, während hier nachts die Abkühlung am stärksten ist. Waldflächen nehmen eine vermittelnde Stellung ein, da die nächtliche Auskühlung durch das Kronendach gedämpft wird. Bei der Windgeschwindigkeit wird der Einfluss von Bebauung und Vegetationsstrukturen im Vertikalprofil deutlich. Das für eine Fläche ohne größere Strömungshindernisse typische vertikale Windprofil kann sich erst oberhalb der mittleren Höhe der Nutzungsstruktur ausbilden.

3.3 Methodik der Bewertung der klimaökologischen Nutzungsstrukturen

Um Aussagen über die Funktionszusammenhänge treffen zu können, müssen unterschiedliche Flächeneinheiten von Grünarealen einerseits und bebauten Bereichen andererseits in ihren klimatischen Merkmalen untereinander abgrenzbar sein. Die Kaltluftlieferung von Grün- und Freiflächen kann durchaus sehr unterschiedlich ausgeprägt sein und innerhalb von Siedlungsflächen kann die bioklimatische Situation je nach Bebauungsstruktur und Lage im Raum stark variieren. Um diese Heterogenität in der **Klimafunktions-** bzw. **Planungshinweiskarte** darstellen zu können, werden den Flächen der verwendeten digitalen Nutzungsinformationen die relevanten Klimaparameter wie z.B. Windgeschwindigkeit oder Kaltluftvolumenstrom zugeordnet. Die den Flächen zugewiesenen Klimaparameter werden als Flächenmittelwerte aus den Ergebnissen der Klimamodellierung gebildet, die in einem 50 m Raster vorliegen.

Die qualitative Bewertung der einzelnen Klimaparameter erfolgt dann in Relation zum mittleren Werteniveau der Klimaparameter im Untersuchungsgebiet. Dieses Vorgehen erfolgt in Anlehnung an die VDI Richtlinie 3785 Blatt 1 (VDI 2008b), in der vorgeschlagen wird, für eine Bewertung der Klimaparameter die Abweichungen der Einzelwerte von den mittleren Verhältnissen im Untersuchungsgebiet als Bewertungsmaßstab heranzuziehen. Daraus ergibt sich ein standardisiertes Verfahren mit dem Klimaanalysen verschiedener Städte untereinander vergleichbar werden:

Hierfür werden dimensionslose Abweichungen eines Wertes vom Gebietsmittel mit Hilfe der sogenannten „z-Transformation“ berechnet. Die Abweichung eines Einzelwertes vom Gebietsmittel dieses Wertes wird dabei mit der Standardabweichung des Datenkollektivs normiert:

$$z = (Z - \mu) / \text{Sigma} \quad , \text{ mit}$$

- | | |
|---------|--|
| z: | standardisierter Wert der Variablen Z (z.B. Kaltluftvolumenstrom) |
| Z: | Ausgangswert der Variablen (z.B.: Kaltluftvolumenstrom) |
| μ : | arithmetisches Mittel der Variablen |
| Sigma: | Standardabweichung |

Eine Klassifizierung in Kategorien wie „Hoch“ und „Gering“ oder „Günstig“ und „Ungünstig“ erfolgt dann in standardisierter Form anhand der positiven oder negativen Abweichung der Variablen vom Gebietsmittel. Als Klassengrenze für eine weitere Unterteilung in beispielsweise „sehr hoch“–„hoch“ oder „günstig“–„sehr günstig“ wird eine Abweichung vom Gebietsmittel herangezogen, die über die Standardabweichung hinausgeht. Die Klassengrenzen der weiteren Unterteilung liegen damit bei z-transformierten Werten von 1 bzw. -1. Die folgende Abbildung verdeutlicht schematisch das Vorgehen bei der Bewertung der so normierten Daten.

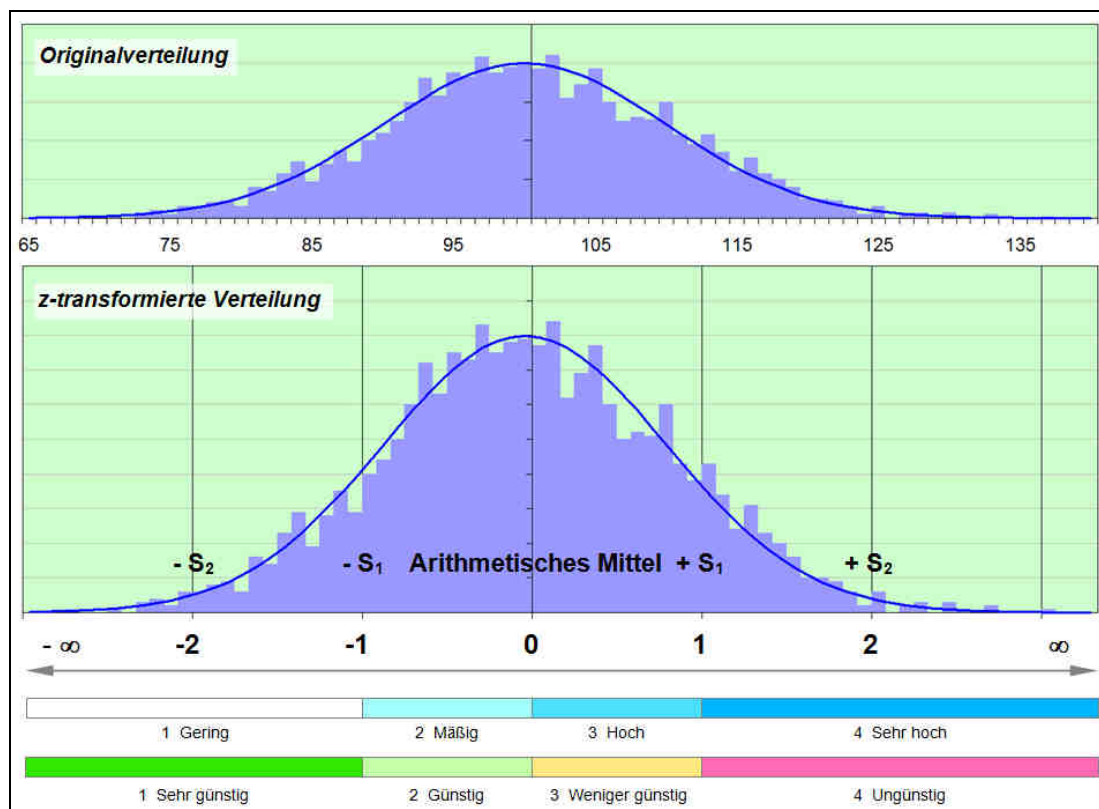


Abb. 3.8: Schematische Darstellung des Bewertungsschemas für z-transformierte Parameter.
Ein Wert von 1 entspricht der Standardabweichung (S_1) vom Gebietsmittel.

Die Abweichungen vom Gebietsmittel werden für die Bewertung der Parameter Kaltluftvolumenstrom, Kaltluftproduktionsrate sowie bioklimatische Belastung betrachtet, die die wesentliche Grundlage für die Beurteilung der lokalklimatischen Situation liefern.

3.3.1 Grün- und Freiflächen

In der Klimafunktionskarte werden Grün- und Freiflächen unabhängig von ihrer räumlichen Lage lediglich hinsichtlich ihres Kaltluftliefervermögens charakterisiert. Als Bewertungskriterium für ihre lokalklimatische Bedeutung wird der Volumenstrom als Maß für den Zustrom von Kaltluft aus den benachbarten Rasterzellen herangezogen. Die folgende Tabelle zeigt das durchschnittliche Wertenniveau in den 4 Bewertungsklassen.

Bewertung	normierter Wert	Kaltluftvolumenstrom Ø in m³/s
sehr gering	< -1	< 600
gering	-1 bis 0	600 - 1200
mittel	> 0 bis 1	1200 - 1800
hoch	> 1	> 1800

Tab. 3.2: Bewertung der Kaltluftlieferung in der Klimafunktionskarte.

Während in der Klimafunktionskarte die Kaltluftlieferung von Grün- und Freiflächen charakterisiert wird, steht in der Planungshinweiskarte deren stadtklimatische Bedeutung sowie die Ableitung einer möglichen Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderungen im Vordergrund. Daraus ergibt sich eine abweichende Vorgehensweise bei der Bewertung dieser Areale. Neben dem Kaltluftvolumenstrom wird ebenso die Lage der Grün- und Freiflächen zu bioklimatisch belastetem Siedlungsraum und ihre Kaltluftproduktionsrate betrachtet. Die planerische Bewertung der Grün- und Freiflächen ergibt sich somit als Resultat aus der bioklimatischen Analyse des Siedlungsraumes und der Grün- und Freiflächeneigenschaften. Das in der Planungshinweiskarte angewendete Bewertungsschema baut damit auf den in der Klimafunktionskarte dargestellten Analyseergebnissen auf und wird deshalb erst an späterer Stelle detailliert beschrieben (s. Kap. 3.3.4).

3.3.2 Bioklima in den Siedlungsflächen

Zur Beurteilung des Bioklimas in den Siedlungsräumen wird der Einfluss der verschiedenen meteorologischen Parameter auf das Wohlbefinden des Menschen betrachtet. Eine große Rolle spielen hierbei Strahlungstemperatur, Luftfeuchte und Windgeschwindigkeit, da diese Parameter den Wärmehaushalt des Menschen direkt beeinflussen. Zur Beurteilung des thermischen Wirkungskomplexes wird in dieser Untersuchung der *Bewertungsindex PMV*³ (Predicted Mean Vote; vgl. FANGER 1972) als dimensionsloses Maß für die Wärmebelastung verwendet, der auf einer Auswertung dieser Parameter basiert. Der sogenannte „PMV-Wert“ basiert auf der Wärmebilanzgleichung des menschlichen Körpers und gibt den Grad der „Behaglichkeit“ als mittlere subjektive Einschätzung einer größeren Anzahl von Menschen in Wertestufen wider. Mit steigendem PMV erhöht sich die bioklimatische Belastung aufgrund der als Diskomfort empfundenen thermischen Beanspruchung des Körpers.

Für die Berechnung des PMV-Wertes müssen als wichtigste meteorologische Eingangsgrößen Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit, Dampfdruck und Strahlungstemperatur am Aufenthaltsort bekannt sein. Diese meteorologischen Parameter variieren innerhalb städtischer Strukturen in weiten Grenzen. In Abhängigkeit von den stadtspezifischen Faktoren (z.B. Bebauungshöhe, Versiegelung, Durchgrünungsgrad) und der Charakterisierung der Wettersituation, kann die Ausprägung des nächtlichen PMV mit Hilfe des Modells FITNAH abgeschätzt und entsprechend der speziellen Anliegen der Untersuchung angepasst werden.

Der nächtlichen Wärmebelastung, wie sie in der Klimafunktions- bzw. Planungshinweiskarte dargestellt wird, liegt das Wertenniveau in der zweiten Nachthälfte um 4 Uhr zugrunde. Ein erholsamer Schlaf ist nur bei günstigen thermischen Bedingungen möglich, weshalb der Belastungssituation in den Nachtstunden eine besondere Bedeutung zukommt. Es handelt sich um den PMV-Wert für eine typische Sommernacht mit geringem Luftaustausch und einer durch wolkenlosen Himmel gegebenen ungehinderten langwelligen Ausstrahlung.

³ Predicted Mean Vote (FANGER 1972), für eine ausführliche Beschreibung siehe VDI 3785 Blatt 1 (VDI 2008)

Dabei wirken lokal auftretende Kaltluftströmungen modifizierend auf die räumliche Ausprägung des PMV. Es handelt sich somit um eine Einzelsituation.

Die Klassifizierung der bioklimatischen Situation erfolgt in vier qualitativen Bewertungskategorien. Die Basis hierfür bilden, wie bereits beschrieben, die lokalen z-transformierten PMV-Werte und deren Abweichungen von den mittleren Verhältnissen im Untersuchungsraum (s. auch Abb. 3.8, S. 29). Bei der Bewertungsklasse 4 "ungünstig" liegt eine überdurchschnittliche Wärmebelastung mit einem Z-Wert von mehr als 1 vor. Eine gewisse bioklimatische Belastung ist auch noch bei der Bewertungsklasse 3 „weniger günstig“ gegeben. Günstige Verhältnisse liegen hingegen bei den Klassen 2 und 1 vor und können aus bioklimatischer Sicht als positiv beurteilt werden. Die Bioklimatische Situation ist häufig mit charakteristischen Bebauungstypen verknüpft. In der folgenden Tabelle 3.3 sind den jeweiligen Klassen diese charakteristischen Bebauungstypen zugeordnet.

Bioklimatische Situation qualitative Einstufung	PMV Wert z-transformiert	charakteristische Bebauungstypen
Sehr günstig	< -1	Dörflich geprägte Siedlungstypen
Günstig	-1 bis 0	Einzel- und Reihenhausbauung
Weniger günstig	0 bis 1	Block- und Blockrandbebauung
Ungünstig	> 1	Verdichteter Siedlungsraum

Tab. 3.3: Klassifizierung der bioklimatischen Situation und dafür typische Siedlungsstrukturen.

Es kann festgehalten werden, dass die bioklimatische Situation zwar im Wesentlichen mit Bebauungsdichte und Versiegelungsgrad verknüpft ist, kleinräumig aber doch durch den Einfluss von Grün- und Freiflächen und lokalem Einwirken von Kaltluft deutlich variieren kann.

3.3.3 Kaltluftleitbahnen

Leitbahnen verbinden Kaltluftentstehungsgebiete („Ausgleichsräume“) und Belastungsbereiche („Wirkungsräume“) miteinander und sind somit elementarer Bestandteil des Luftaustausches. Als geeignete Oberflächenstrukturen, die ein Eindringen von Kaltluft in die Bebauung erleichtern, dienen innerhalb von Siedlungsräumen sowohl gering bebaute vegetationsgeprägte Freiflächen, Kleingärten und Friedhöfe als auch Gleisareale, breite Straßenräume und Flussläufe. Die Ausweisung der Leitbahnbereiche erfolgt manuell und orientiert sich am autochthonen Strömungsfeld der Modellsimulation. Die Leitbahnen werden sowohl in der Klimafunktionskarte als auch der Planungshinweiskarte dargestellt.

Kaltluftabflüsse treten über unbebauten Hangbereichen auf, sofern sie Neigungen von $\geq 1^\circ$ aufweisen. Aufgrund der höheren Dichte von Kaltluft setzt sie sich, dem Gefälle folgend, hangabwärts in Bewegung. Durch diese Beschleunigung weisen Kaltluftabflüsse meist höhere Strömungsgeschwindigkeiten auf als Aus-

gleichsströmungen, die sich allein aufgrund des Temperatur- und Dichteunterschiedes zwischen kühlen Grün- oder Freiflächen und überwärmter Bebauung einstellen. Aus stadtklimatischer Sicht sind daher Abflüsse als sehr wirksam zu bewerten. Aufgrund der Reliefsituation im Stadtgebiet Nürnbergs spielen Kaltluftabflüsse vor allem in den östlichen und südwestlichen Stadtgebieten eine Rolle.

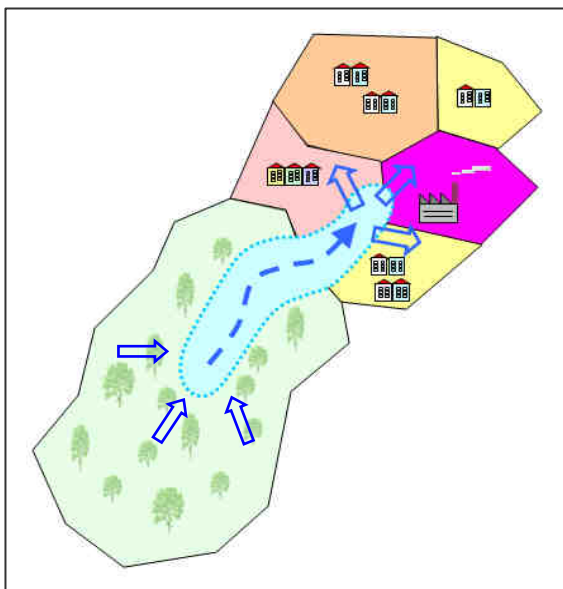


Abb. 3.9: Prinzipskizze einer Kaltluftleitbahn

3.3.4 Planerische Bewertung von Grün- und Freiflächen und Siedlungsräumen

Zur Bewertung der klimaökologischen Charakteristika der Grün- und Freiflächen⁴ im Hinblick auf planungsrelevante Belange bedarf es einer Analyse der vorhandenen Wirkungsraum-Ausgleichsraum-Systeme im Untersuchungsgebiet. Kaltluft, die während einer Strahlungsnacht innerhalb der Freiräume entsteht, kann nur dann von planerischer Relevanz sein, wenn den Flächen ein entsprechender Siedlungsraum zugeordnet ist, der von ihren Ausgleichsleistungen profitieren kann. Für die Bewertung der bioklimatischen Bedeutung von grünbestimmten Flächen wird ein teilautomatisierbares Verfahren angewendet, das sich wie folgt skizzieren lässt (vgl. Abb. 6.1, S. 73):

⁴ Als „Grün- und Freifläche“ werden hier unabhängig von ihrer jeweiligen Nutzung all jene Flächen bezeichnet, die sich durch einen geringen Versiegelungsgrad von maximal etwa 25 % auszeichnen. Neben Parkanlagen, Kleingärten, Friedhöfen und Sportanlagen umfasst dieser Begriff damit auch landwirtschaftliche Nutzflächen sowie Forsten und Wälder.

Sehr hohe bioklimatische Bedeutung:

1. Ermittlung von Siedlungsräumen mit „*bioklimatisch ungünstigen*“ Verhältnissen
2. Ermittlung der an (1) *angrenzenden Grün- und Freiflächen* (Toleranz = 250 m).
Grün- und Freiflächen im Umfeld von bioklimatisch ungünstigen Siedlungsräumen kommt grundsätzlich eine hohe Bedeutung zu. Sie sind geeignet, unabhängig von ihrem Kaltluftliefervermögen ausgleichend auf das thermische Sonderklima in ihrem meist dicht bebauten Umfeld zu wirken.
3. Ermittlung von *Leitbahnen*
Leitbahnen verbinden Kaltluftentstehungsgebiete (Ausgleichsräume) und Belastungsbereiche (Wirkungsräume) miteinander und sind somit elementarer Bestandteil des Luftaustausches. Die Ausweisung der Leitbahnbereiche erfolgt manuell und orientiert sich an der Ausprägung des autochthonen Strömungsfeldes der FITNAH-Simulation.
4. Allen Grün- und Freiflächen aus (2) und (3) wird eine **sehr hohe bioklimatische Bedeutung** zugesprochen.

Hohe bioklimatische Bedeutung

5. Ermittlung von Siedlungsräumen mit „*bioklimatisch weniger günstigen*“ Verhältnissen
6. Ermittlung der an (5) *angrenzenden Grün- und Freiflächen* (Toleranz = 50 m).
Wie unter (2) erfolgt die Einstufung auch dieser Flächen unabhängig von der flächeninternen Ausprägung der Klimaparameter
7. Ermittlung der an (2), (3) und (6) *direkt angrenzenden Grün- und Freiflächen (Umfeldflächen)*.
Bereiche, die zur Ausweisung von „Kaltluftquellgebieten“ der besonders bedeutenden Flächen dienen.
8. Grün- und Freiflächen aus (6) wird generell eine **hohe bioklimatische Bedeutung** zugesprochen
9. Grün- und Freiflächen aus (7) wird eine **hohe bioklimatische Bedeutung** zugesprochen, wenn sie einen hohen Kaltluftvolumenstrom (Karte 4) aufweisen

Mittlere bioklimatische Bedeutung

10. Grün- und Freiflächen aus (7) wird eine **mittlere bioklimatische Bedeutung** zugesprochen, wenn sie eine hohe Kaltluftproduktionsrate (Karte 2) aufweisen
11. Waldflächen wird – wenn sie nicht bereits in eine der vorgenannten Kategorien fallen – pauschal ebenfalls eine **mittlere bioklimatische Bedeutung** zugesprochen.
Wald kommt generell eine von der Stärke des nächtlichen Kaltluftliefervermögens unabhängige bioklimatische Ausgleichsleistung als Frischluftproduzent und Erholungsraum zu.

Grün- oder Freiflächen, die keinem der oben genannten Kriterien entsprechen, wird eine nur **geringe bioklimatische Bedeutung** zugesprochen.

Die nach diesem vereinfachten Verfahren ermittelte bioklimatische Bedeutung der Grün- und Freiflächen basiert zum einen auf ihrer Lage in Bezug zu bioklimatisch belasteten Siedlungsstrukturen, zum anderen auf der flächeninternen Ausprägung der Klimaparameter, d.h. im Wesentlichen auf ihrem Kaltluftliefervermögen. Diese Unterscheidung wurde getroffen, weil die flächeninternen Klimaparameter nicht in allen Bereichen gleichermaßen aussagekräftig sind.

So kann eine Grün- oder Freifläche trotz relativ geringem Kaltluftliefervermögen in einem ansonsten stark überbauten Umfeld signifikant zur Verminderung der dort auftretenden hohen Belastungen beitragen.

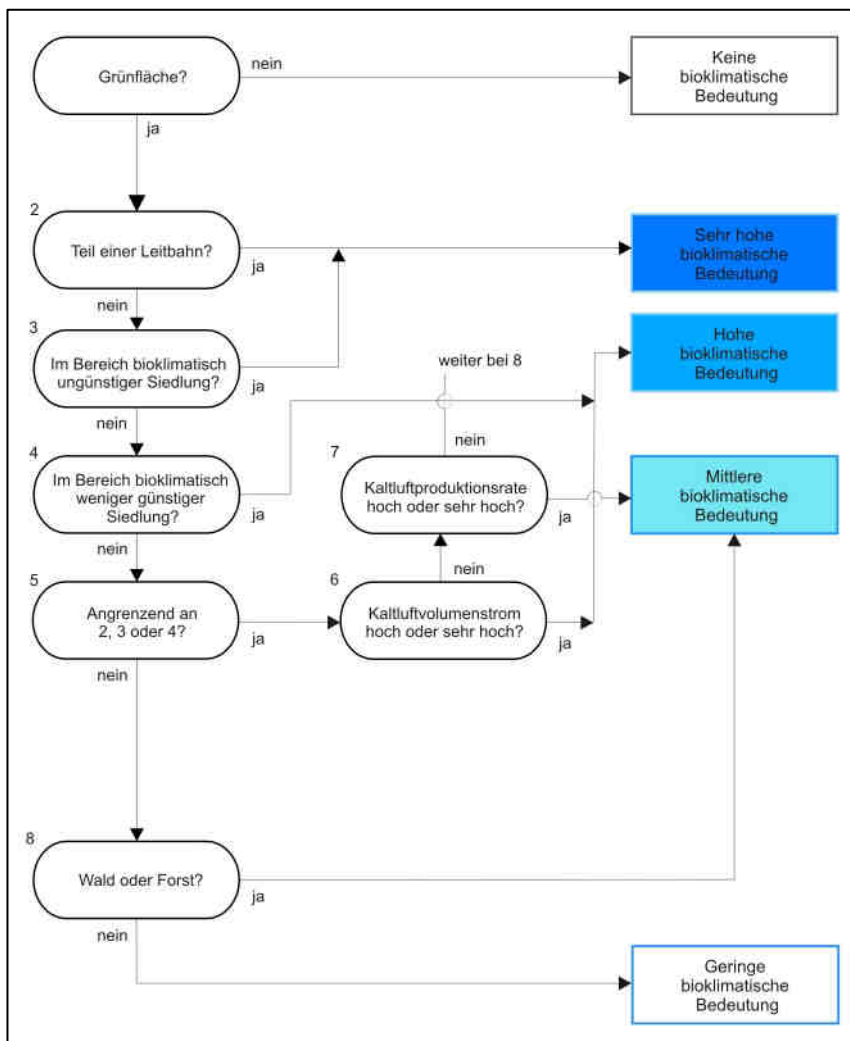


Abb. 3.10: Vereinfachtes Verknüpfungsmodell zur Ermittlung der bioklimatischen Bedeutung der Grün- und Freiflächen

Aus diesem Grund wurde Grün- und Freiflächen im direkten Umfeld von Siedlungsbereichen mit ungünstigen bioklimatischen Verhältnissen generell eine hohe bioklimatische Bedeutung zugesprochen. Somit verfügt eine in ihrer bioklimatischen Bedeutung als „Sehr hoch“ eingestufte Grün- oder Freifläche über einen direkt zugeordneten, bioklimatisch stark belasteten Wirkungsraum.

Eine als „Hoch“ eingestufte Grün- oder Freifläche verfügt *entweder* über einen direkt zugeordneten, bioklimatisch belasteten Wirkungsraum *oder* weist ein überdurchschnittliches Kaltluftliefervermögen auf und ist gleichzeitig als Ausgleichsraum oder Kaltluftquellgebiet einzustufen.

4. Ergebnisse der Modellrechnung

Im Folgenden werden die Modellergebnisse zu den meteorologischen Parametern Lufttemperatur in 2 m Höhe, Kaltluftproduktion, nächtliches Strömungsfeld sowie Kaltluftvolumenstrom erläutert. Als meteorologische Rahmenbedingung wurde eine windschwache hochsommerliche Hochdrucklage zugrunde gelegt, da sich stadtklimatische Effekte vor allem während solcher windschwacher Strahlungswetterlagen⁵ im Sommer entwickeln. Auslöser dieser Prozesse sind die Temperaturunterschiede zwischen vergleichsweise warmen Siedlungsräumen und kühleren vegetationsgeprägten Grün- und Freiflächen. Diese Wetterlagen stellen in unseren Breiten die kritischsten Situationen für eine bioklimatische Belastung dar.

4.1 Das bodennahe Lufttemperaturfeld

Ausschlaggebend für die räumliche Temperaturverteilung während Strahlungswetterlagen sind vor allem die landnutzungsabhängigen thermischen Boden- und Oberflächeneigenschaften.

Für unversiegelte Flächen spielt dabei die Wärmeleitfähigkeit des Bodens eine große Rolle, die deutlich mit dem Bodentyp und der Bodenfeuchte variieren kann. Je größer beispielsweise die Wärmeleitfähigkeit des Bodens ist, umso tiefer kann Wärme in das entsprechende Material eindringen, dort gespeichert werden und ebenso von diesem wieder abgegeben werden. Ein vorhandener Bewuchs modifiziert die Erwärmungs- und Abkühlungsraten. Stark ausgeprägt zeigt sich dieser Effekt in Waldgebieten, in denen die Lufttemperatur innerhalb des Stammraumes einen gedämpften Tagesgang zeigt. Strahlungsumsätze erfolgen hier zum einen zwischen Atmosphäre und Kronendach aber ebenso innerhalb des Stammraumes zwischen Kronendach und Boden. Während im Stammraum tagsüber durch Verschattung und Verdunstung relativ niedrige Temperaturen bei vergleichsweise hoher Luftfeuchtigkeit vorherrschen, schirmt das Kronendach nachts die Ausstrahlung ab, so dass hier, im Vergleich zum Freiland, eher milde Temperaturen auftreten. Waldgebiete sind wichtige Frischluftproduktionsgebiete, wobei gerade stadtnahe Wälder auch am Tage Kaltluft zugunsten des direkt angrenzenden Siedlungsraumes erzeugen können.

Die bebauten Stadtgebiete zeigen ein sehr komplexes thermisches Verhalten. Gebäude liefern große Flächen, die sich unter der Sonneneinstrahlung tagsüber erwärmen. Abhängig von Bausubstanz und Gebäudedichte können unterschiedliche Wärmemengen gespeichert und nachts wieder abgegeben werden. Durch die hohe Versiegelung des Bodens sind kühlende Verdunstungsprozesse gegenüber Grün- oder Freiflächen deutlich reduziert. Zusätzlich wird Wärme aus anthropogenen Quellen freigesetzt. Da die Durchlüftung einer Stadt aufgrund der Bebauungsdichte zum Teil deutlich eingeschränkt ist, ist auch die turbulente Wärmeleitung reduziert. Als Folge dieser Prozesse treten innerhalb der Bebauung und vor allem im Vergleich zum Freiland deutliche Temperaturunterschiede auf. Das Ausmaß der Temperaturabweichung im Siedlungsbereich ist abhängig von der Größe der Stadt und der Dichte der Bebauung.

⁵ s. Glossar

Eine weitere Sonderstellung nehmen Gewässer ein. Die hohe Wärmekapazität und Wärmeleitfähigkeit von Wasser sowie die in Gewässern stattfindenden Durchmischungsvorgänge sorgen dafür, dass die Amplitude der oberflächennahen Wassertemperatur deutlich geringer ist als die der bodennahen Lufttemperatur. Gerade im Hoch- und Spätsommer ist die Oberflächentemperatur des Wassers tagsüber niedriger, aber nachts höher als die bodennahe Lufttemperatur der Umgebung. Größere Gewässer haben damit im Sommer eine dämpfende Funktion auf den Tagesgang der Lufttemperatur ihrer Umgebung, da sie tagsüber kühlend wirken, während der Nachtstunden aber die Abkühlung verringern.

Während windschwacher Strahlungswetterlagen ist der Tagesgang der Lufttemperatur direkt an die Strahlungsbilanz des Standortes gekoppelt und zeigt eine ausgeprägte Absenkung der bodennahen Lufttemperatur während der Abend- und Nachtstunden. Die bodennahen Temperaturen erreichen etwa zum Sonnenaufgang ein Minimum. Zu diesem Zeitpunkt zeichnen sich deutliche Temperaturunterschiede zwischen den unterschiedlichen Nutzungsstrukturen ab. Die hier beschriebenen Auswertungen beziehen sich daher auf dieses Zeitfenster.

Die Ermittlung des bodennahen Temperaturfeldes ermöglicht es bereits, Bereiche mit potenziellen bioklimatischen Belastungen abzugrenzen, Aussagen zum Auftreten thermisch und/oder orographisch induzierter Ausgleichsströmungen zu treffen und die räumliche Ausprägung und Wirksamkeit von Kalt- bzw. Frischluftströmungen abzuschätzen.

Ergebnisse der Berechnungen:

Abbildung 4.1 zeigt das für den Zeitpunkt 4 Uhr morgens berechnete Temperaturfeld im Stadtgebiet von Nürnberg 2 m über Grund. Im Untersuchungsgebiet weisen die bodennahen Temperaturen eine Spannweite von 14,5°C bis 22,4°C auf. Es wurde somit eine sehr warme hochsommerliche Nachtsituation modelliert. Die Spannweite stellt eine typische Ausprägung in einer Sommernacht in Süddeutschland dar. Die mittlere Temperatur im Untersuchungsgebiet liegt bei den hier angenommenen meteorologischen Rahmenbedingungen bei 17,6°C.

Im Temperaturfeld treten die unbebauten, vegetationsgeprägten Grün- und Freiflächen mit deutlich geringeren Werten hervor. Die Temperaturverteilung zeigt aber auch innerhalb der bebauten Gebiete eine ausgeprägte räumliche Differenzierung, weil Areale wie beispielsweise Einzelhausbebauung, Zentrumsbebauung und Verkehrsanlagen unterschiedliche Boden- und Oberflächeneigenschaften aufweisen.

Die höchsten Temperaturen treten mit bis zu 22,4°C in der dicht bebauten und nahezu vollständig versiegelten Nürnberger Altstadt auf. Sehr hohe Temperaturen wurden ebenfalls für einzelne Gewerbegebiete ermittelt, die eine Bebauungsdichte mit hohem Versiegelungsgrad aufweisen.

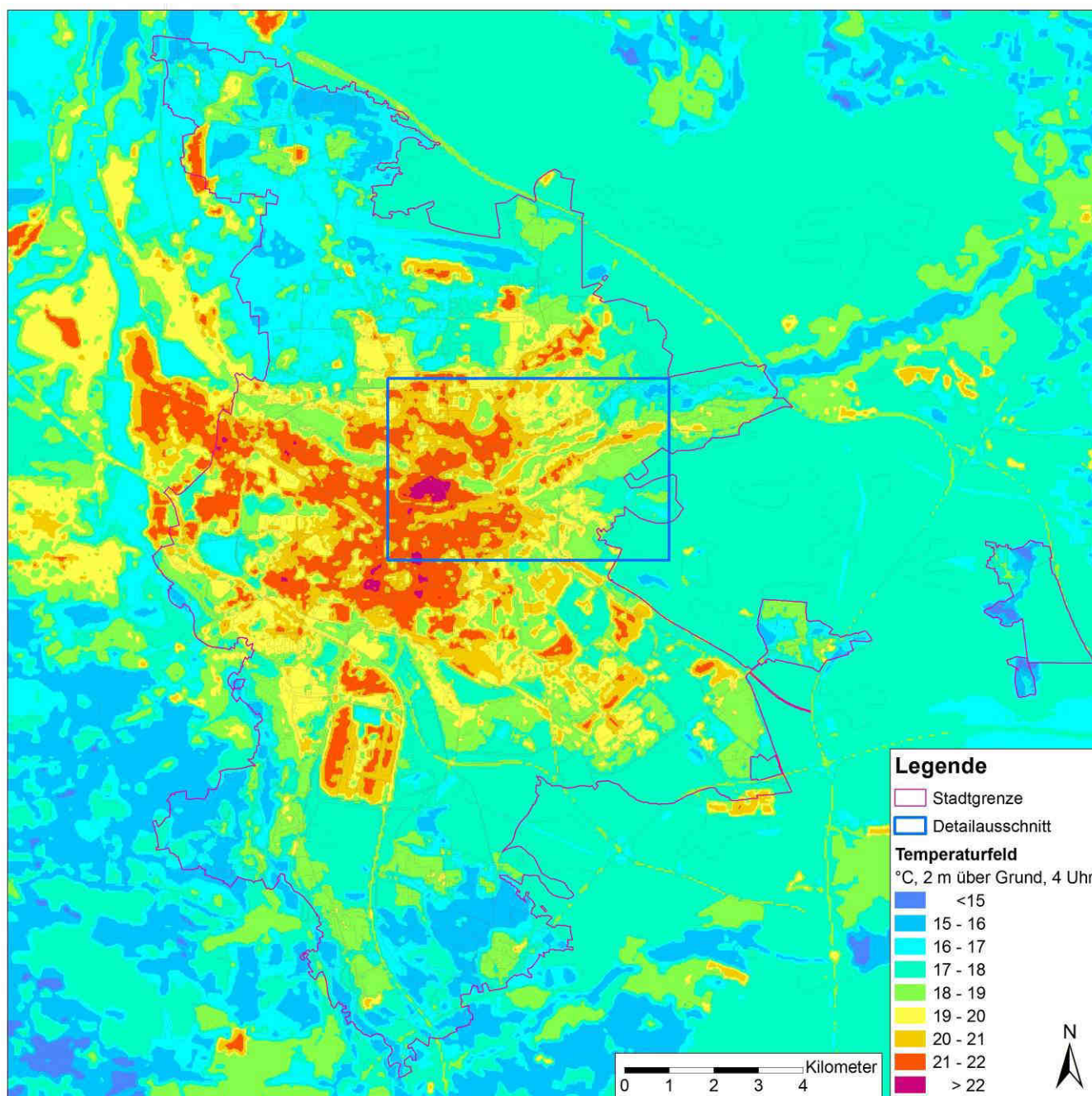


Abb. 4.1: Bodennahe Temperaturen in °C für den Zeitpunkt 4 Uhr morgens im Untersuchungsgebiet Nürnberg

Große Teile des Siedlungsraumes sind durch Zeilen- sowie Reihen- und Einzelhausbebauung geprägt, in der mit 18°C bis 20°C deutlich niedrigere Lufttemperaturen vorliegen. Von den Wohnbauflächen weist die Einzelhausbebauung vor allem an den Siedlungsrändern das geringste Temperaturniveau auf, wobei dort 18°C selten überschritten werden.

Darüber hinaus zeigen die Verkehrsflächen, abhängig vom Versiegelungsgrad, Temperaturen zwischen 18°C und 21°C. Im Temperaturfeld treten die unbebauten, vegetationsgeprägten Grün- und Freiflächen mit deut-

lich geringeren Werten hervor, wobei auf ihre Rolle als Kaltluft produzierende Areale auch in den folgenden Kapiteln näher eingegangen wird.

Die niedrigsten Temperaturen im Untersuchungsgebiet sind mit weniger als 15°C vor allem über den Grün- und Freiflächen im Osten und Südwesten zu finden. Dort kommt es in den Nachstunden zu einer starken langwelligen Ausstrahlung und das recht kleinförmige Relief ermöglicht hier zudem die Bildung von Kaltluftansammlungen in Senken. Im eigentlichen Stadtgebiet sind nur im Stadtteil Brunn Werte unter 15°C ermittelt worden.

Die ausgeprägten Waldareale im Osten des Untersuchungsgebiets besitzen ein vergleichsweise hohes Temperaturniveau von 17°C bis 18°C, in einigen kleinen Teilbereichen auch 16°C bis 17°C. Hier dämpft das Kronendach die nächtliche Ausstrahlung und damit auch ein stärkeres Absinken der bodennahen Lufttemperatur.

Verglichen mit den weitläufigen Grün- und Freiflächen des Umlandes weisen die innerstädtischen Grün- und Freiflächen, abhängig von ihrer Größe und Form, ein höheres Wertespektrum auf, welches meist zwischen 17°C und 19°C beträgt. Über den kleineren Grün- und Freiflächen sinkt die Temperatur nur noch selten auf weniger als 18°C ab. Hier wird deutlich, dass diese Flächen in eine insgesamt wärmere Umgebung eingebettet sind und daher die vergleichsweise geringen Temperaturen des Umlandes nicht mehr erreicht werden.

Lufttemperatur - Beispiel Nürnberg-Mittel-/Ost

Einen Ausschnitt des Temperaturfeldes mit dem Bereich Nürnberg-Altstadt/Innenstadt und den östlich davon gelegenen Stadtgebieten zeigt Abbildung 4.3. Die stärkste Abkühlung auf 15°C bis 17°C (blau/türkis) wird am östlichen Rand des Ausschnitts im Bereich der Pegnitz-Auen erreicht. In der direkt angrenzenden lockeren Wohnbebauung ist ein Temperaturniveau von 18°C bis 19°C anzutreffen (hellgrün). Mit steigendem Überbauungsgrad nehmen die Temperaturen zu und betragen im Bereich des Gewerbegebiets an der Laufamholzstraße bis zu 22°C (rot).

In der stark verdichteten Altstadt sind Werte über 22°C (lila) anzutreffen. Bei deren genauen Betrachtung wird deutlich, dass der südlich der Pegnitz gelegene Teil 0,5 K bis 0,7 K höhere Werte als der nördliche Teil aufweist. Dies ist vor allem auf die etwas stärkere Verdichtung des südlichen Teils der Altstadt zurück zu führen. Wie in Abbildung 4.2 dargestellt, lassen sich im Luftbild Unterschiede zwischen den Strukturen nördlich und südlich der Pegnitz ausmachen. Wenngleich der Versiegelungsgrad in beiden Quartieren ähnlich hoch ist, liegt im Süden eine insgesamt höhere bauliche Dichte vor. Ein Grünanteil ist praktisch nicht vorhanden und auch die Blockinnenhöfe weisen eine dichte Bebauung auf. Zudem ist das südliche Altstadtquartier St. Lorenz von weiteren überwärmten Siedlungsflächen umgeben, welche vor allem durch eine dichte Blockrandbebauung gekennzeichnet sind. Im Gegensatz dazu schließt sich nördlich von Neutorgraben und Vestnertorgraben eine aufgelockerte Block- und Blockrandbebauung mit insgesamt höherem Grünanteil an.

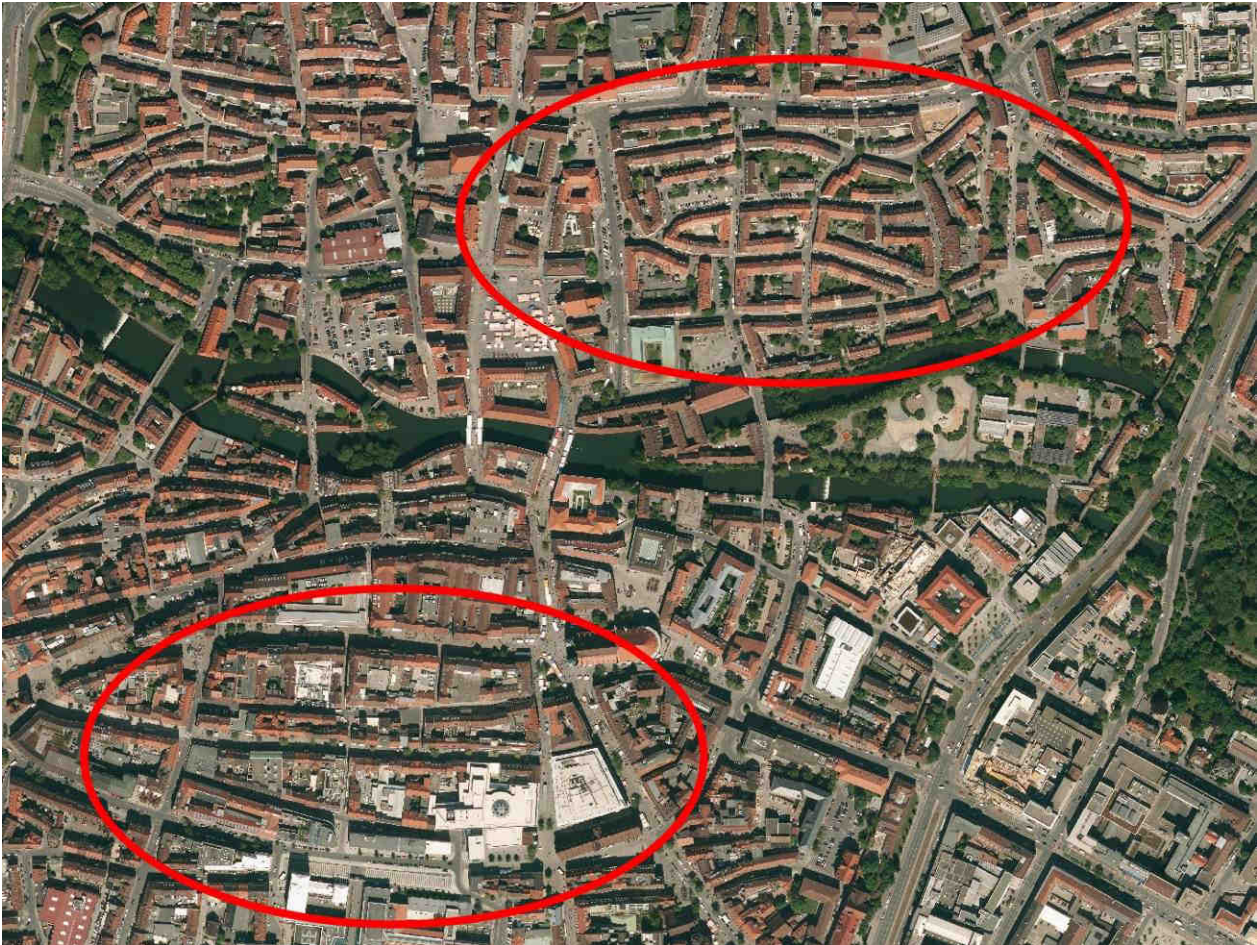


Abb. 4.2: Die Altstadt Nürnbergs
(Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung 2011)

Des Weiteren treten die innerhalb der Bebauung lokalisierten Grün- und Freiflächen mit niedrigeren Temperaturen hervor und vermindern die Ausbildung einer zusammenhängenden nächtlichen „Wärmeinsel“. Besonders deutlich wird dies im Bereich des Stadtparks oder der Wöhrder Wiese. Auch die Grünzüge im Bereich Neutorgaben/Vestnertorgaben leisten einen wertvollen Beitrag.

Im betrachteten Ausschnitt lässt sich zwischen den Aubereichen der Pegnitz (15°C bis 16°C; blaue Farbe) und dem Gewerbeareal an der Laufamholzstraße (21°C bis 22°C; rote Farbe) ein maximaler Temperaturgradient von bis zu 7°C auf einer Entfernung von etwa 1000 m beobachten.

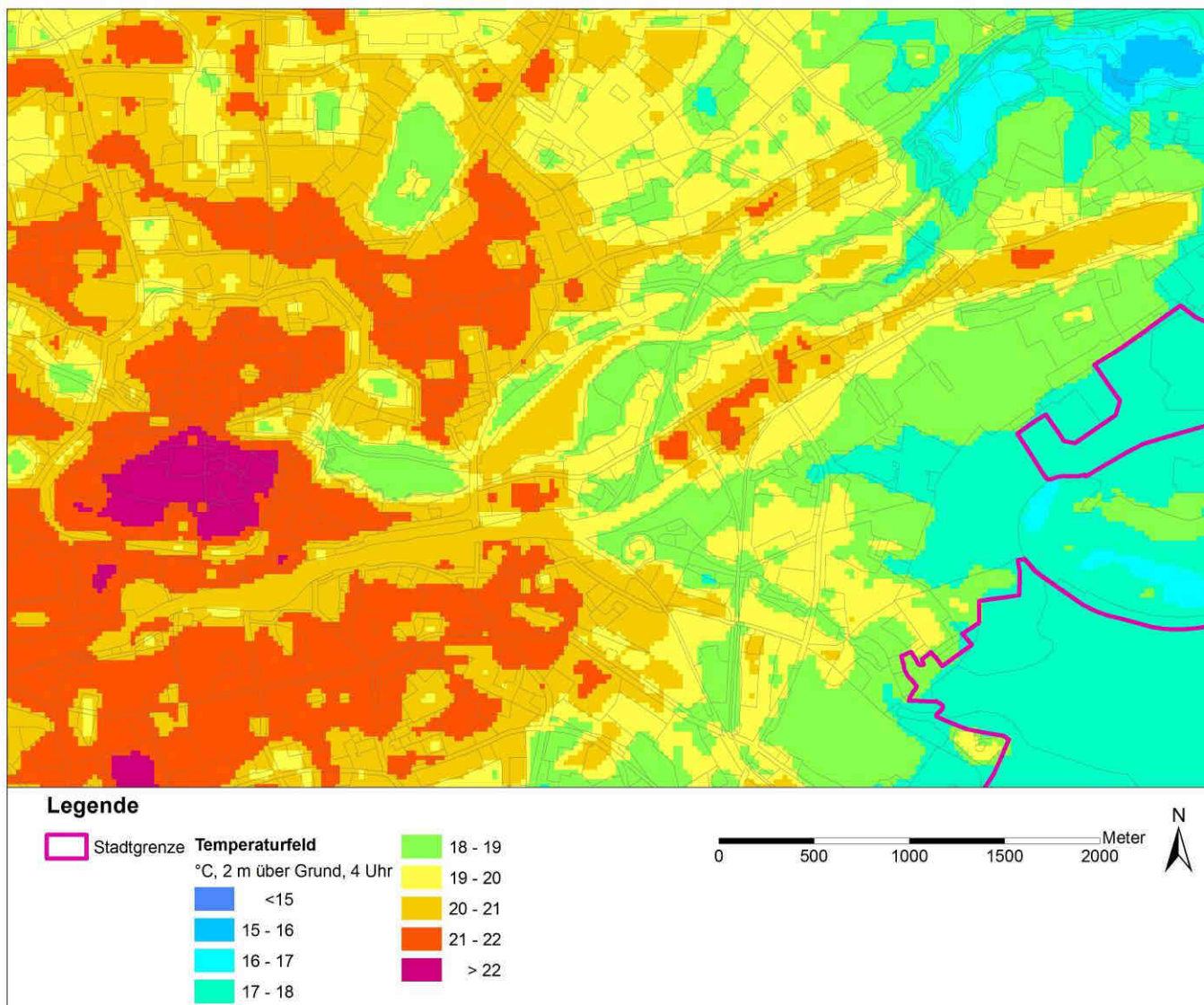


Abb. 4.3: Detail-Ausschnitt: Temperaturverteilung Nürnberg-Mitte/-Ost

Vergleich mit den Temperaturmessfahrten des DWD

Wie in Kapitel zwei bereits erläutert, wurden vom Deutschen Wetterdienst München Profilmessfahrten in der West- und Altstadt der Stadt Nürnberg unternommen. Diese Daten entstanden in den Sommern 2010 und 2011. Eine Auswahl der Ergebnisse wurde vom DWD für diesen Bericht bereitgestellt, um einen Abgleich der Daten mit den in diesem Gutachten ermittelten Ergebnissen zu ermöglichen. In den Abbildungen 4.4 und 4.5 sind drei Routen des DWD zu verschiedenen Messzeitpunkten dargestellt. Diese wurden über das durch FITNAH ermittelte Temperaturfeld gelegt. Bei der Betrachtung und Auswertung der Abbildungen muss beachtet werden, dass die gemessenen Werte durch den DWD und die Simulation von FITNAH verschiedene Zeitpunkte darstellen.

Allein die Messfahrten an den Abenden des 18.08.2011 (Abb. 4.4) bzw. 02.08.2011 (Abb. 4.5) können näherungsweise für einen Vergleich mit der modellierten Nachtsituation herangezogen werden.

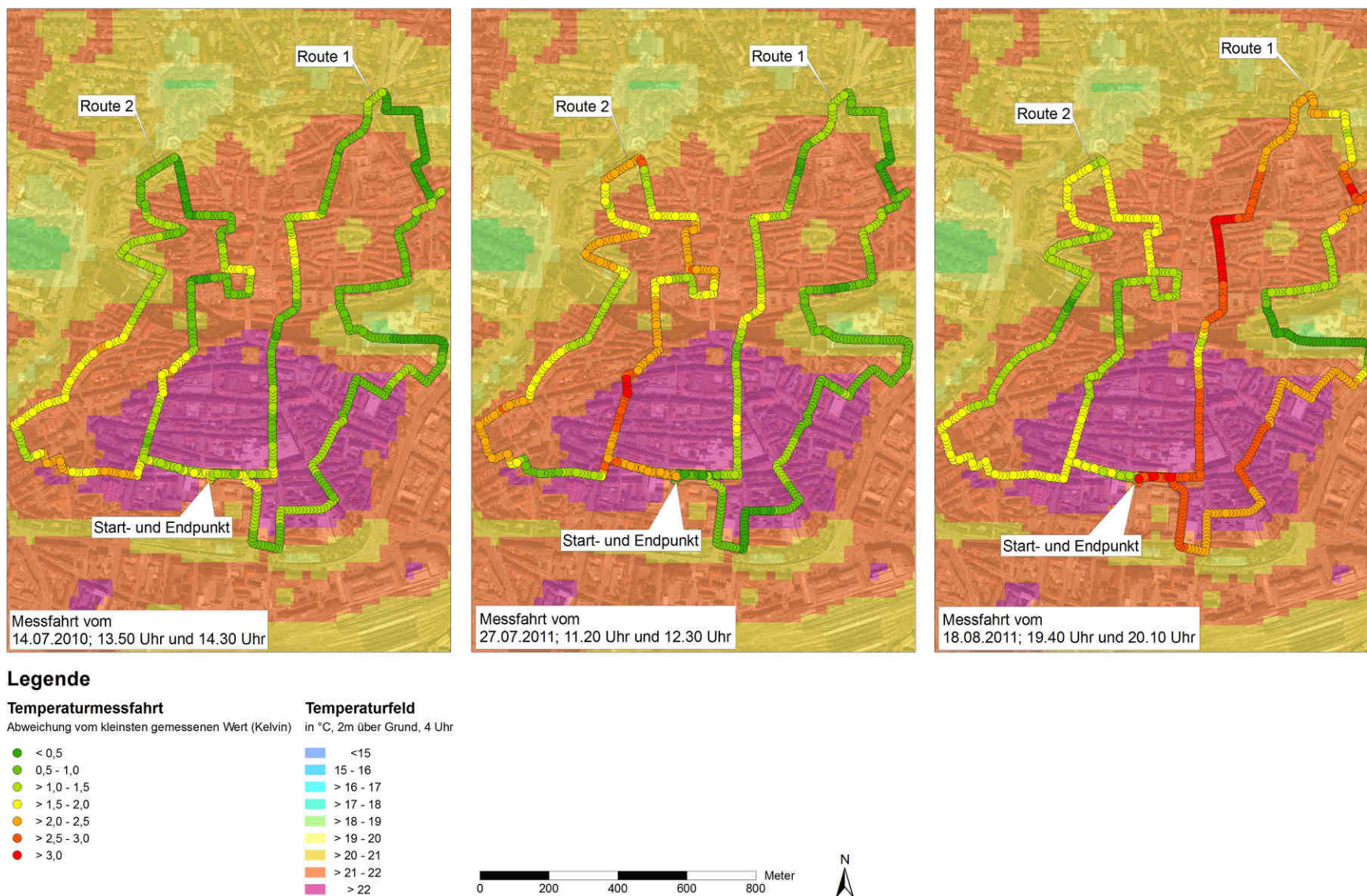


Abb. 4.4: Temperaturmessfahrten in der Altstadt Nürnbergs vom DWD München im Vergleich mit der FITNAH-Modellierung

Eine direkte Vergleichbarkeit der Ergebnisse ist damit nicht gegeben. Es besteht lediglich die Möglichkeit, grundlegende Erkenntnisse zur Überwärmungssituation abzuleiten.

Abbildung 4.4 zeigt zwei Routen, die durch die Innenstadt und die Altstadt von Nürnberg führen. Die Fahrten fanden am 14.07.2010 um 13.50 Uhr und um 14.30 Uhr, am 27.07.2011 um 11.20 Uhr und 12.30 Uhr sowie am 18.08.2012 um 19.40 Uhr und 20.10 Uhr statt. Dargestellt wird jeweils die positive Abweichung der Temperatur zum niedrigsten gemessenen Wert.

Bei der genaueren Betrachtung der drei Teilabbildungen zeigt sich, dass die Bereiche der Route, die über die Pegnitz führen, bei allen drei Fahrten auch die kühlestes Temperaturen aufweisen. Dies wird besonders deutlich bei der östlichsten Überquerung der Pegnitz im Bereich der Wöhrder Wiese mit seinem hohen Grünanteil. Der Grünanteil fehlt bei den anderen Überquerungen des Flusses und führt dort zu der geringeren Absenkung. Auch die FITNAH-Modellierung zeigt, dass in den frühen Morgenstunden im Bereich der Wöhrder Wiese niedrige Temperaturen anzutreffen sind. Gleiches gilt für weitere Areale der Pegnitzniederung und ist maßgeblich mit dem Grünanteil verknüpft. Im Bereich des Maxtors im Norden der Route 1 zeigen sich ebenfalls bei allen drei Messfahrten relativ geringe Werte. Hier öffnet sich die Baustruktur wieder leicht und ist stärker durchgrünt. Auch dieser Effekt ist in der simulierten Nachtsituation deutlich zu erkennen. Für die 4 Uhr-Situation dagegen nicht relevant sind die Verschattungseffekte, die laut DWD 2012, Ursache für die bei einigen Messungen eher niedrigen Temperaturen im stark verdichteten Altstadtkern sein können. Im Gegenteil: hier kommt es in den frühen Morgenstunden zu einer großen Abstrahlung von Wärmeenergie durch die aufgeheizten Häuser und dadurch zu vergleichsweise hohen Temperaturen. Die Route 2 weist bei den Messfahrten ein eher heterogenes Bild auf.

Abbildung 4.5 zeigt eine Route in der Weststadt von Nürnberg, die durch das Gewerbegebiet an der Fürther Straße und am Westfriedhof entlang führt. Hier fanden die Fahrten am 17.07.2010 um 15.40 Uhr, am 26.07.2011 um 13.30 Uhr und am 02.08.2011 um 21.30 Uhr statt. Auch hier ist die positive Abweichung zum kleinsten gemessenen Wert dargestellt. Die maximal gemessene Abweichung bei den Messfahrten beträgt 5,3 °C.

Die ersten beiden Messfahrten, die während der Nachmittagsstunden durchgeführt wurden, weisen eine relativ geringe Spannweite im Vergleich zur letzten Messfahrt um 21.30 Uhr auf. In den Nachmittagsstunden sind die geringsten Temperaturen in Bereich der Pegnitzauen gemessen worden. Auch entlang des Westfriedhofs sind die Werte eher gering, wobei im westlichen Teil des Gewerbegebiets an der Fürther Straße die höchsten Werte ermittelt wurden. Im Vergleich mit der für den Zeitpunkt 4 Uhr morgens modellierten Temperaturverteilung zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen der Tag- und der Nacht-Situation. Bei der Betrachtung der Messfahrt vom 02.08.2011 um 21.30 Uhr zeigt sich, dass die Temperaturverteilung zu diesem Zeitpunkt bereits wesentlich besser mit den modellierten Werten korreliert. Warme Bereiche gehen mit den verdichteten Siedlungsgebieten wie dem Industriegebiet an der Fürther Straße einher, während die durchgrünt Bereiche der Pegnitzniederung und des angrenzenden Westfriedhofs durch Verschattung und Verdunstung von Wasser durch die Pflanzen für Abkühlung sorgen können.

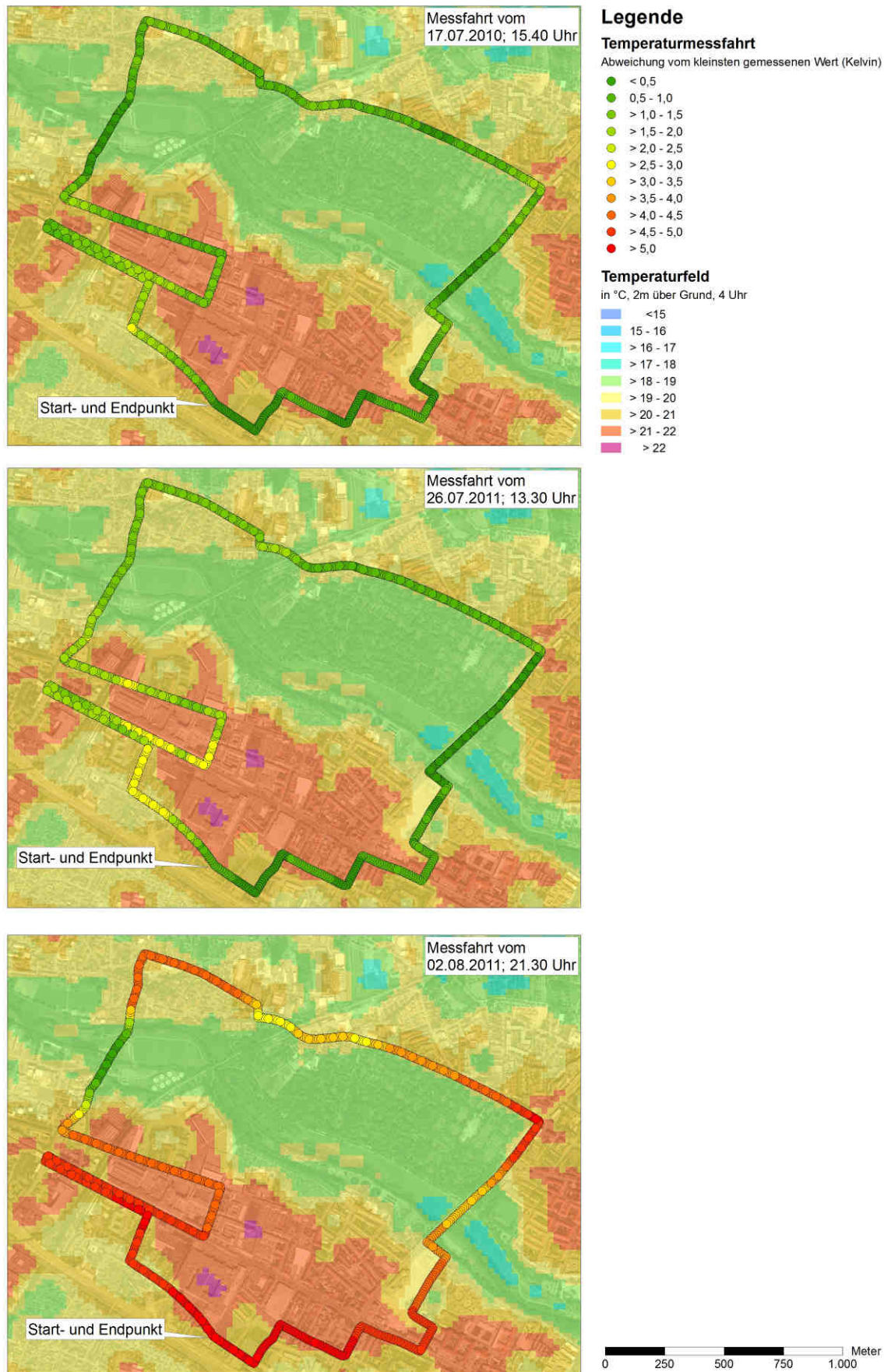


Abb. 4.5: Temperaturmessfahrten in der Weststadt Nürnbergs vom DWD München im Vergleich mit der FITNAH-Modellierung

4.2 Kaltluftproduktionsrate und Kaltluftentstehungsgebiete

Wie im vorangegangenen Kapitel beschrieben wurde, führen vor allem die unterschiedlichen Boden- und Oberflächeneigenschaften einzelner Flächen zu unterschiedlich ausgeprägten Tagesgängen der bodennahen Lufttemperatur. Die nächtliche Abkühlung der bodennahen Luftschichten weist deshalb deutliche Unterschiede in Abhängigkeit von der Nutzung einer Fläche auf. Eine weitere wichtige Rolle spielt die Neigung einer Oberfläche. Sie beeinflusst, wie gut abgekühlte Luftpakete abfließen können. Dies ist vor allem für Waldbestände auf Hangbereichen bedeutend, während auf ebener Fläche die Bestandsränder den Luftaustausch eher behindern. (vgl. MOSIMANN et al. 1999) Die Abkühlungsrate hängt unter anderem von der Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität des Bodens ab. Für die Berechnung der Kaltluftproduktionsraten sind somit Kenntnisse über die thermischen Eigenschaften des Untergrundes von großer Bedeutung. Die in der Literatur zu findenden Werte zu den wichtigsten Bodeneigenschaften decken eine große Bandbreite ab, so dass die Parametrisierung der Wärmeleitung im Boden für Modellsimulationen stets mit Unsicherheiten behaftet ist. Die Bestimmung der Kaltluftproduktion kann daher erhebliche Fehler aufweisen, was sowohl für modellhafte Berechnungen als auch für Geländemessungen gilt. In der hier durchgeführten Modellsimulation wurden einheitliche thermische Eigenschaften für den nicht versiegelten Untergrund angenommen. Eine Berücksichtigung unterschiedliche Bodenfeuchtigkeiten und daraus resultierender Abkühlungsraten wurde somit nicht berücksichtigt.

Aus der Abkühlungsrate (Temperaturabnahme pro Zeiteinheit) die sich im Verlaufe der Nacht über einer Fläche beobachten lässt, kann die Kaltluftproduktion der Fläche abgeschätzt werden. Die Kaltluftproduktionsrate beschreibt die Menge an Luft, die sich innerhalb einer Stunde pro Quadratmeter lokal durch Ausstrahlung abgekühlt hat. Gerade über Grün- und Freiflächen zeigt der Tagesgang der Lufttemperatur eine große Amplitude, so dass solche Flächen entsprechend hohe Kaltluftproduktionsraten aufweisen.

Ergebnisse der Berechnungen

Abbildung 4.6 zeigt die durchschnittliche stündliche Kaltluftproduktionsrate für die hier betrachtete sommerliche Strahlungsnacht. Eine qualitative Einstufung der Werte erfolgte relativ zum Gebietsmittel der Produktionsrate.

Erwartungsgemäß zeigen die landwirtschaftlich genutzten Grün- und Freiflächen im Westen der Stadt als effektive Kaltluftentstehungsgebiete große Kaltluftproduktionsraten. Sehr deutlich wird der Zusammenhang von Relief und Kaltluftproduktion über den stärker geneigten Hangbereichen. Hohe Kaltluftproduktionsraten von 15 bis ca. 20 m³ pro m² und Stunde weisen vor allem die geneigten Waldflächen auf, da die im Kronenbereich gebildete Kaltluft erst in den Stammraum einsinkt und dann aus dem Bestand heraus fließen kann (z.B. im Umfeld des Tiergartens). Die direkt an das Stadtgebiet angrenzenden Waldgebiete mit geringer Neigung weisen nur eine mittlere Kaltluftproduktionsrate von 8 bis 11 m³ pro m² und Stunde auf.

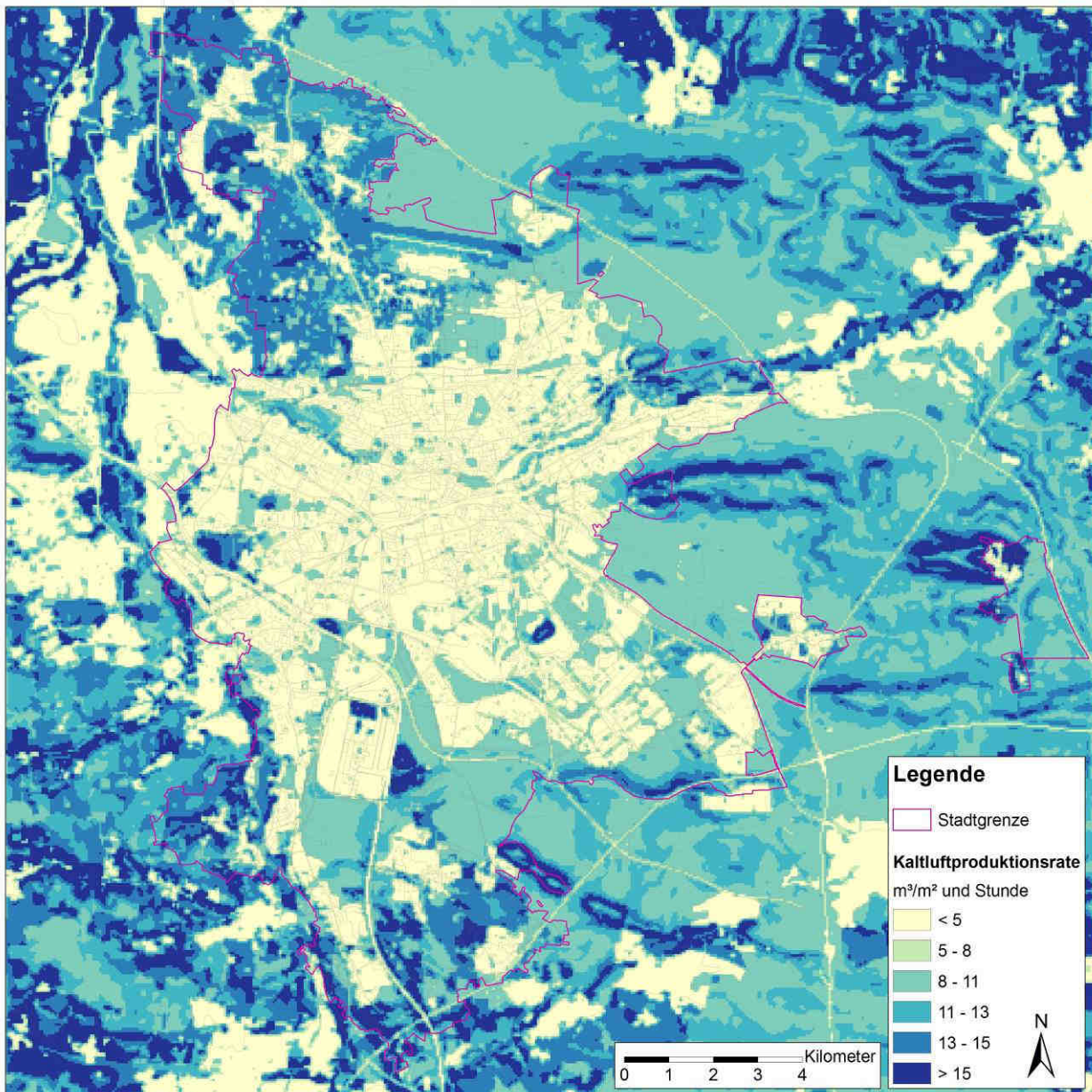


Abb. 4.6: Kaltluftproduktionsrate im Untersuchungsgebiet Nürnberg

4.3 Das nächtliche Strömungsfeld

Die bodennahe Temperaturverteilung bedingt horizontale Luftdruckunterschiede, die wiederum Auslöser für lokale thermische Windsysteme sind. Ausgangspunkt dieses Prozesses sind die nächtlichen Temperaturunterschiede, die sich zwischen Siedlungsräumen und vegetationsgeprägten Grün- und Freiflächen einstellen. An den geneigten Flächen setzt sich abgekühlte und damit schwerere Luft in Richtung zur tiefsten Stelle des Geländes in Bewegung. So entstehen an den Hängen die nächtlichen Kaltluftabflüsse (u.a. MOSIMANN et al. 1999). Die Windgeschwindigkeit dieses kleinräumigen Phänomens wird in erster Linie durch das Temperaturdefizit zur umgebenden Luft und durch die Neigung des Geländes bestimmt.

Neben den orographisch bedingten Strömungen mit Kaltluftabflüssen bilden sich auch so genannte Flur-/Strukturwinde, d.h. eine direkte Ausgleichsströmung vom hohen zum tiefen Luftdruck aus. Sie entstehen, wenn sich stark überbaute oder versiegelte Gebiete stärker erwärmen als umliegende Grün- und Freiflächen, und dadurch ein thermisches Tief über den urbanen Gebieten entsteht (vgl. Abb. 2.8). Der resultierende Druckgradient kann daraufhin durch einströmende kühlere Luftmassen aus dem Umland ausgeglichen werden (u.a. KIESE et al. 1992).

Für die Ausprägung dieser Strömungen ist es wichtig, dass die Luft über eine gewisse Strecke beschleunigt werden kann und nicht durch vorhandene Hindernisse wie Bebauung abgebremst wird. Die Flur-/ Strukturwinde sind eng begrenzte, oftmals nur schwach ausgeprägte Strömungsphänomene, die bereits durch einen schwachen überlagernden Wind überdeckt werden können. Ihre Geschwindigkeit liegt meist unterhalb von $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (MOSIMANN et al. 1999).

Die landnutzungstypischen Temperaturunterschiede beginnen sich schon kurz nach Sonnenuntergang herauszubilden und können die ganze Nacht über andauern. Dabei erweisen sich insbesondere Wiesen- und Ackerflächen als kaltluftproduktiv. Abhängig von den Oberflächeneigenschaften und Abkühlungsraten geht damit die rasche Entwicklung von Kaltluftströmungen einher, die zunächst vertikal nur von geringer Mächtigkeit (5-10 m Schichthöhe) sind und sich zwischen der Vielzahl der unterschiedlich temperierten Flächen ausbilden. Diese kleinskaligen Windsysteme werden im Laufe der Nacht von horizontal und vertikal etwas mächtigeren Flur- und Hangwinden (mehrere Dekameter Mächtigkeit) überdeckt, die zwischen den großen Freiflächen und überbauten Arealen entstehen.

Den hier beschriebenen Phänomenen kommt eine besondere landschaftsplanerische Bedeutung zu: Größere Siedlungen wirken aufgrund ihrer hohen aerodynamischen Rauigkeit als Strömungshindernis. Aus diesem Grund sind die Durchlüftung der Stadtkörper und ihr Luftaustausch mit dem Umland generell herabgesetzt. Die Abfuhr von schadstoffbelasteten und überwärmten Luftmassen in den Straßenschluchten kann in Abhängigkeit von der Bebauungsart und -dichte deutlich eingeschränkt sein. Speziell bei austauschschwachen Wetterlagen und für Städte in Muldenlage (wie in Nürnberg) wirken sich diese Faktoren bioklimatisch ungünstig aus. Daher können die genannten Strömungssysteme durch die Zufuhr frischer und kühlerer Luft eine bedeutende klimaökologische Ausgleichsleistung für die Belastungsräume erbringen.

Ergebnisse Strömungsfeld:

Die Kaltluftströmung ist in der vorliegenden Untersuchung ein wichtiger Parameter zur Beurteilung des Kaltlufthaushaltes, wobei sich vor allem die Luftaustauschprozesse am Stadtrand erst in der zweiten Nachthälfte vollständig ausgebildet haben. Daher wird im Folgenden auf die Ergebnisse zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens eingegangen.

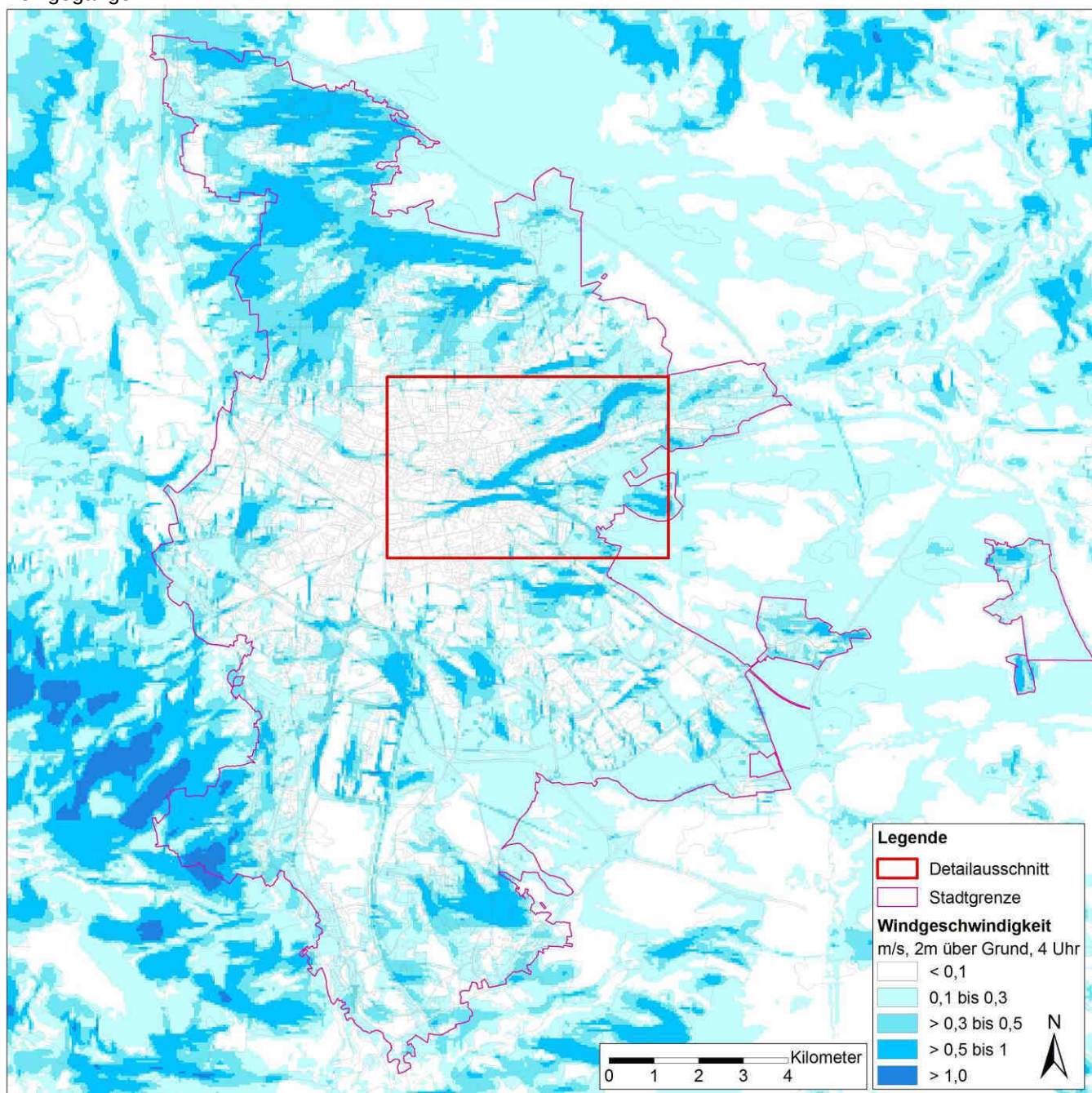


Abb. 4.7: Windgeschwindigkeiten im Untersuchungsgebiet Nürnberg

Die Ergebniskarte 3 (s. Anhang) stellt das zum nächtlichen Analysezeitpunkt ausgeprägte Kaltluftströmungsfeld in zwei Ebenen dar. Die Strömungsrichtung und Strömungsgeschwindigkeit wird über die Pfeilrichtung und Pfeillänge in Form von Vektoren abgebildet, wobei die Pfeile der Karte für eine übersichtlichere Darstel-

lung auf 100 m x 100 m Kantenlänge (entspricht 4 Rasterzellen) aggregiert worden sind. Die unterlegten Rasterzellen stellen zudem die Windgeschwindigkeit flächenhaft in Farbstufung dar. Die Werte beziehen sich auf eine Analysehöhe von 2 m über Grund. Abgebildet sind alle Zellen des ursprünglichen 50 m Rasters, für die aufgrund einer modellierten Mindestwindgeschwindigkeit von $\geq 0,1$ m/s und unter Berücksichtigung der gebietstypischen Ausprägung eine potenzielle klimaökologische Wirksamkeit angenommen werden kann.

Die für das 2 m-Niveau wiedergegebenen Strömungsgeschwindigkeiten innerhalb des Untersuchungsraums reichen von vollkommener Windstille bis zu Maximalwerten von 1,5 m/s im südwestlichen Untersuchungsgebiet (dunkelblau). Abbildung 4.7 zeigt die räumliche Ausprägung der Strömungsgeschwindigkeit zum Zeitpunkt 4 Uhr als Raster im Untersuchungsgebiet. Überdurchschnittlich hohe Werte von mehr als 1 m/s sind angrenzend an den Rand des Stadtgebiet Nürnberg westlich der Rednitz auf den zum Rednitztal geneigten Ackerflächen anzutreffen.

Über den landwirtschaftlich genutzten Flächen im Norden des Nürnberger Stadtgebiets (Knoblauchsland) und über dem Gelände des Flughafens sind verbreitet Windgeschwindigkeiten von 0,5 bis 1 m/s modelliert worden. Gleiches gilt für Kaltluftleitbahnen wie dem Bereich der Pegnitz-Niederung und des Wöhrder Sees im Osten des Stadtgebiets. Hier wird das Eindringen von Kaltluft in den Siedlungskörper durch eine gering überbaute und grüne geprägte Oberflächenstruktur begünstigt. Die Kaltluft innerhalb des Nürnberger Reichswalds weist dahingegen im betrachteten bodennahen Bereich (2 m über Grund) aufgrund des Strömungswiderstands im Stammraum vergleichsweise geringe Windgeschwindigkeiten auf.

Die Eindringtiefe der Kaltluft in die Siedlungsräume und damit auch das Maß der bioklimatischen Gunstwirkung während sommerlicher Hochdruckwetterlagen wird stark von der Bebauungsstruktur und der Intensität der Kaltluftdynamik beeinflusst. Ganz allgemein wird eine vergleichsweise gering überbaute Einzel- und Reihenhausbauung besser durchströmt als eine Block- und Blockrandbebauung. Die Spanne der Eindringtiefe variiert deutlich und beträgt, abhängig von den baustrukturellen Bedingungen, zwischen 100 m und 700 m. Eine intensive Durchlüftung von durchgrünten Siedlungstypen bewirkt hier die sehr günstigen und günstigen bioklimatischen Bedingungen (vgl. Kap. 5.2, S. 59). Beispielhaft sind hier die ländlichen Stadtteile Nürnbergs im Knoblauchsland mit ihren dörflichen Strukturen zu nennen. Große Teile der Gewerbeflächen sowie der Stadtteilzentren werden hingegen nicht nennenswert von Kaltluft durchströmt, da die zunehmende Bebauungsdichte und das im Vergleich zum Freiland höhere Temperaturniveau die Kaltluftströmung abschwächen. Auf Grund der kompakten Struktur Nürnbergs sind deshalb die zentral gelegenen Altstadtbereiche, aber auch noch einige angrenzende Stadtteile, wie Galgenhof, Steinbühl und Gostenhof, am schlechtesten durchlüftet (vgl.: Karte 6 und 7).

Kaltluftströmungsfeld - Beispiel Nürnberg-Mitte/-Ost

Den Vertiefungsbereich zeigt Abb. 4.8, wobei das Strömungsfeld der Kaltluft als Pfeilsignatur und die Windgeschwindigkeit als flächenhaftes Raster für den Zeitpunkt 4 Uhr dargestellt sind. Deutlich tritt die Pegnitz-Niederung mit dem aufgestauten Wöhrder See hervor. Die Verengung der Niederung führt zu einem Kanalisationseffekt, durch den sich die Strömungsgeschwindigkeit der herangeführten kälteren Luftmassen erhöht.

Auch der recht breite Gleisbereich südlich der Pegnitz fungiert als Leitbahn und führt die kältere Luft aus dem Umland in die verdichteten Stadtareale. Innerhalb des dargestellten Ausschnitts sind hier die größten Strömungsgeschwindigkeiten von bis zu 1 m/s, vereinzelt auch noch darüber, zu verzeichnen.

Eine gute Durchlüftung weisen auch die weniger dicht bebauten Siedlungsbereiche mit niedrigeren Einzel- und Reihenhäusern auf. Die auftretenden Strömungsgeschwindigkeiten sind mit 0,1 bis 0,3 m/s ähnlich hoch wie in den angrenzenden Waldgebieten.

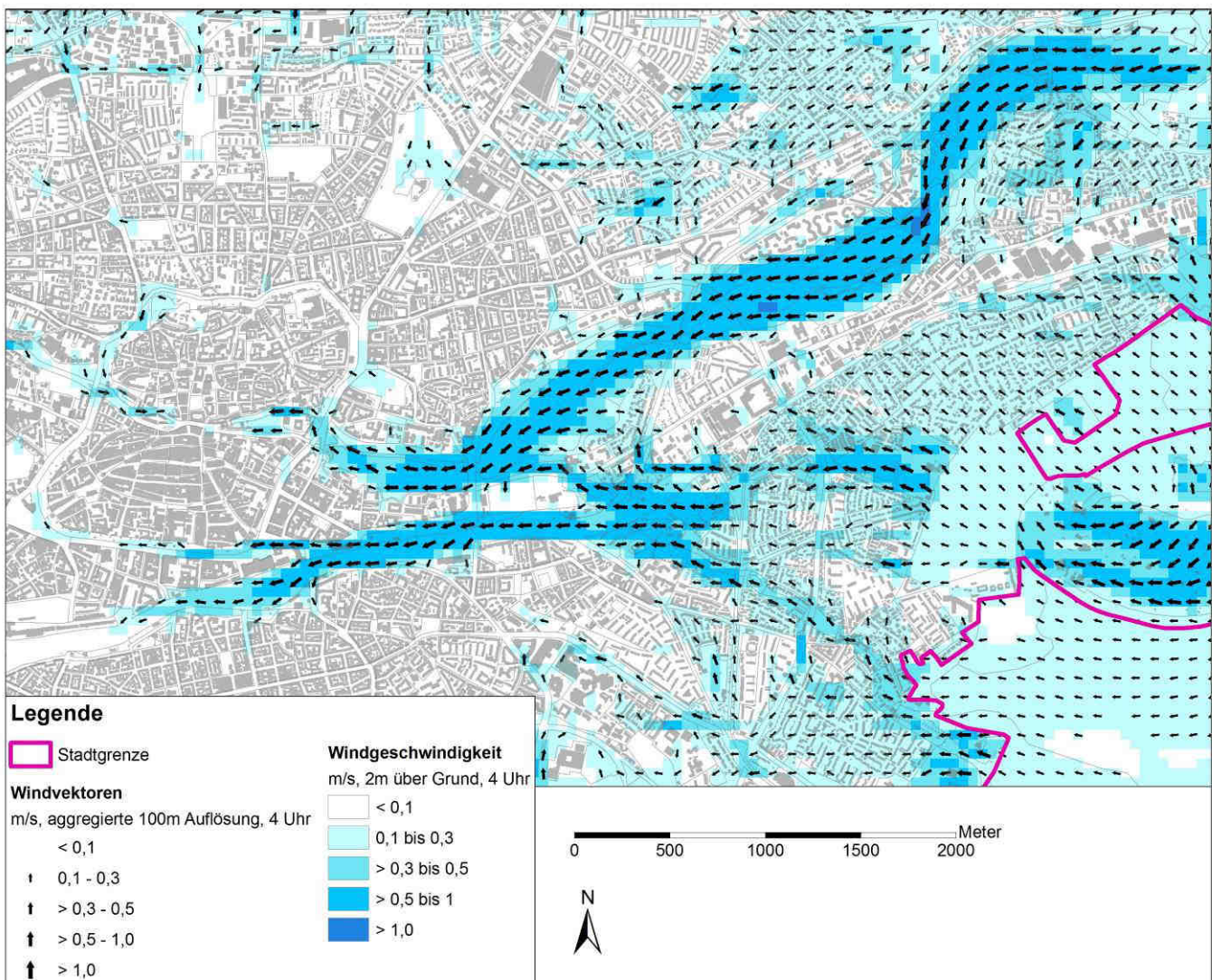


Abb. 4.8: Kaltluftströmungsfeld und Windgeschwindigkeit im Vertiefungsraum Nürnberg-Mitte/-Ost

Im Bereich Bahnhofsvorplatz/Frauentorgraben zeigt sich, dass auch kleinere Grünzüge oder breite Straßenräume kleinräumig zur Durchlüftung stark verdichteter Gebiete beitragen können. Innerhalb der verdichteten Blockbebauung kommt auf Grund der Hinderniswirkung die Kaltluftströmung schneller wieder zum Erliegen.

4.4 Kaltluftvolumenstrom

Den lokalen, durch Dichteunterschiede angetriebenen Ausgleichsströmungen kommen während windschwacher Nächte eine besondere Bedeutung beim Abbau von Wärme- und auch Schadstoffbelastungen größerer Siedlungsräume zu. Die potenzielle Ausgleichsleistung der Kaltluftströmung kann aber nicht allein aus der bodennahen Strömungsgeschwindigkeit abgeleitet werden, da sie zu einem wesentlichen Teil von der Mächtigkeit der Kaltluftschicht und damit von der tatsächlich transportierten Masse an Kaltluft abhängig ist. Als quantitativer Parameter für die Ausgleichsleistung von Flächen wird daher der sogenannte Kaltluftvolumenstrom betrachtet, der das transportierte Volumen an Kaltluft durch eine definierte vertikale Fläche senkrecht zur Strömungsrichtung angibt. Dabei wird das transportierte Luftvolumen über die absolute Höhe der Kaltluftschicht aufsummiert (integriert). Die horizontale Breite der Fläche entspricht bei den hier durchgeführten Auswertungen der Gitterweite des Strömungsmodells (hier 50 m). Der Kaltluftvolumenstrom ist damit ein Maß für die Menge an Kaltluft die aus einer Gitterzelle des Modells ausströmt. Als Mittelwert für eine Grün- oder Freifläche ist der Kaltluftvolumenstrom damit ein Maß für die Kaltluftlieferung dieser Fläche. Für die Auswertung wurde der Zeitpunkt 04 Uhr morgens gewählt, da zu diesem Zeitpunkt die Intensität der Kaltluftströme voll ausgeprägt ist.

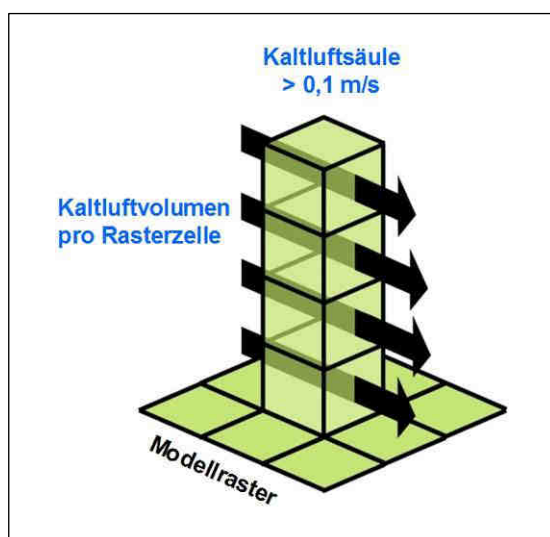


Abb. 4.9: Prinzipskizze Kaltluftvolumenstrom

Unter dem Begriff Kaltluftvolumenstrom versteht man somit, vereinfacht ausgedrückt, das Produkt aus der Fließgeschwindigkeit der Kaltluft, ihrer vertikalen Ausdehnung (Schichthöhe) und der horizontalen Ausdehnung des durchflossenen Querschnitts (Durchflussbreite). Er beschreibt somit diejenige Menge an Kaltluft in der Einheit m^3 , die in jeder Sekunde durch den Querschnitt beispielsweise eines Hanges oder einer Leitbahn fließt. Für die dargestellten Werte bedeutet dies folgendes: Da die Modellergebnisse nicht die Durchströmung eines natürlichen Querschnitts widerspiegeln, sondern den Strömungsdurchgang der gleichbleibenden Rasterzellenbreite, ist der resultierende Parameter streng genommen nicht als Volumenstrom, sondern als rasterbasierte Volumenstrom-dichte aufzufassen.

Diesen Wert kann man sich leicht veranschaulichen, indem man sich ein 25 m breites, quer zur Luftströmung hängendes Netz vorstellt, das ausgehend von der Obergrenze der Kaltluftschicht⁶ bis hinab auf die Erdoberfläche reicht (Abb. 4.9). Bestimmt man nun die Menge der pro Sekunde durch das Netz strömenden Luft, erhält man die rasterbasierte Volumenstromdichte. Der Volumenstrom ist damit ein Maß für den *Zustrom von Kaltluft* und bestimmt somit, neben der Strömungsgeschwindigkeit, die Größenordnung des Durchlüftungspotenzials.

⁶ Die Schichtgrenze wird dort angesetzt, wo die horizontale Fließgeschwindigkeit geringer als $0,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ wird

Wie auch die anderen Klimaparameter ist der Kaltluftvolumenstrom eine Größe, die während der Nachtstunden in ihrer Stärke und Richtung veränderlich ist. Die sich im Verlauf der Nacht einstellenden Strömungsgeschwindigkeiten der Kaltluft und damit deren Volumenstrom hängen im Wesentlichen von der Temperaturdifferenz der Kaltluft gegenüber der Umgebungsluft, der Hangneigung und der Oberflächenrauigkeit ab. Die Eindringtiefe von Kaltluft in bebautes Gebiet hängt wesentlich von der Bebauungsdichte und –höhe, aber auch der anthropogenen Wärmezufuhr ab. Darüber hinaus können natürliche Hindernisse wie zum Beispiel dichte Waldbestände einen abbremsenden Einfluss ausüben. Dies wird in Nürnberg zum Beispiel in dem Waldgebiet östlich von Reichelsdorf deutlich. In anderen an das Stadtgebiet angrenzenden Waldbereichen wird dieser abbremsende Effekt durch die Hangneigung ausgeglichen (z.B. Eibacher Forst), so dass dieser Effekt für Nürnberg nur eine untergeordnete Rolle spielt. Ebenso tragen natürliche Wärmequellen wie z.B. Wasseroberflächen zu einer Erwärmung der Kaltluftschicht bei und beeinflussen so die Ausgleichsströmungen.

Gebäude, Mauern, Straßendämme oder Lärmschutzwände können als Strömungshindernisse und luvseitig einen markanten Kaltluftstau auslösen. Bei einer mesoskaligen Rasterzellenweite von 50 m x 50 m werden kleinräumige Hindernisse wie z.B. Lärmschutzwände nicht explizit abgebildet. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass mächtigere Kaltluftschichten, die sich erst im Laufe einer Nacht ausbilden, lokale Hindernisse über- oder umströmen.

Ausgehend von der gebietstypischen Ausprägung im Untersuchungsraum wird als Schwellenwert für einen klimaökologisch wirksamen Kaltluftstrom ein Wert von mehr als 600 m³/s angenommen, wobei die innenstadtnahen Siedlungsflächen meist einen geringen Volumenstrom aufweisen.

Die räumliche Ausprägung des Kaltluftvolumenstroms im Untersuchungsraum geht im Wesentlichen mit der des bodennahen Strömungsfeldes einher. Abbildung 4.10 zeigt den Kaltluftstrom für das gesamte Stadtgebiet in einer qualitativen Abstufung (vgl. auch Karte 4).

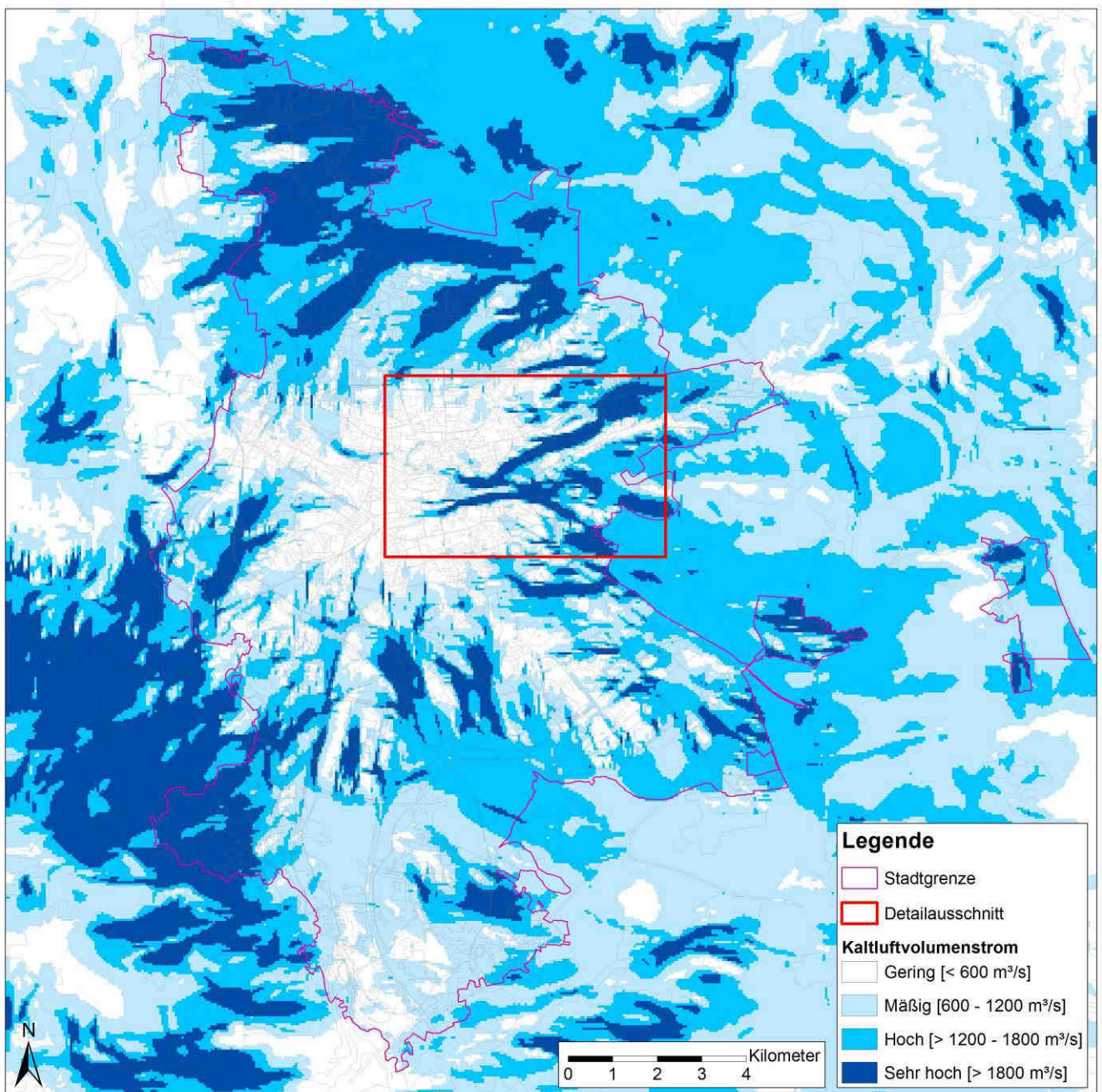


Abb. 4.10: Kaltluftvolumenstrom zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens im Untersuchungsgebiet Nürnberg

Analog zur Strömungsgeschwindigkeit treten die höchsten Werte vor allem über den großen Kaltluft produzierenden Flächen auf. Innerhalb von Straßenschluchten können die Werte durch eine Strömungskanalisation auch kleinräumig auf eine hohe bis sehr hohe Stufe ansteigen.

In weiten Teilen des übrigen Untersuchungsraums ist ein mäßiger bis hoher Volumenstrom anzutreffen. In den unterdurchschnittlich durchlüfteten Siedlungsflächen liegt dagegen ein geringer Kaltluftvolumenstrom vor. Das bedeutet, dass ein Großteil der zentral gelegenen Siedlungsbereiche davon betroffen ist. Die Eindringtiefe des von Kaltluft produzierenden Flächen ausgehenden Volumenstroms entspricht in etwa der des Kaltluftströmungsfeldes. Damit zeigt sich die Funktion der in Kap. 4.3 angesprochenen Flächen als Kaltluft-

schneisen und ihre Bedeutung für den nächtlichen Luftaustausch während sommerlicher, windschwacher Wettersituationen.

Kaltluftvolumenstrom - Beispiel Nürnberg-Mitte/-Ost

Der Kaltluftvolumenstrom im Bereich Nürnberg-Mitte/-Ost wird in Abb. 4.11 dargestellt, wobei die Kaltluftleitbahnen im Pegnitz-Tal und über den Gleisflächen mit sehr hohen Werten hervorstechen. Im verdichteten Stadtkern Nürnbergs kann die Kaltluft über den Straßenraum an einigen Stellen eindringen, was zum einen auf den hohen Temperaturgradienten als „Antrieb“ für den Luftaustausch und zum anderen auf die große Menge an zur Verfügung stehender Kaltluft zurückzuführen ist. In den angrenzenden Walgebieten sind größtenteils hohe Kaltluftvolumenstromwerte zu finden. Kaum oder gar kein Kaltluftvolumenstrom ist in den stärker verdichteten Stadtgebieten vorhanden. In Abb. 4.11 wird durch die weißen Flächen deutlich, dass ein Großteil der bebauten Bereiche nur einen geringen Kaltluftvolumenstrom aufweist.

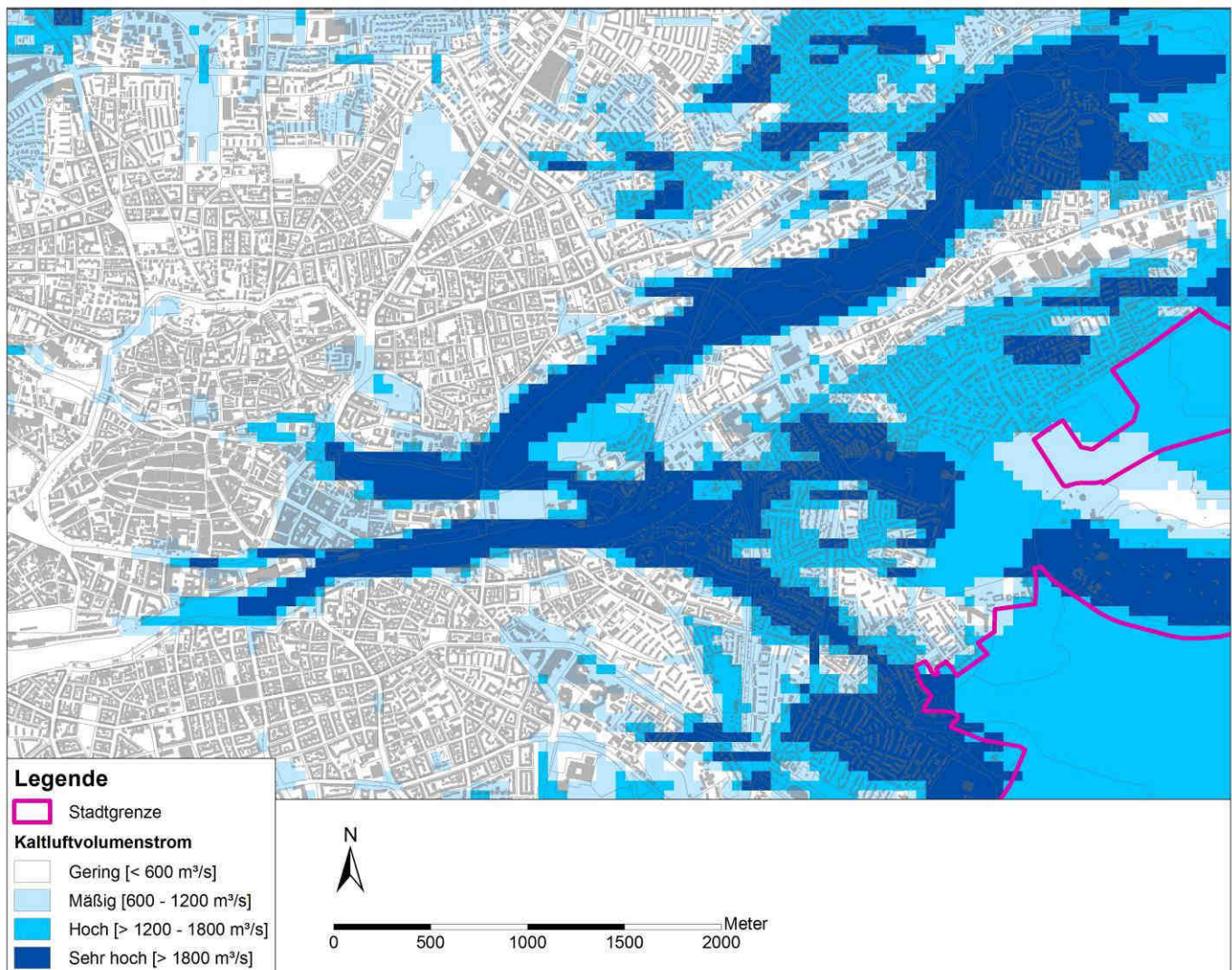


Abb. 4.11: Kaltluftvolumenstrom zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens im Vertiefungsraum Nürnberg-Mitte/-Ost

5. Klimafunktionskarte

Die Klimafunktionskarte fasst als erstes Teilergebnis dieser Untersuchung die klimaökologisch relevanten Strukturen zusammen, die für das Stadtgebiet von Nürnberg auf Grundlage der vorangegangenen Modellsimulationen ermittelt wurden. Die Karte ist dem Anhang des Berichtes zu entnehmen.

Ziel der in der Klimafunktionskarte dargestellten Analyse ist die Gliederung des Untersuchungsraumes in bioklimatisch belastete Siedlungsräume (**Wirkungsräume**) einerseits und Kaltluft produzierende, unbebaute und vegetationsgeprägte Flächen andererseits (**Ausgleichsräume**). Sofern diese Räume nicht unmittelbar aneinander grenzen, kann ein Kaltlufttransport vom Ausgleichs- zum Wirkungsraum über gering bebaute Grün- und Freiflächen erfolgen. Finden diese Luftaustauschprozesse in deutlicher Ausprägung über Grün- und Freiflächen mit begrenztem Querschnitt statt, werden solche Flächen als **Leitbahnen** bezeichnet. Aus der Abgrenzung von Gunst- und Ungunsträumen sowie der verbindenden Strukturen ergibt sich somit ein schematisches Bild vom Prozesssystem der Luftaustauschströmungen des **Ausgleichsraum-Wirkungsraum-Gefüges** im Stadtgebiet von Nürnberg. Neben einer Abgrenzung der Funktionsräume, ist die qualitative Bewertung der einzelnen klimatischen Funktionsräume eine Kernaussage der Klimafunktionskarte:

- Einteilung der Grün- und Freiflächen (Ausgleichsräume) entsprechend ihres Kaltluftliefervermögens
- Klassifizierung der Siedlungsräume (Wirkungsräume) entsprechend ihrer bioklimatischen Belastung
- Bewertung lokaler und regionaler Luftaustauschströmungen

Die Klimafunktionskarte bildet dabei den planungsrelevanten Ist-Zustand ab. Sie konzentriert sich auf die Darstellung derjenigen Elemente und Bereiche, die sich mit landschaftsplanerischen Maßnahmen beeinflussen lassen (Maßnahmen zum Schutz, zur Sicherung und zur Entwicklung der Schutzgüter Klima und Luft). Die Klimafunktionskarte liefert somit eine Basis, anhand der klimatische Beeinträchtigungen abgeschätzt werden können, die sich aus Nutzungsänderungen ergeben könnten. Darüber hinaus stellt sie die Grundlage für ein räumliches Handlungskonzept für den Bereich Klima/Luft in der Landschaftsplanung bereit.

Der Aufbau der Karte folgt dem Konzept des Ausgleichsraum-Wirkungsraum-Gefüges, wobei in den folgenden Unterkapiteln auf die Inhalte näher eingegangen wird.

5.1 Grün- und Freiflächen

Vegetationsgeprägte Grün- und Freiflächen mit einer nennenswerten Kaltluftproduktion stellen klima- und immissionsökologische Ausgleichsräume dar und können über Hang- und Flurwinde die Wärmebelastung in Siedlungsflächen verringern. Solche Flächen mit hoher Kaltluftproduktion sind für Siedlungsgebiete nur dann von Relevanz, wenn ein Transport der Kaltluft zu den Siedlungsbereichen erfolgen kann. Ein Maß für den Transport von Kaltluft ist der Kaltluftvolumenstrom. Die Gesamtfläche der Kaltluft produzierenden Grün- und

Freiflächen in Nürnberg beziffert sich auf etwa 9360 Hektar, was einem Flächenanteil von rund 50% des Stadtgebietes entspricht. Unter dem Begriff Grün- und Freiflächen sind in diesem Bericht sämtliche öffentliche und private Flächen mit überwiegendem Grünbewuchs wie Parkanlagen, Sportplätze, Friedhöfe, Kleingartenanlagen, landwirtschaftliche genutzten Flächen und bewachsene Brachflächen sowie größere private Gärten und Grünzüge zusammengefasst.

Für die Klimafunktionskarte werden Grün- und Freiflächen ausschließlich hinsichtlich ihres Liefervermögens von Kaltluft charakterisiert. Bewertungskriterium ist der Volumenstrom als Maß für den Zustrom von Kaltluft aus benachbarten Flächen. Die Bewertung der Grün- und Freiflächen erfolgt auf Grundlage einer qualitativen Einordnung der Kaltluftvolumenströme in 4 Klassen (s. Kap. 3.3.1). Tabelle 5.1 fasst die ausgewiesenen Kategorien zusammen.

Kaltluftlieferung	Flächengröße [ha]	Anteil am Grün- und Freiflächenbestand [%]
Sehr hoch	2602	27,8
Hoch	3633	38,8
Mäßig	2732	29,2
Gering	394	4,2

Tab. 5.1: Qualitative Einordnung der Kaltluftlieferung von Grün- und Freiflächen im Stadtgebiet Nürnberg

Um die Ausprägung der Klimaparameter auf planungsrelevante und maßstabsgerechte Einheiten zu übertragen, wurden den in der Flächennutzungstypenkartierung ausgewiesenen Grün- und Freiflächen die relevanten Klimaparameter wie z.B. Kaltluftvolumenstrom und Kaltluftproduktionsrate zugeordnet. Dafür wurden alle Rasterzellen, die von einer bestimmten Fläche überdeckt werden, mit Hilfe von zonalen Analysen zusammengefasst und statistisch ausgewertet. Auf diese Weise erhält jede Fläche eine umfassende Statistik aller zugehörigen Klimaparameter, die unter anderem die Minimal-, Maximal- und Mittelwerte der flächenspezifischen Werteausprägungen umfasst.

Das Vorgehen soll am Beispiel des Westfriedhofs dargestellt werden, wobei Abb. 5.1 einen Ausschnitt der Klimafunktionskarte zeigt. Die dargestellten Pfeile zeigen die Windvektoren in einer aggregierten 100m Auflösung ohne rasterbasierten Volumenstrom.

Es wird deutlich, dass die Strömung im Bereich des Westfriedhofs unterschiedlich stark ausgeprägt ist. Während im Osten der Fläche eine Windgeschwindigkeit von 0,1 bis 0,3 m/s anzutreffen ist, ist über dem Westteil nahezu Windstille zu beobachten. Dieser Befund lässt sich auf den Kaltluftvolumenstrom übertragen, da sich der Kaltluftvolumenstrom aus der Strömungsgeschwindigkeit und der Kaltluftproduktion zusammen setzt: Er ist im Osten deutlich höher als im Westen des Friedhofs, vor allem im Übergang zur Pegnitzniederung. Für die qualitative Einordnung des Volumenstroms gemäß Tab. 5.1 wird dieser gemittelt, so dass im Ergebnis die gesamte Fläche des Westfriedhofs eine mäßige Kaltluftlieferung zugeordnet bekommt und dadurch die Heterogenität innerhalb der Fläche geglättet wird. Die kleinere weiße Teilfläche südwestlich des Friedhofs befindet sich dahingegen komplett im Bereich des geringen Luftaustauschs und bekommt deshalb nur eine geringe Kaltluftlieferung zugeordnet.

Die qualitative Zuordnung der Flächen spiegelt also lediglich deren gemittelte durchschnittliche Kaltluftlieferung wieder. Auf Grund der unterschiedlichen Größen und der Lage der Flächen kann es daher dazu kommen, dass angrenzende Flächen unterschiedlich eingestuft werden. Die Einstufung der Kaltluftlieferung dient zum Verständnis der Luftaustauschprozesse und nicht zur Beurteilung der Relevanz der Flächen für die Planung. Die stadtklimatische Bedeutung der Grün- und Freiflächen wird in der Planungshinweiskarte dargestellt und berücksichtigt zudem die bioklimatische Situation in den Siedlungsräumen (vgl. Kapitel 6).

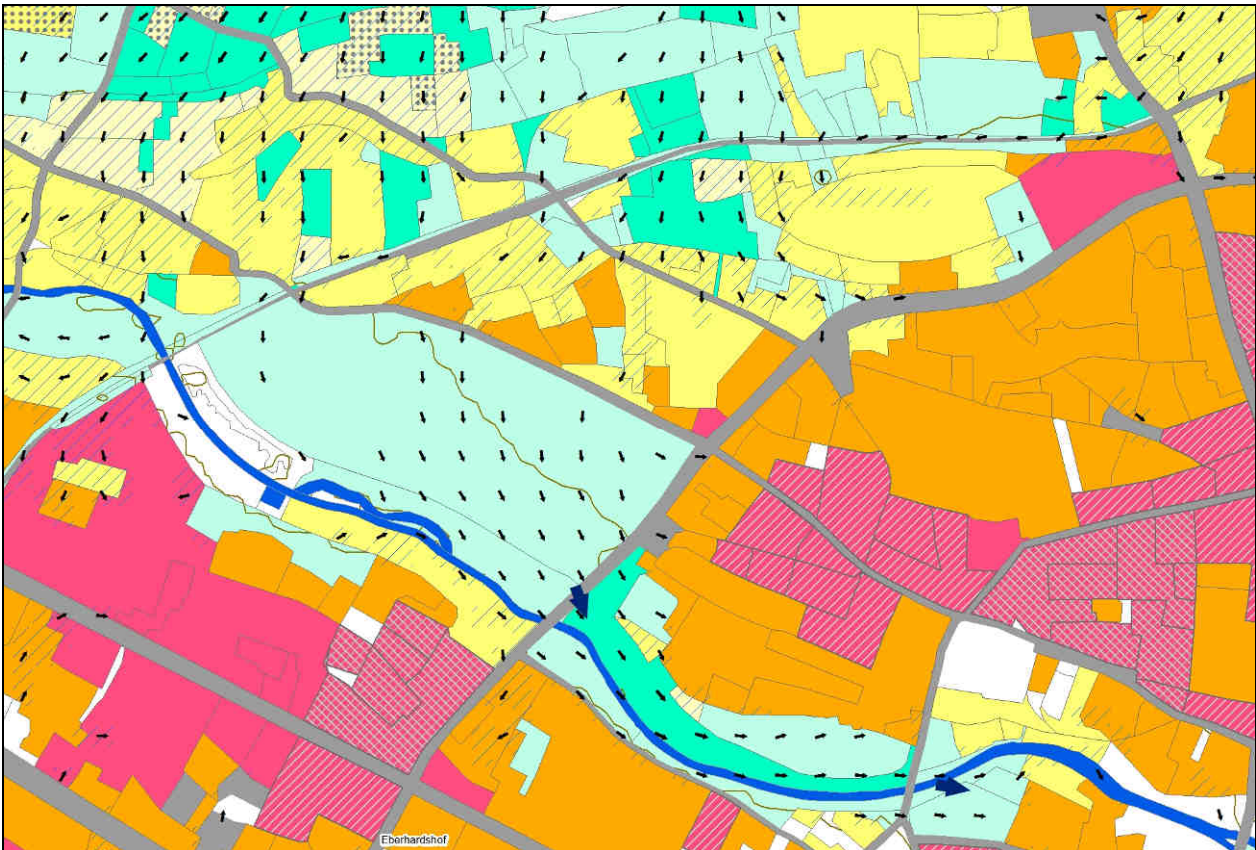


Abb. 5.1: Ausschnitt Klimafunktionskarte im Bereich Westfriedhof (ohne Volumenstrom) mit Darstellung der Windvektoren
(Legende Klimafunktionskarte siehe Abb. 5.2)

Vor allem die ausgedehnten Grün- und Freiflächen des Knoblauchlands im Norden des Stadtgebiets treten als Zonen mit einer sehr hohen Kaltluftlieferung hervor. Diese Flächen sind insgesamt leicht in Richtung Pegnitz-Niederung geneigt, was zu einem Abströmen der Kaltluft in diese Richtung führt. Dies hat zur Folge, dass die Kaltluft aus dem Norden nicht direkt auf das verdichtete Stadtgebiet zufließt und nicht zur Entlastung der Innenstadt beitragen kann. Dennoch kann Kaltluft aus den direkt angrenzenden Grün- und Freiflächen in die Randgebiete der Bebauung eindringen (s. Abb. 5.2). Im Südwesten des Stadtgebiets liegen größere Grün- und Freiflächen auf stärker geneigten Hängen, die sich zur Rednitz-Niederung erstrecken. Diese Flächen weisen ebenfalls eine sehr hohe Kaltluftlieferung auf. Auf Grund der stärkeren Hangneigung kann die Kaltluft hier schneller abfließen, mehrere 100 m weit in die angrenzende Bebauung eindringen und diese stellenweise komplett durchströmen. Insgesamt weisen ca. 2602 ha der Grün- und Freiflächen eine sehr hohe Kaltluftlieferung auf. Das sind etwa 27,8 % der gesamten Grün- und Freiflächen (s. Tab. 5.1).

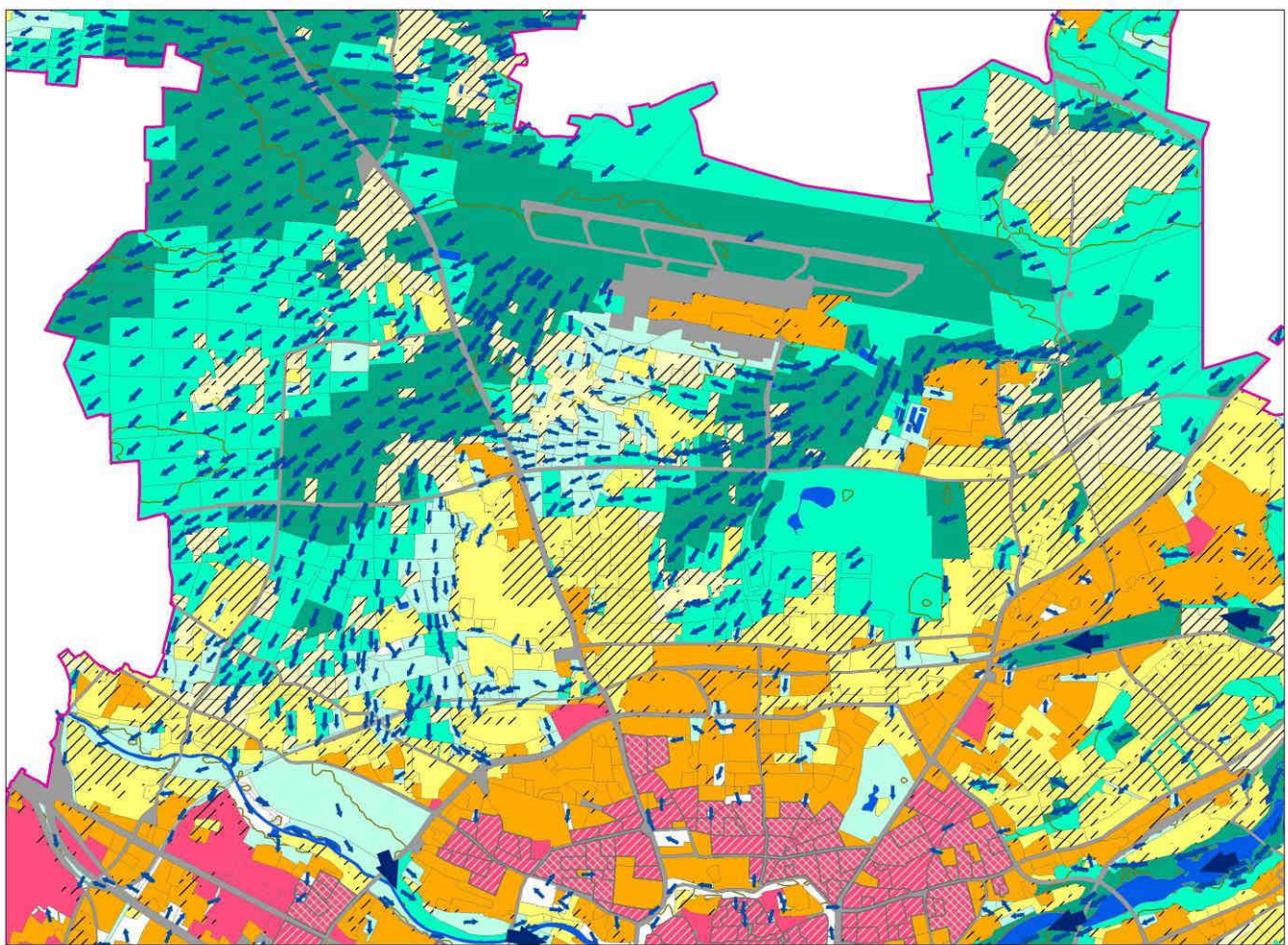
Flächen mit einer hohen Kaltluftlieferung sind zumeist im Verbund mit Flächen sehr hoher Kaltluftlieferung zu finden. Es handelt sich zum einen um landwirtschaftliche Flächen (vor allem im Norden des Stadtgebiets), zum anderen weisen auch einige Waldflächen auf geneigtem Gelände eine hohe Kaltluftlieferung auf, da hier ein Kaltluftabfluss aus dem Bestand heraus erfolgen kann. In ebener Lage kann die Kaltluft allerdings schlechter abfließen. Aus diesem Grund sind auch einige Waldflächen mit nur mäßiger Kaltluftlieferung im Stadtgebiet Nürnbergs zu finden. Auch innerstädtische Grünareale wie zum Beispiel der Westfriedhof, der Stadtpark oder südlich der Dutzendteiche fallen in die Klasse. Auf Grund der Lage im Stadtgebiet ist die Ausgleichsleistung dieser Flächen ebenfalls als klimaökologisch relevant einzustufen. Insgesamt weisen 3633 ha (38,8 %) des Grün-/Freiflächenbestands eine hohe Kaltluftlieferung und 2732 ha (29,2 %) des Grün- und Freiflächenbestands eine mäßige Kaltluftlieferung auf. Die großen wichtigen Kaltluftliefergebiete des Umlands von Nürnberg sind in der folgenden Tabelle 5.2 zusammengefasst:

Fläche	Lage	Funktion
Knoblauchsland	Im Norden von Nürnberg	Versorgung der Ortschaften des Knoblauchslands und der südlich angrenzenden Bebauung mit Kaltluft
Hangflächen zur Rednitzniederung rund um Krottenbach	Im Südwesten von Nürnberg	Versorgung u.a. von Mühlhof, Reichelsdorf, Eibach und Röthenbach mit Kaltluft
Eibacher Forst und östlich angrenzende Waldgebiete	Im Südosten von Nürnberg	Versorgung u.a. von Falkenheim, Langwasser, Moorenbrunn und Altenfurt mit Kaltluft

Tab. 5.2: Große Kaltluftliefergebiete in Nürnberg

Darüber hinaus sind die kleineren Grün- und Freiflächen wie zusammenhängende Hausgärten, kleine Stadtteilparks oder nicht überbaute Ruderalflächen mit niedriger Größe und geringem Kaltluftvolumenstrom zu nennen. Diese Areale bilden selten eine eigene Kaltluftströmung und damit einen Einwirkungsbereich aus, da sie in eine insgesamt wärmere Bebauung eingebettet sind. Durch die isolierte Lage in der Bebauung weisen sie zudem keine Anbindung an vorhandene Leitbahnen auf. Innerhalb von Waldflächen handelt es sich um kleinere Gebiete mit unterdurchschnittlicher Strömungsgeschwindigkeit der Kaltluft im Stammraum, was mit entsprechend geringen Werten einhergeht. Einen sehr geringen Kaltluftvolumenstrom weisen mit 394 ha etwa 4,2 % der Grün- und Freiflächen auf.

Innerhalb von Belastungsbereichen können aber auch diese Flächen eine bedeutsame Funktion als klimaökologische Komfortinseln erfüllen. Sie wirken als „Klimaoasen“, wenn sie in klimatisch ungünstigen Siedlungsgebieten liegen. Während sommerlicher Hochdrucklagen mit intensiver Einstrahlung und Wärmebelastung erfüllen auch diese kleinen innerstädtischen Grün- und Freiflächen tagsüber eine wichtige Funktion als bioklimatische Erholungsräume. Dies gilt insbesondere dann, wenn sie durch Schattenbereiche, z.B. durch lichten Baumbestand und Wasserflächen, ein vielfältiges Mosaik unterschiedlicher Mikroklimata aufweisen.



Legende

- Stadtgrenze
- Gewässer
- Straßen- und Gleisflächen
- Höhenlinien 10m-Abstand

Ausgleichsräume

Kaltluftlieferung der Grün- und Freiflächen

Mittlerer Kaltluftvolumenstrom/Rasterzelle [m^3/s]

- Gering < 600
- Mäßig 600 - 1200
- Hoch 1200 - 1800
- Sehr hoch > 1800

Einwirkbereiche der Kaltluftentstehungsgebiete

- Wirkungsbereich der lokal entstehenden Strömungssysteme innerhalb der Bebauung

Wirkungsräume

Bioklimatische Situation in den Siedlungsräumen

- Ungünstig
- Weniger günstig
- Günstig
- Sehr günstig

Luftaustausch

- ↑ Kaltluftleitbahn

Hauptströmungsrichtung der Flurwinde in den Grün- und Freiflächen

Volumenstrom

- ↑ Mäßig
- ↑ Hoch
- ↑ Sehr hoch

Bevölkerungsdaten

- Bioklimatisch ungünstige Siedlungsflächen mit hoher Einwohnerdichte
- Bioklimatisch ungünstige Siedlungsflächen mit hoher Einwohnerdichte und einem hohen Anteil sehr junger und/oder alter Menschen

0 1 2 3 Kilometer



Abb. 5.2: Klimafunktionskarte/Ausschnitt Nürnberg-Nord

Die Stadt Nürnberg weist auf Grund der großen landwirtschaftlichen Flächen und Waldgebiete im Umland eine gute Frei- und Grünflächenausstattung auf, die durch die sehr kompakte Stadtstruktur zum Stadtkern hin allerdings stark sinkt. Hier ist der Grün- und Freiflächenanteil insgesamt zu gering, es fehlen vor allem größere Grün- und Freiflächen. Umso wichtiger sind dort auch kleinere, öffentlich zugängliche Grün- und Freiflächen wie beispielsweise der Bereich Vestnertorgraben/Neutorgraben, der Archivpark oder der Annapark.

Unterschiedliche Struktureigenschaften der Grün- und Freiflächen führen zu einem Mosaik aus Flächen unterschiedlicher Kaltluftdynamik. Die einzelnen (Teil-) Areale innerhalb eines Kaltlufteinzugsgebietes besitzen in ihrer Summenwirkung eine Entlastungsfunktion für benachbarte und weiter entfernte Siedlungsräume.

Abbildung 5.2 zeigt einen Ausschnitt aus der Klimafunktionskarte. Zusätzlich zum Kaltluftvolumenstrom sind in der Abbildung auch kleine Strömungspfeile dargestellt, die die Richtung und Geschwindigkeit der Kaltluftströmung verdeutlichen. Dargestellt wird jeweils ein Strömungspfeil pro Fläche.

Die unter Abbildung 5.2 dargestellte Legende ist für alle weiteren Ausschnitte der Klimafunktionskarte gültig.

5.2 Siedlungsräume

Die Klassifizierung der bioklimatischen Situation der Siedlungsräume erfolgt in vier qualitativen Bewertungskategorien auf Basis des PMV-Wertes als Maß für die Wärmebelastung in einer Sommernacht. In Relation zum Gebietsmittel werden daraus die Siedlungsflächen in bioklimatisch ungünstige und bioklimatisch günstige Bereiche untergliedert (s. Kap. 3.3.2). Abbildung 5.3 zeigt die Verteilung der bioklimatischen Situation auf die Siedlungsflächen Nürnbergs:

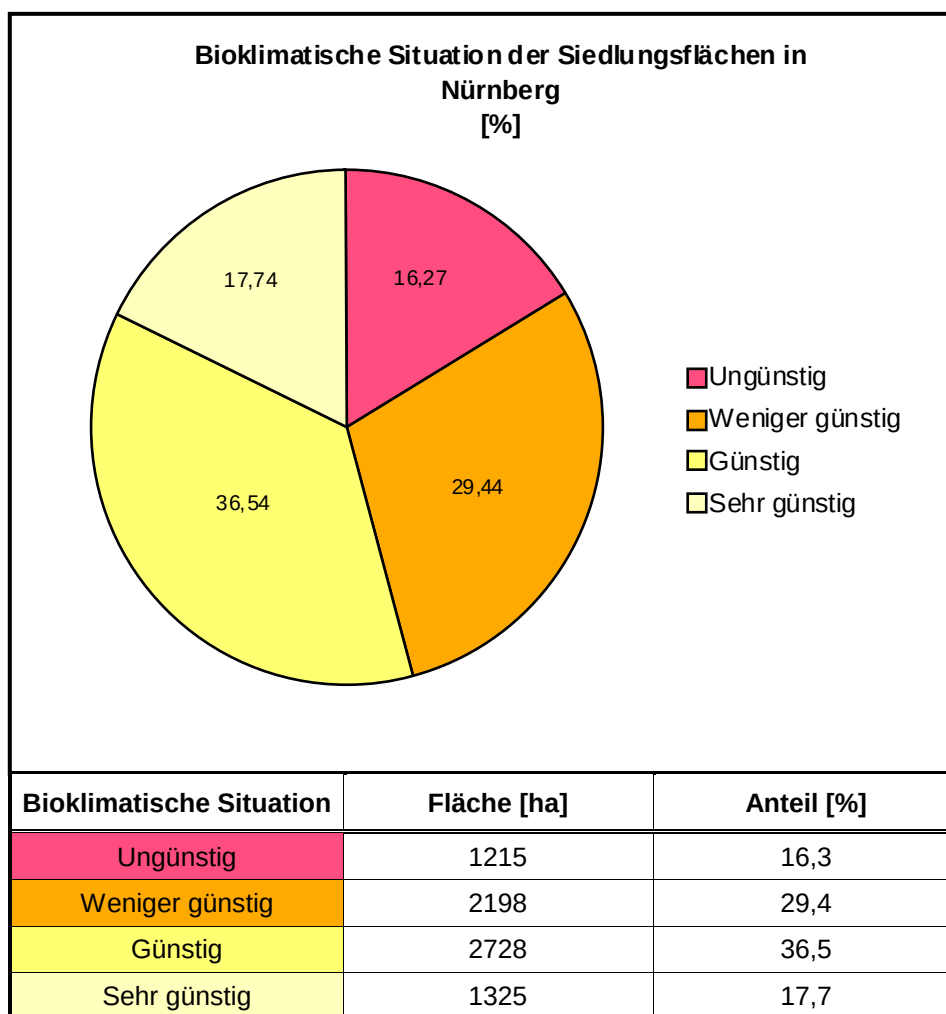


Abb. 5.3: Bioklimatische Situation der Siedlungsflächen in Nürnberg

Bioklimatisch günstige Siedlungsbereiche sind häufig durch eine relativ geringe bauliche Dichte, eine moderate Flächenversiegelung und durchgrünte Bereiche gekennzeichnet. Solche Bebauungsstrukturen sind typisch für Einzel- und Reihenhausbereiche. Liegen solche Siedlungen im Einwirkungsbereich von Kaltluftströmungen erfahren sie zusätzlich eine Entlastung der thermischen Situation. Aufgrund des für Siedlungsräume niedrigen Strömungswiderstandes kann Kaltluft weit in locker bebaute Bereiche eindringen. Kaltlufteinwirkungsbereiche sind in der Klimafunktionskarte durch eine diagonale schwarze Schraffur gekennzeichnet. Insgesamt werden in Nürnberg etwa 42 % des Siedlungsraumes durchlüftet. Diese Flächen befinden sich größtenteils in den randlich gelegenen Siedlungsgebieten oder in Alleinlage zwischen Grün- und Freiflächen.

Wie in Kap. 4.2 erläutert, hängt die Reichweite einer Kaltluftströmung in die Bebauung vor allem vom Ausmaß der Kaltluftdynamik ab. Sie ist bei Flurwinden mit Bezug zu großräumigen Kaltluftentstehungsgebieten wie den landwirtschaftlichen Nutzflächen am intensivsten. Die Eindringtiefe der Kaltluft beträgt zwischen ca. 100 m und bis zu 1600 m. Neben den entstehenden Winden spielt vor allem die Hinderniswirkung des angrenzenden Bebauungstyps eine wesentliche Rolle für das Eindringen der Kaltluft in die Bebauung. Zudem können auch kleinere Grün- und Freiflächen innerhalb der Bebauung relevant sein. Sie sorgen dafür, dass

Kaltluft weiter in die Bebauung vordringen kann. Dies ist zum Beispiel im Bezirk Erlenstegen der Fall (s. Abb. 5.4). In den peripheren, vergleichsweise gering überbauten dörflichen Ortsteilen erfolgt häufig ein flächenhaftes Eindringen von Kaltluft in den Siedlungsraum. Mit Blick auf die gesamtstädtische Situation profitieren vor allem die Bereiche von einer sehr guten Belüftung, welche sich im Einzugsgebiet der Talabwinde befinden. Hierbei handelt es sich vor allem um die Siedlungsflächen im Nordosten Nürnbergs sowie Areale im Südwesten. Insgesamt ist die bioklimatische Belastung bei einer Einzel- und Reihenhausbauung mit einem vergleichsweise niedrigen Versiegelungsgrad und hohem Grünanteil am geringsten ausgeprägt.

Diesen Gunsträumen stehen Belastungsbereiche mit einer überdurchschnittlichen Wärmebelastung und einem Durchlüftungsdefizit gegenüber. Dies betrifft vor allem das Stadtzentrum mit der Altstadt, aber auch einige angrenzende Quartiere, in denen bioklimatisch weniger günstige bzw. ungünstige Bedingungen vorliegen. Diese resultieren aus dem hohen Überbauungs- und Versiegelungsgrad sowie der unzureichenden Durchlüftung. Dabei treten auch die größeren Gewerbe- und Industrieareale (z.B. südlich der Kernstadt) mit einer Belastungssituation hervor, da sie oftmals eine ähnlich verdichtete Bebauungsstruktur und hohe Versiegelungsgrade wie eine Zentrumsbebauung aufweisen.

Abbildung 5.4 zeigt in einem Ausschnitt aus der Klimafunktionskarte den Bereich Nürnberg-Mitte/-Ost, wobei die bioklimatische Situation der Siedlungsräume mit einer Farbabstufung dargestellt ist. Dabei tritt deutlich der Innenstadt-/Altstadt-Bereich als bioklimatisch ungünstig hervor. Die typische Bebauungsstruktur der Zentrums- und Blockbebauung bewirkt während sommerlicher Hochdrucklagen eine Überwärmung dieser Stadtteile. Auf Grund ihres hohen Bauvolumens und ihrer großen Distanz zu Grün- und Freiflächen sind sie außerdem für ausgleichende Kaltluftströmungen kaum zugänglich.

Das Industriegebiet an der Laufamholzstraße weist eine weniger günstige bioklimatische Situation auf. Die langgezogene Struktur des Gebiets und die direkt umliegenden Grün- und Freiflächen führen hier zu einer vergleichsweise hohen thermischen Entlastung des Gebiets, so dass einer stärkeren Belastung im Industriegebiet entgegen gewirkt wird. Flächen, in denen block- und zeilenartige Baustrukturen vorherrschen, ordnen sich in ihren bioklimatischen Eigenschaften zwischen den Bebauungsextremen ein und weisen, je nach ihrer Lage zu Gunst oder Ungunstbereichen, variable Wertausprägungen hinsichtlich der bioklimatischen Situation auf. Dies bedeutet, dass je nach Lage der Flächen die Bewertung trotz ähnlicher Bebauungsstrukturen unterschiedlich ausfallen kann. Beispielhaft lässt sich dies in Abb. 5.4 an den Flächen westlich des Stadtparks beobachten. Im Bereich der Straßen „Am Stadtpark“ und „Parkstraße“ herrscht eine Blockrandbebauung vor, die in Zentrumsnähe eine ungünstige bioklimatische Situation aufweist, während die weiter nördlich gelegenen Areale eine weniger günstige bioklimatische Situation aufweisen. Diese Gebiete profitieren von den Grün- und Freiflächen des angrenzenden Stadtparks und der Kleingartenfläche. Gut zu erkennen sind die stark durchströmten Bereiche mit Einzel- und Reihenhausbauung in den Randlagen, welche günstige bis sehr günstige bioklimatische Bedingungen aufweisen. In Abb. 5.4 sind das zum Beispiel die Siedlung in Nürnberg/-Steinplatte, aber auch der Bereich mit Einzel- und Reihenhausbauung in Mögeldorf.

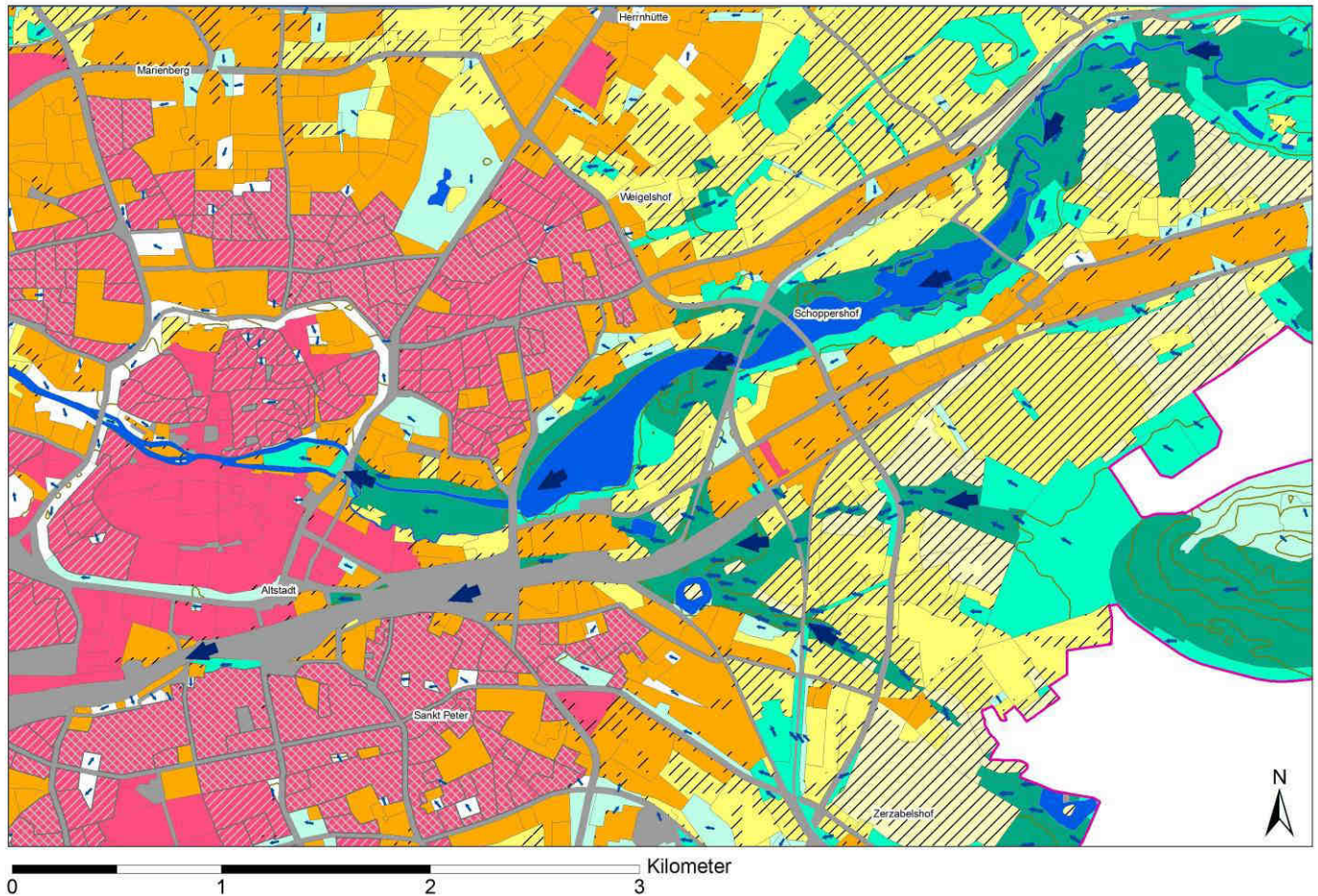


Abb. 5.4: Klimafunktionen im Bereich Nürnberg-Mitte/-Ost

Die in der Klimafunktionskarte dargestellte Verteilung der bioklimatischen Belastung der Siedlungsräume spiegelt zum einen die einzelnen Bebauungstypen im Stadtgebiet mit ihren unterschiedlichen Verdichtungen wider, verdeutlicht aber ebenso die räumliche Lage der Ortsteile zu den Kaltluft liefernden Grün- und Freiflächen und den positiven Einfluss nächtlicher Ausgleichsströmungen. Abbildung 5.5 bilanziert die bioklimatische Situation im Siedlungsraum für die einzelnen Bebauungstypen.

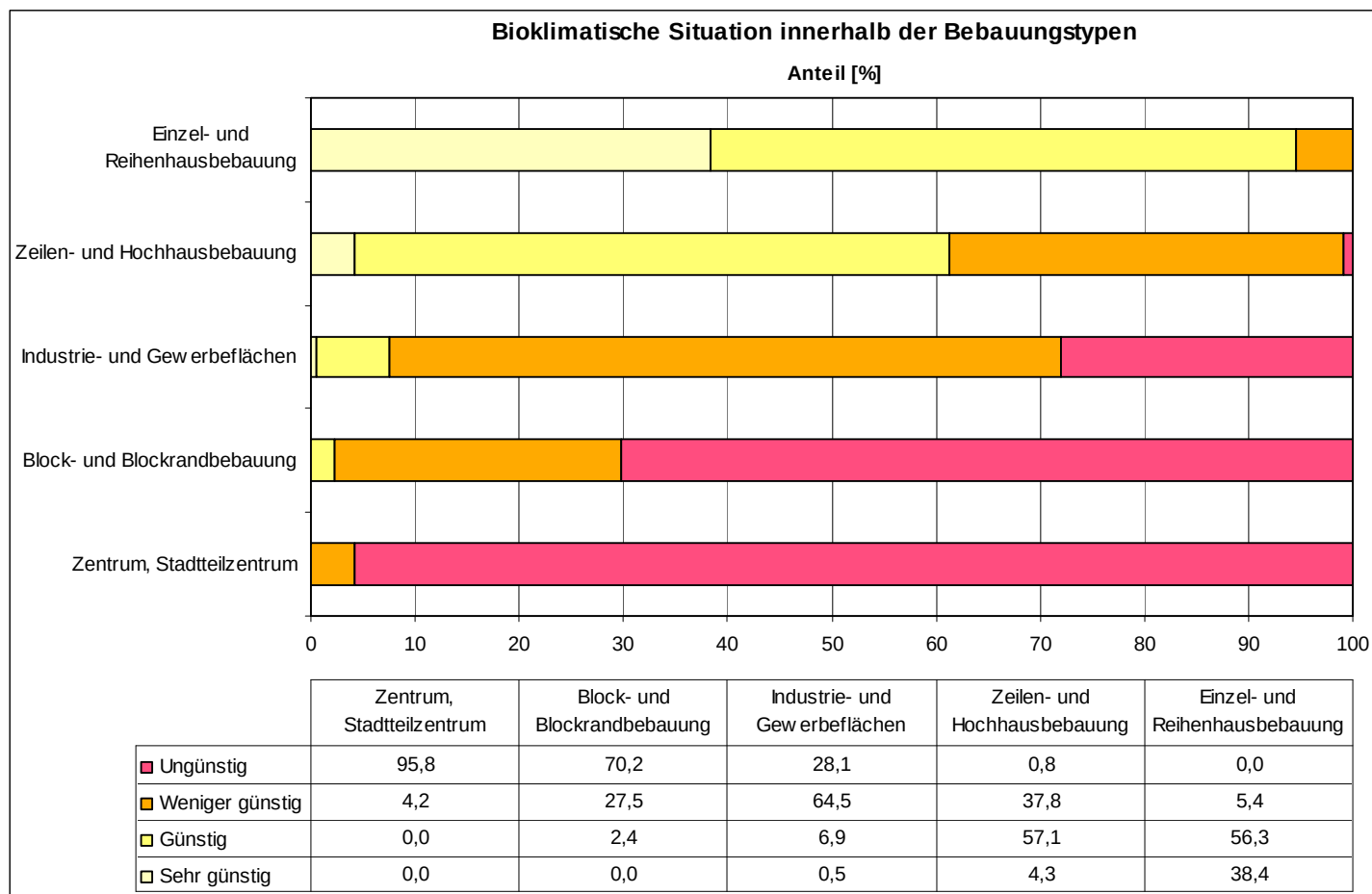


Abb. 5.5: Bilanz der bioklimatischen Situation der unterschiedlichen Siedlungstypen im Untersuchungsgebiet.

Um innerhalb der bioklimatisch ungünstigen Siedlungsgebiete besondere Problembereiche abgrenzen zu können, wurden in der Klimafunktionskarte der Stadt Nürnberg Daten zur Bevölkerungsstruktur eingearbeitet. Der Datensatz wurde von der Stadt Nürnberg zur Verfügung gestellt und beinhaltet Informationen zur Bevölkerungsdichte und Altersverteilung der Bevölkerung auf Basis der Distrikte. Die Daten stammen vom 14.06.2010. Ziel war es zum einen ungünstige Siedlungsgebiete mit einer hohen Einwohnerdichte herauszustellen und zum anderen die ungünstigen Siedlungsbereiche zu ermitteln, in denen sowohl eine hohe Einwohnerdichte herrscht, als auch ein hoher Anteil besonders sensibler Einwohner (alte und sehr junge Menschen) lebt. Mit Hilfe dieser Selektion konnte innerhalb der Kategorie „ungünstige Siedlungsgebiete“ zusätzlich eine Einstufung vorgenommen werden, die besonders kritische Distrikte mit dem größten Handlungsbedarf auf Grundlage der dort lebenden Bevölkerung aufzeigt.

Aus dem Datensatz wurde das 0,75-Quantil der Bevölkerungsdichte (8387 EW/km^2) berechnet, um das obere Viertel der Daten zu ermitteln. Innerhalb dieser Auswahl wurde jeweils das 0,75-Quantil der Bevölkerung im Alter von 65 Jahren bis 80 Jahren (487 EW/km^2), das 0,75-Quantil der Bevölkerung im Alter von 80 Jahren und älter (182 EW/km^2) und das 0,75-Quantil der 0- bis 3-jährigen ($107,5 \text{ EW/km}^2$) als Schwellenwert ermittelt. Somit werden alle Blockflächen gekennzeichnet, bei denen das erste oder mehrere dieser Kriterien zutreffen. Diese Auswahl wurde nun mit den bioklimatisch ungünstigen Siedlungsgebieten verschnitten. Das Ergebnis ist in Abb. 5.6 zu sehen. Etwa 50 % der bioklimatisch ungünstigen Siedlungsgebiete weisen auch

eine hohe Einwohnerdichte auf. In ca. 25 % der Gebiete ist die Einwohnerdichte hoch und es leben zudem eine hohe Anzahl an Menschen über 65 Jahren und/oder eine hohe Anzahl von Menschen im Alter von null bis drei in diesen Bereichen. Die Tabellen 5.2 und 5.3 zeigen detaillierte Informationen zu den betroffenen Distrikten.

Ungünstige Siedlungsgebiete mit einer hohen Einwohnerdichte				
Distrikt [Nummer]	Distrikt [Name]	Einwohner	Fläche [km ²]	Einwohnerdichte [EW/km ²]
018	St. Lorenz (Jakobsplatz)	955	0,09	10215,05
019	St. Lorenz (Westtor)	1376	0,13	10769,29
040	Gostenhof (Gostenhofer Hauptstr.)	3566	0,20	18119,35
041	Gostenhof (Volksbad)	2430	0,18	13743,07
042	Gostenhof (Mittlere Kanalstr.)	2790	0,14	19343,63
051	Himpfelshof (Deutschherrnstr.)	2419	0,16	15426,82
062	St. Sebald (Weinmarkt)	627	0,07	8625,43
063	St. Sebald (Albrecht-Dürer-Str.)	935	0,06	14621,82
065	St. Sebald (Stöpselgasse)	955	0,06	15147,43
066	St. Sebald (Egidienplatz)	513	0,05	9500,09
068	St. Sebald (Tucherstr.)	2141	0,13	17118,99
069	St. Sebald (Inn.-Cramer-Klett-Str.)	1735	0,13	13633,12
073	St. Johannis (Wielandstr.)	3342	0,19	17837,79
081	Pirckheimerstraße (Mitte)	2567	0,16	15835,07
091	Wöhrd (Handwerkskammer)	2831	0,15	18459,17
092	Wöhrd (Nunnenbeckstr.)	2065	0,16	12536,16
093	Wöhrd (Zentrum)	2176	0,15	14834,36
120	Guntherstraße (Isoldenstr.)	1496	0,10	14903,97
133	Galgenhof Südost (Maffeiplatz)	2612	0,11	22834,57
141	Hummelstein (Schönweißstr.)	2467	0,24	10399,90
144	Hummelstein (Lothringerstr.)	2247	0,08	28320,27
161	Steinbühl Nordwest (An den Rampen)	1402	0,05	29292,85
163	Steinbühl Südost (Schwannstr.)	2914	0,11	26789,99
171	Gibitzenhof (Karlsruher Str.)	3406	0,23	14598,85
191	Schweinau (Waldastr.)	1818	0,21	8715,83
192	Schweinau (Holzwiesenstr.)	2373	0,17	14078,16
211	Sündersbühl (Kollwitzstr.)	1542	0,13	12053,51
221	Bärenschanze (Eberhardshofstr.)	2900	0,15	19647,70
223	Bärenschanze (Brauerei)	1565	0,18	8501,00
230	Sandberg (Sandbergstr.)	3675	0,25	14800,44
231	Sandberg (Helenenstr.)	3246	0,28	11785,02
232	Sandberg (Fleischmannstr.)	3648	0,19	19643,27
242	Bielingplatz (Kressenstr.)	3160	0,21	15267,06
250	Uhlandstraße (Kobergerstr.)	2976	0,13	22825,59
270	Veilhof (Berufsbildungszentrum)	2176	0,15	14339,09
500	Hohe Marter (Amberger Str.)	2587	0,27	9617,17
640	Eberhardshof (Seeleinsbühlstr.)	2255	0,13	17174,21
		83888	5,57	

Tab. 5.2: Distrikte in ungünstigen Siedlungsgebieten mit einer hohen Einwohnerdichte

Ungünstige Siedlungsgebiete mit einer hohen Einwohnerdichte und einem hohen Anteil alter und/oder junger Menschen				
Distrikt [Nummer]	Distrikt [Name]	Einwohner	Fläche [km ²]	Einwohnerdichte [EW/km ²]
072	St. Johannis (Adam-Kraft-Str.)	3170	0,17	18348,62
082	Pirckheimerstraße (Ost)	4461	0,24	18955,16
090	Wöhrd (Rennweg)	1786	0,11	16931,00
100	St. Peter	5222	0,34	15231,55
110	Glockenhof (Harsdörffer Platz)	7135	0,33	21303,12
111	Glockenhof (Bleiweiß)	4143	0,24	17604,43
112	Glockenhof (Wilhelm-Spaeth-Str.)	5709	0,26	21982,97
130	Galgenhof (Wölckernstr.)	6020	0,28	21436,30
131	Galgenhof (Aufseßplatz)	4937	0,24	20830,69
132	Galgenhof (Lichtenhof)	4677	0,22	21632,00
142	Hummelstein (Budapester Platz)	3512	0,17	20645,65
143	Hummelstein (Neulichtenhof)	1505	0,13	11960,95
150	Gugelstraße (Rabus)	4545	0,16	28809,86
160	Steinbühl Nordost (Wiesenstr.)	4533	0,23	19746,90
162	Steinbühl Südwest (Leibnizstr.)	3592	0,17	21035,68
202	St. Leonhard (Heinrichstr.)	6134	0,30	20194,07
203	St. Leonhard (Schwabacher Str.)	3334	0,21	15573,78
222	Bärenschanze (Feuerleinstr.)	4156	0,18	23562,63
251	Uhlandstraße (Cranachstr.)	4331	0,21	20440,82
252	Uhlandstraße (Kobergerplatz)	2834	0,19	14943,16
260	Maxfeld (Maxfeldstr.)	4134	0,25	16862,56
271	Veilhof (Rennweg)	4163	0,20	20898,07
272	Veilhof (Hohfederstr.)	4592	0,23	19644,63
643	Eberhardshof (Pestalozzistr.)	3183	0,23	13770,71
		101808	5,28	

Tab. 5.3: Distrikte in ungünstigen Siedlungsgebieten mit einer hohen Einwohnerdichte und einem hohen Anteil alter und/oder junger Menschen

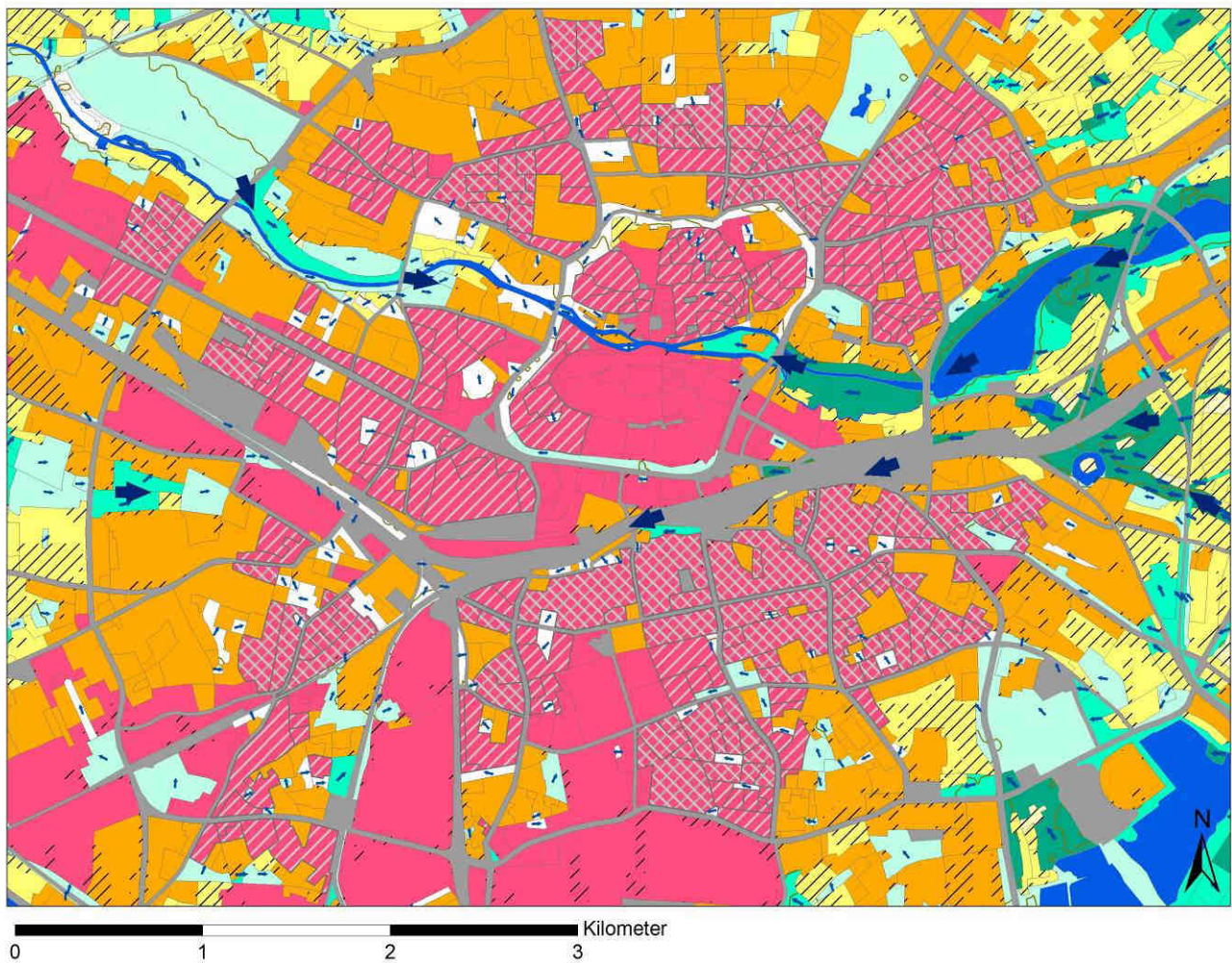


Abb. 5.6: Bioklimatisch ungünstige Siedlungsgebiete mit einer hohen Einwohnerdichte (weiße Schraffur) sowie Gebiete mit einer hohen Einwohnerdichte und einem hohen Anteil von Menschen über 65 Jahren und/oder Menschen im Alter von null bis drei (weiße Kreuzschraffur)

5.3 Luftaustausch

Strukturen, die den Luftaustausch ermöglichen und Kaltluft an die Siedlungsbereiche heranführen, sind das zentrale Bindeglied zwischen Ausgleichsräumen und bioklimatisch belasteten Wirkungsräumen. Generell eignen sich für den Transport von Kaltluft Bereiche mit geringem Überbauungsgrad, einem hohen Grün- und Freiflächenanteil und möglichst linearer Ausrichtung auf Wirkungsräume. Grundsätzlich kommen hierfür Tal- und Niederungsbereiche, größere Grün-/Freiflächen aber auch ausgedehnte Gleisareale und Wasserflächen als geeignete Strukturen in Frage. Erfolgt die Kaltluftströmung nicht flächig auf wärmere Ortsteile zu, sondern innerhalb räumlich begrenzter Bereiche spricht man von Kaltluftleitbahnen. Da Leitbahnen selbst auch Kaltluft produzieren können, lassen sich Grün- und Freiflächen, von denen Kaltluft direkt in die Bebauung strömt, nicht immer trennscharf von Flächen abgrenzen über die lediglich ein Transport erfolgt. Insbesondere im innerstädtischen Bereich sind solche Flächen, wenn es sinnvoll erschien, ebenfalls als Luftaustauschbereiche ausgewiesen worden.

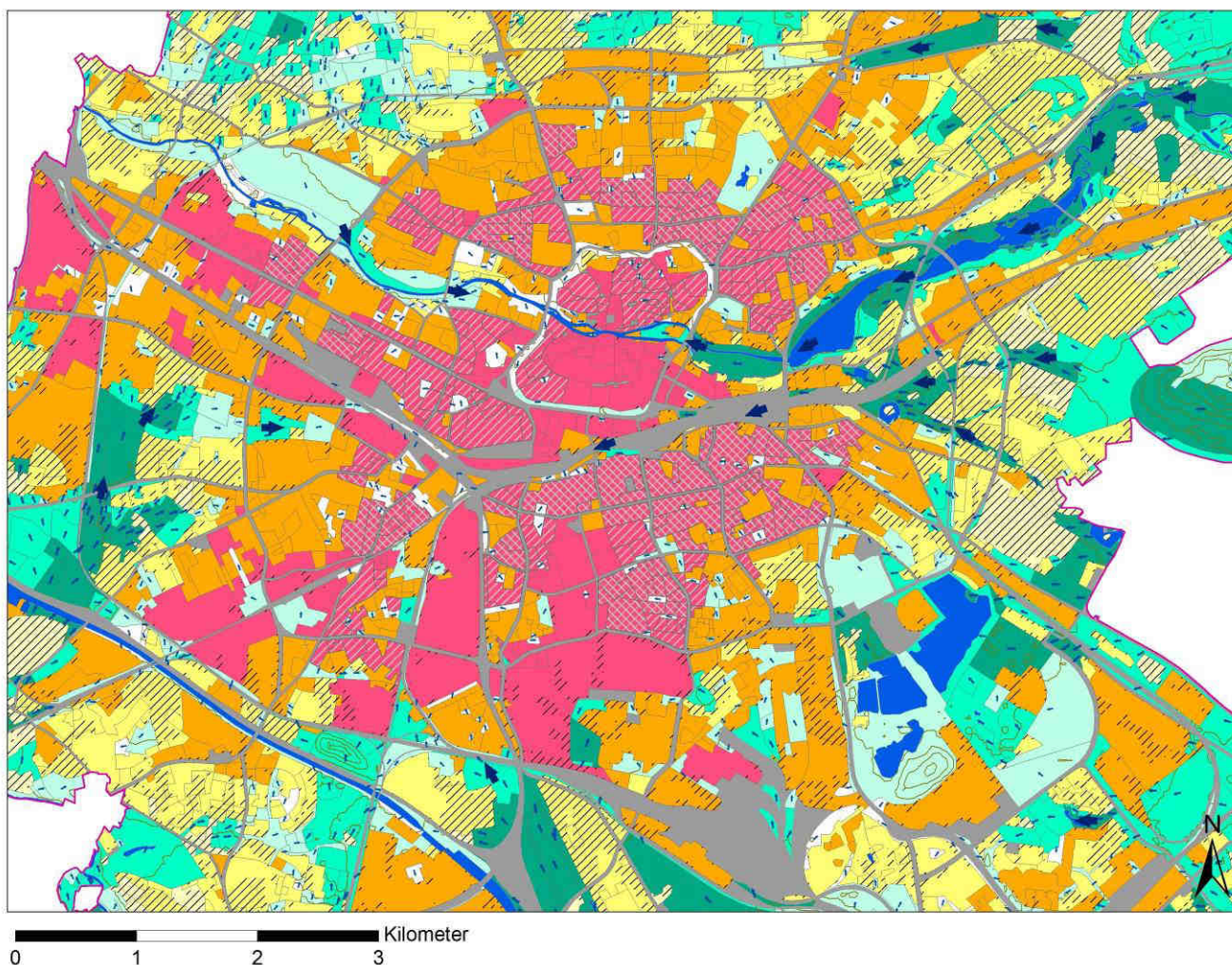


Abb. 5.7: Ausschnitt aus der Klimafunktionskarte: Nürnberg Zentrum mit Leitbahnen

Abbildung 5.7 zeigt einen Ausschnitt der Klimafunktionskarte, der im Wesentlichen das Stadtzentrum und die in diesem Bereich liegenden Leitbahnen zeigt. Die ausgewiesenen wichtigsten Leitbahnbereiche werden im Folgenden beschrieben. Eine Übersicht ist in der Tabelle 5.4 dargestellt. Die Nummerierung findet sich in den Karten 6 und 7 im Anhang wieder.

Nummer	Leitbahn
1	Östliches Pegnitztal mit dem Wöhrder See
2	Hauptgleisanlage
3	Kleingärten "An der Eichendorffstraße", "Klingenwald I-III" und "Kieslinghof"
4	Distrikte Grossreuth bei Schweinau, Gaismannshof und Sundersbühl
5	Westliches Pegnitztal
6	westlich des Distrikts Gartenstadt
7	Langwassersee

Tab. 5.4: Leitbahnen in Nürnberg

Eine sehr prägnante Leitbahn ist das **Östliche Pegnitztal mit dem Wöhrder See**. Sie führt kühlere Luft aus dem Umland über die Niederungen der Pegnitz, den Wöhrder See und die Insel Schütt, die auch einen relativ großen Grünanteil aufweist, bis in die verdichtete Innenstadt. Dort kommt die Kaltluftzufuhr durch die dichte Bebauung relativ schnell zum Erliegen. Die Pegnitz und der Wöhrder See, als nicht Kaltluft produzierende Flächen, sind ein wichtiger Luftaustauschbereich für das Stadtzentrum Nürnbergs. Aufgrund der sehr niedrigen Rauigkeit der Wasseroberfläche erfolgt ein Transport von Kaltluft über die Wasseroberfläche in Richtung Innenstadt. Durch das recht schmale Tal der Pegnitzniederung wird die kalte Luft aus dem Umland zudem kanalisiert, was die Strömungsgeschwindigkeiten erhöht. Gleichzeitig stellt dieser Bereich einen wichtigen Erholungsraum an warmen Sommertagen dar. Die ausgleichende Wirkung der tagsüber geringeren Temperatur der Wasserflächen sorgt für eine angenehme Kühle in diesem Gebiet.

Eine weitere wichtige Leitbahn stellt die **Hauptgleisanlage** dar, die die Stadt Nürnberg in Ost-West-Richtung teilt. Das Eindringen der Kaltluft kann auch hier von Osten erfolgen. Es ergeben sich zwei Verbindungen zu den kaltluftproduzierenden Flächen des Umlands: Zum einen die nördliche Zuführung über die Sportanlagen der SpVgg Zabo-Eintracht und der SpVgg Mögeldorf. Angrenzend befindet sich eine gut durchgrünte Wohnsiedlung, deren parkähnliche Grünanlage die Kaltluft bis zum Kleingartenverein Zeltnerschloß e.V. weiterführt. Da dieser direkt an die Gleisanlage angrenzt, kann die Kaltluft weiter in Richtung der stark verdichteten Innenstadt transportiert werden. Zum anderen erfolgt die Zuführung von Kaltluft über den Goldbach und den Zeltnerweiher zur Gleisanlage. Hier kann sie aus dem Umland über einen stark durchgrünten Siedlungsbeereich bis zum Goldbach vordringen. Auf Grund der Dynamik des Luftaustausches wird dieser von den Baustrukturen aber kaum beeinflusst.

Im Nordosten der Stadt befindet sich eine weitere Leitbahn, die **Kleingärten An der Eichendorffstraße, Klingenwald I-III und Kieslinghof**. Diese Kleingartenanlagen reichen in einem schmalen Streifen weit in die Bebauung hinein. Im Norden werden sie von einem großen Gewerbegebiet begrenzt und im Süden zunächst von Einzel- und Reihenhausbauung flankiert, die zum Stadtzentrum hin durch ein kleines Industriegelände

und stärker verdichtete Wohnbebauung abgelöst wird. Die Kleingärten werden durch ein kleines Siedlungsgebiet aus Einzel- und Reihenhäuser getrennt. Da dieses Gebiet komplett durchströmt wird, kann es hier als Teil der Leitbahn fungieren. Diese Leitbahn trägt vor allem dazu bei, die angrenzenden Siedlungsflächen zu entlasten. Sie transportiert kühlere Luft und produziert gleichzeitig selber Kalt-/Frischluft für die umgebenen Siedlungsflächen. Dieser Bereich dient gleichzeitig als Abstandsfläche, so dass das Wohngebiet thermisch vom nördlich gelegenen Industriegebiet „entkoppelt“ wird.

Eine weitere gut ausgeprägte Kaltluftleitbahn ist im Westen der Stadt angesiedelt. Sie führt durch die **Distrikte Grossreuth bei Schweinau, Gaismannshof und Sandersbühl**. Die Kaltluft produzierenden Flächen sind Ackerflächen nördlich des Main-Donau-Kanals. Von dort wird die Kaltluft über die Sportanlage der SG Nürnberg-Fürth und die Kleingärten Gaismannshof I-III geleitet. Hier macht die Kaltluftleitbahn einen rechtwinkligen Knick und führt weiter über die dort vorhandene Grün-/Freifläche, die Kleingartenvereine Wittekindstraße, Stiller Winkel und Landgrabenpfel bis zum Westpark. Sie endet mit der Sportanlage des SC Victoria Nürnberg. Durch diese Leitbahn kann die Kaltluft, die auf den Grün- und Freiflächen entsteht, weit in die Bebauung eindringen und für Entlastung sorgen.

Auch das **Westliche Pegnitztal** fungiert als Kaltluftleitbahn. Der Westfriedhof der im Norden daran anschließt unterstützt die Leitbahn zusätzlich. So kann die Kaltluft über diese Grün- und Freiflächen rund um die Pegnitz fast bis zum Stadtkern vordringen. Dadurch, dass dieser Teil der Pegnitzniederung eine schwächere Orographie aufweist, ist der Kanalisierungseffekt hier weniger stark ausgeprägt und die Strömungsgeschwindigkeiten sind insgesamt geringer als östlich der Innenstadt.

Im Süden der Stadt Nürnberg **westlich des Distrikts Gartenstadt** wird Kaltluft über das Gelände des ESV Flügelrad, der Kleingartenvereine Finkenbrunn, Wachholderweg und Gibitzenhof sowie der Sportanlagen des DJK Sparta Noris Nürnberg und des SV Süd in die Bebauung geleitet. So kann vor allem das nördlich angrenzende Industriegebiet davon profitieren. Diese Kaltluftleitbahn führt an der A73 entlang und überquert einen Zubringer. Dadurch kann es zu einer Verdriftung verkehrsbezogener Luftschadstoffe kommen.

Die siebte Leitbahn, die in Nürnberg ausgewiesen wurde, ist nur lokal ausgeprägt. Sie führt über den **Langwassersee**. Hier findet eine starke Kanalisierung der Strömung zwischen den Siedlungsgebieten statt, so dass es trotz des Waldbestandes innerhalb der Leitbahn zu sehr hohen Kaltluftvolumenströmen kommt.

Leitbahnbereiche fungieren generell auch als sogenannte Luftleit- und Ventilationsbahnen⁷ während austauschstarker Wetterlagen.

⁷s. Glossar

6. Planungshinweiskarte Stadtklima

Die Planungshinweiskarte Stadtklima stellt eine integrierende Bewertung der in der Klimafunktionskarte dargestellten Sachverhalte im Hinblick auf planungsrelevante Fragestellungen dar. Aus ihr lassen sich Schutz- und Entwicklungsmaßnahmen zur Verbesserung des Stadtklimas ableiten oder auch Auswirkungen von Nutzungsänderungen bewerten. Diesem Leitgedanken entsprechen die Ziele

- Sicherung,
- Entwicklung und
- Wiederherstellung

klima- und immissionsökologisch wichtiger Oberflächenstrukturen.

Die zugeordneten Planungshinweise geben Auskunft über die Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderungen, aus denen sich klimatisch begründete Anforderungen und Maßnahmen im Rahmen der räumlichen Planung ableiten lassen. Die Planungsempfehlungen beziehen sich in erster Linie auf die Luftaustauschprozesse während windschwacher Strahlungswetterlagen und betreffen damit das bebaute Stadtgebiet als Wirkraum und die daran angrenzenden Grün- und Freiflächen, die durch Kaltlufttransport und -produktion als Ausgleichsräume von Bedeutung sind. Die Planungshinweiskarte ist im Anhang zu diesem Bericht zu finden.

6.1 Grün- und Freiflächen

Allgemeines zur siedlungsklimatischen Rolle von Stadtgrün

Während über den von Wiese oder Acker geprägten Arealen am Tage durch die intensive Einstrahlung und dem Mangel an Verschattung ähnlich hohe Werte wie in den verdichteten Siedlungsflächen auftreten können, ist dort gleichzeitig in der Nachtsituation die stärkste Abkühlung zu erwarten. Hier kann einerseits in der Nacht eine ungehinderte (langwellige) Ausstrahlung verbunden mit starker Abkühlung der darüber lagernden Luftmasse erfolgen. Am Tage ist andererseits ein hoher (kurzwelliger) solarer Strahlungsinpult mit starker Erwärmung der Bodenoberfläche die Folge (vgl. Temperaturverlauf Abb. 3.7, S. 27).

Andererseits weisen die durch Bäume und Gehölze geprägten Flächen an wolkenlosen Sommertagen mit starker Sonneneinstrahlung aufgrund der Schattenspende und der Verdunstung von Wasser das geringste Belastungspotential auf. Damit kommt den innerstädtischen Grün- und Freiflächen vor allem in den stärker überbauten Quartieren eine wichtige Rolle zu. Zur Aufwertung der Aufenthaltsqualität sollten vor allem innerhalb der Quartiersplätze ausreichend große beschattete Areale ausgebildet werden. Insbesondere das Gehen/Radfahren im Schatten sollte möglich sein. Dabei sind vor allem lockere, hochstämmige Baumgruppen und Baumalleen als Beschattungselemente sinnvoll. Die temperatursenkende Wirkung von Straßengrün kann bis zu 6°C in 2m über Grund gegenüber unbegrüntem Straßenräumen betragen (WAGENFELD 1985). In der Tagsituation weisen daher auch kleinere Grünareale eine wertvolle klimaausgleichende Funktion auf. Darüber hinaus sollten größere Grün- und Freiflächen auch ein Mosaik aus unterschiedlichen Mikroklimaten

wie beispielsweise beschattete und besonnte Bereiche oder kühlende Wasserflächen aufweisen, um den unterschiedlichen Bedürfnissen der Menschen hinsichtlich des Aufenthaltes im Freien entgegen zu kommen (Mikroklimavielfalt).

Damit wird die unterschiedliche Bedeutung bzw. Funktion von Grün- und Freiflächen am Tage bzw. in der Nacht deutlich. Einerseits sollen sie eine gute Aufenthaltsqualität am Tage gewährleisten, andererseits können nächtliche Flurwinde die Wärmebelastung in den Siedlungsräumen lindern. Die Mindestgröße zur Ausbildung einer Kaltluftströmung lässt sich auf etwa 1 ha beziffern (SCHERER 2007). Abgesehen von der Flächengröße wird dies aber auch durch die grünplanerische Ausgestaltung mitbestimmt. Sofern ein bedeutsamer Luftaustausch durch Flurwinde stattfinden kann, sollte dieses (eigenbürtige) Luftaustauschsystem Grün- und Freifläche – angrenzende Bebauung und die damit verbundene klimaökologische Wohlfahrtswirkung aufrechterhalten werden. In diesem Zusammenhang und in Bezug auf die nächtliche Kaltluftproduktion weist ein vorwiegend durch Wiese geprägter Flächentyp die besten Eigenschaften auf. Da auch von dichteren Vegetationselementen eine Hinderniswirkung für den Luftaustausch ausgehen kann, sollte der Übergangsbereich zur Bebauung von Grünstrukturen wie dichten Baumgruppen, Gehölzen oder hohen Hecken weitestgehend frei gehalten werden.

Bedeutung von Dach- und Fassadenbegrünung

Zu den weiteren effektiven Maßnahmen, die Erwärmung der Gebäude am Tage abzuschwächen, zählen Dach- und Fassadenbegrünung. Letztere wirkt zweifach positiv auf einen Gebäudebestand ein, da einerseits durch die Schattenspende die Wärmeeinstrahlung am Tage reduziert wird und andererseits über die Verdunstungskälte des Wassers Wärme abgeführt wird. Eine Fassadenbegrünung ist insbesondere an West- und Südfassaden wirksam, da hier die stärkste Einstrahlung stattfindet. Darüber hinaus mindert eine Begrünung die Schallreflexion und damit die Lärmbelastung und kann zu einem gewissen Grad Stäube und Luftschadstoffe binden.

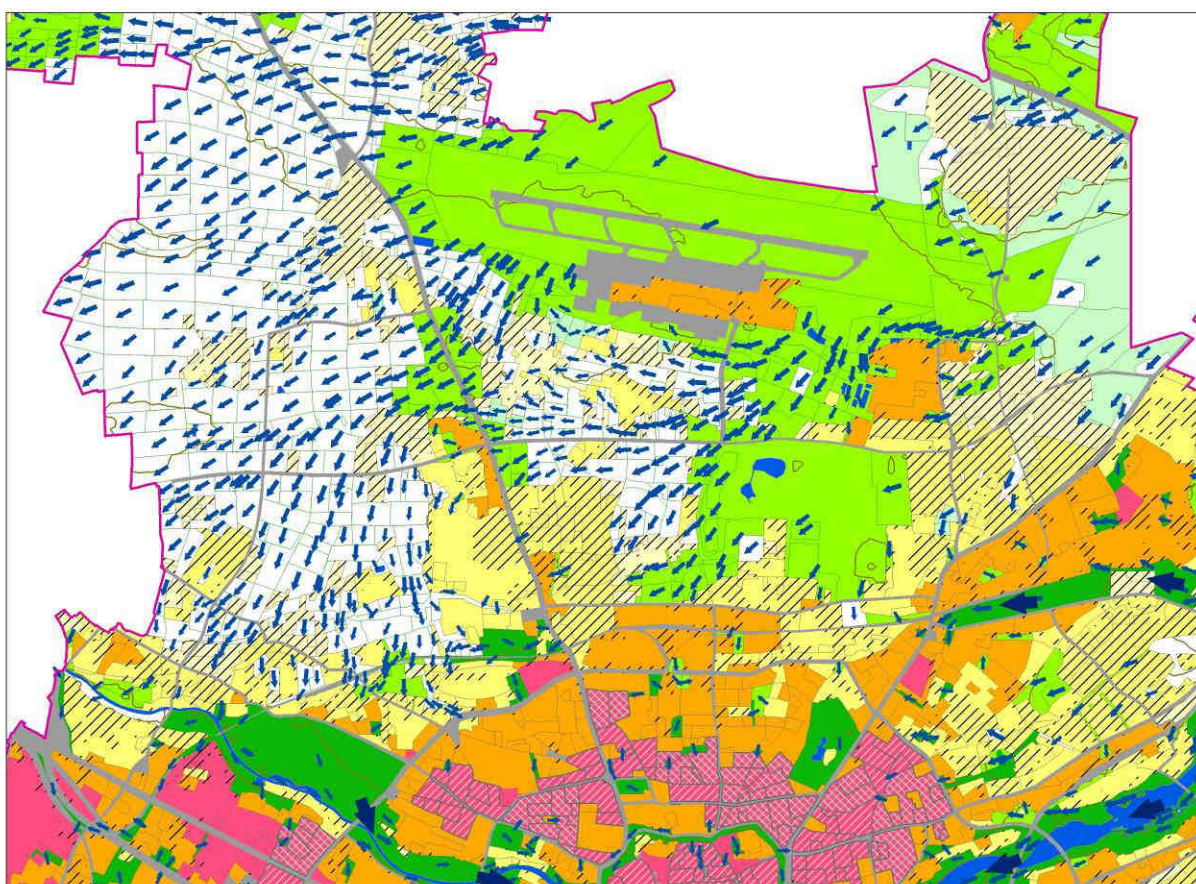
Bei der Dachbegrünung wirkt die Vegetation zusammen mit dem Substrat isolierend und verringert damit das Aufheizen darunter liegenden Wohnraums. Zudem senkt die Dachbegrünung die Oberflächentemperatur des Daches aufgrund der Verdunstung von Wasser ab und verringert die Temperatur in der oberflächennahen Luftschicht. Voraussetzung dafür ist allerdings ein ausreichendes Wasserangebot für die Vegetation. Sollte bei längeren Hitzeperioden die Vegetation austrocknen, steigen die Temperaturen wieder auf das Niveau eines normalen Daches an und können sogar darüber hinausgehen. Der Kühlungseffekt für die Innenräume bleibt dabei aber erhalten. Im Winter isoliert ein Gründach zusätzlich und kann zur Senkung des Heizbedarfes beitragen. Ein weiterer Vorteil von Dachbegrünung ist im Retentionsvermögen von Regenwasser zu sehen, wodurch die Kanalisation vor allem bei Starkregenereignissen entlastet wird.

Innerstädtische und siedlungsnahe Grün- und Freiflächen haben daher eine wesentliche Wirkung auf das Stadtklima und beeinflussen die direkte Umgebung in mikroklimatischer Sicht positiv. Selbst kleinere Grün- und Freiflächen innerhalb dichter Bebauung bieten im Sommer klimatische Regenerationsflächen und Rückzugsorte. Zudem können diese Flächen auch nachts kleinräumig Abkühlung in der angrenzenden Bebauung

bringen. In der Planungshinweiskarte tritt daher der Kaltluftvolumenstrom oder die Kaltluftproduktivität einer Grün- und Freifläche als qualifizierender Parameter bei der Bewertung mehr in den Hintergrund. Für die planerische Einordnung ist vielmehr die Frage entscheidend welche Ausgleichsleistung eine Grün- oder Freifläche für vornehmlich bioklimatisch ungünstige Siedlungsbereiche erbringen kann (s. Kap. 3.3.4).

Grün- und Freiflächen mit hoher und sehr hoher bioklimatischer Bedeutung

Grün- und Freiflächen mit einer hohen oder sogar sehr hohen bioklimatischen Bedeutung sind demzufolge hauptsächlich in direkter Siedlungsnähe vorzufinden. Diese Grün- und Freiflächen verfügen entweder über einen direkt zugeordneten, bioklimatisch belasteten Wirkungsraum oder weisen einen überdurchschnittlichen Kaltluftvolumenstrom auf und sind gleichzeitig als Ausgleichsraum oder wichtiges Kaltluftquellgebiet einzustufen. Die Einordnung der Flächen in die jeweilige Kategorie wird detailliert in Kapitel 3.3.4 erläutert und kann in Abb. 3.10 nachvollzogen werden.



Legende

-  Stadtgrenze
-  Gewässer
-  Straßen- und Gleisflächen
-  Höhenlinien 10m-Abstand

Ausgleichsräume

Grün- und Freiflächen

- Geringe bioklimatische Bedeutung**
Freiflächen mit geringem Einfluss auf Siedlungsgebiete. Geringe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung.
- Mittlere bioklimatische Bedeutung**
Freiflächen mit mittlerem Einfluss auf Siedlungsgebiete. Mittlere Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Maßvolle Bebauung, die den lokalen Luftaustausch nicht wesentlich beeinträchtigt, ist möglich.
- Hohe bioklimatische Bedeutung**
Hohe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Luftaustausch mit der Umgebung erhalten. Bei Eingriffen Baukörperstellung beachten sowie Bauhöhen möglichst gering halten.
- Sehr hohe bioklimatische Bedeutung**
Sehr hohe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Vermeidung von Austauschbarrieren gegenüber bebauten Randbereichen, Emissionen reduzieren.

Einwirkbereiche der Kaltluftentstehungsgebiete

-  Wirkungsbereich der lokal entstehenden Strömungssysteme innerhalb der Bebauung

0 1 2 3 Kilometer



Wirkungsräume

Siedlungsflächen

- Ungünstige bioklimatische Situation**
Siedlungsräume mit hoher bioklimatischer Belastung. Sehr hohe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Keine weitere Verdichtung, Verbesserung der Durchlüftung und Erhöhung des Vegetationsanteils, Erhalt aller Freiflächen, Entsiegelung und ggf. Begrünung von Blockinnenhöfen.
- Weniger günstige bioklimatische Situation**
Siedlungsräume mit mäßiger bioklimatischer Belastung. Hohe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Möglichst keine weitere Verdichtung, Verbesserung der Durchlüftung und Erhöhung des Vegetationsanteils, Erhalt aller Freiflächen, Entsiegelung und ggf. Begrünung von Blockinnenhöfen.
- Günstige bioklimatische Situation**
Siedlungsstruktur mit geringer bioklimatischer Belastung und günstigeren Bedingungen. Mittlere Empfindlichkeit gegenüber nutzungsintensivierenden Eingriffen bei Beachtung klimaökologischer Aspekte. Baukörperstellung beachten, Bauhöhen möglichst gering halten.
- Sehr günstige bioklimatische Situation**
Vorwiegend offene Siedlungsstruktur mit guter Durchlüftung. Günstiges Bioklima erhalten. Mittlere Empfindlichkeit gegenüber nutzungsintensivierenden Eingriffen bei Beachtung klimaökologischer Aspekte. Baukörperstellung beachten, Bauhöhen möglichst gering halten.

Luftaustausch

-  Kaltluftleitbahn

Hauptsrömungsrichtung der Flurwinde in den Grün- und Freiflächen

Volumenstrom

-  Mäßig
-  Hoch
-  Sehr hoch

Bevölkerungsdaten

-  Bioklimatisch ungünstige Siedlungsflächen mit hoher Einwohnerdichte
-  Bioklimatisch ungünstige Siedlungsflächen mit hoher Einwohnerdichte und einem hohen Anteil sehr junger und/oder alter Menschen

Abb. 6.1: Planungshinweiskarte/Kartenausschnitt Nürnberg-Nord.

Abbildung 6.1 zeigt einen Ausschnitt der Planungshinweiskarte des nördlichen Nürnbergs. Die Legende ist auch für die im Weiteren dargestellten Ausschnitte der Planungskarte gültig.

Grün- und Freiflächen mit hoher und sehr hoher Bedeutung grenzen hier direkt an weniger günstige Siedlungsbereiche an. Große Flächen mit hoher Kaltluftproduktion sind zum Beispiel rund um den Flughafen lokalisiert. Über die Verbindung zum Volkspark Marienberg mit ebenfalls hoher bioklimatischer Bedeutung werden diese Flächen an das stärker verdichtete Stadtkerngebiet angeschlossen. Eine sehr hohe klimatische Bedeutung haben darüber hinaus die Grün- und Freiflächen im direkten Stadtkerngebiet. Auch kleinere Grün- und Freiflächen wie zum Beispiel der Archivpark, der Webersplatz, der Jakobsplatz, aber auch die begrünten Bereiche Vestnertorgraben, Neutorgraben, Frauentorgraben rund um die Altstadt sind hier relevant. Insgesamt sind ca. 899 ha der Grün- und Freiflächen Nürnbergs von sehr hoher bioklimatischer Bedeutung und ca. 2421 ha von hoher bioklimatischer Bedeutung.

Grün- und Freiflächen mit mittlerer bioklimatischer Bedeutung

Eine mittlere bioklimatische Bedeutung haben Grün- und Freiflächen, die entweder über einen hohen Kaltluftvolumenstrom verfügen oder aber eine hohe Kaltluftproduktion aufweisen. Grün- und Freiflächen mit mittlerer klimaökologischer Bedeutung grenzen häufig an Flächen mit sehr hohen Volumenströmen an und bilden damit ein Verbindungsglied zu weiter entfernt liegenden Grün- und Freiflächen. Zudem fallen alle Waldflächen im Westen und Südwesten Nürnbergs in diese Kategorie. Wald kommt generell eine - von der Stärke des nächtlichen Kaltluftliefervermögens unabhängige - bioklimatische Ausgleichsleistung als Frischluftproduzent und Erholungsraum zu. In Nürnberg sind ca. 2319 ha der Grün- und Freiflächen von mittlerer bioklimatischer Bedeutung.

Allen übrigen Grün- und Freiflächen wird eine **geringe stadtklimatische Bedeutung** zugewiesen. Hierbei handelt es sich meist um siedlungserne Flächen ohne nennenswerten Einfluss auf belastete Siedlungsbereiche. Dies sind in Nürnberg ca. 3723 ha.

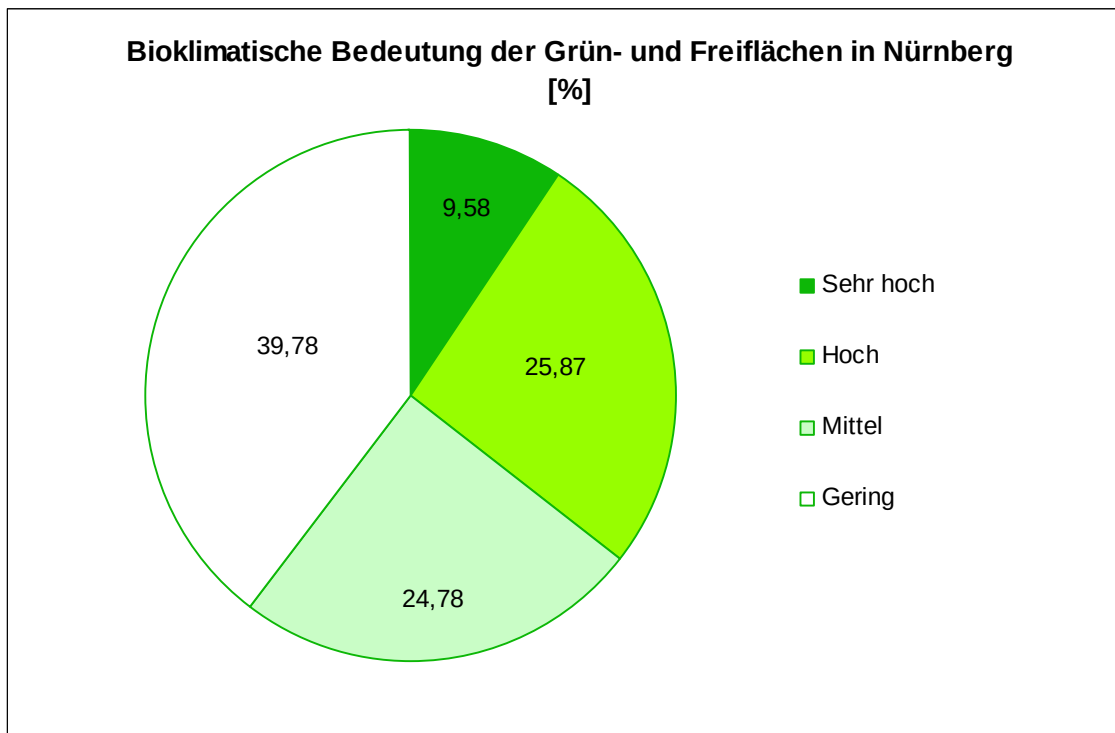


Abb. 6.2: Bilanzierung der planerisch relevanten Grün- und Freiflächen

In Abb. 6.2. werden die Flächenanteile der Grün- und Freiflächen an den ausgewiesenen Kategorien zusammenfassend dargestellt.

Die Stadt Nürnberg weist im Vergleich zu anderen Städten einen relativ stark verdichteten Kernstadt- bzw. Innenstadtbereich auf. In diesen Gebieten gibt es nur einen geringen Grünanteil, der zumeist aus kleineren Parks besteht. Größere Stadtparks oder gar –wälder sind im Zentrumsbereich nicht vorhanden. Aus diesem Grund ist der Anteil der Flächen mit einer sehr hohen bioklimatischen Bedeutung vergleichsweise gering. Den größten Anteil dieser Klasse nehmen die Flächen der Kaltluftleitbahnen ein. Die Kategorien der Grün- und Freiflächen mit hoher bis geringer Bedeutung sind durchschnittlich im Vergleich mit anderen Städten verteilt. Es gibt einige größere Grün- und Freiflächen hoher Bedeutung zum Beispiel rund um die Dutzendteiche, aber auch im Bereich des Flughafens. Flächen mittlerer bioklimatischer Bedeutung sind auf Grund der Waldflächen am Rande des Stadtgebiets ebenfalls gut ausgeprägt.

Eine Besonderheit in Nürnberg sind die zahlreich vorhandenen Glas- und Foliengewächshäuser im Knoblauchsland. Auf Grund ihrer Lage im Bereich weitläufiger Ackerflächen am randlichen Stadtgebiet führen sie aus klimatischer Sicht nicht zu einer verstärkten Belastung der Siedlungsgebiete. Durch die geringe Höhe der Bauten können sie gut überströmt werden und bilden keine störenden Hindernisse für Kaltluftströmungen.

Aus der Einordnung der stadtklimatischen Relevanz der Grün- und Freiflächen resultieren unterschiedliche Hinweise für planerische Maßnahmen, die in der folgenden Tabelle zusammengefasst sind. Die Auflistung der Hinweise erfolgt in etwa anhand ihrer Relevanz soweit dies möglich ist.

Generell sollten Grün- und Freiflächen mit stadtklimatischer Bedeutung erhalten und möglichst in ihrer Funktion als Kaltluft liefernde Flächen gestärkt werden. Zur Optimierung der Kaltluftlieferung tragen unter ande-

rem eine Minimierung der Versiegelung der Grün- und Freiflächen sowie eine Vermeidung größerer Strömungshindernisse bei.

In Hinblick auf die Tagsituation können großkronige, Schatten spendende Bäume Erholungszonen bilden. In diesem Zusammenhang kommt auch sehr kleinen Schatten spendenden Grünarealen mit geringer stadtklimatischer Relevanz eine Bedeutung als „Klimaoasen“ zu. Dies können begrünte Innenhöfe, aber auch kleine Parks mit ein paar Bäumen oder Gehölzen sein. Diese Flächen können kaum über ihre Grenzen hinaus ausgleichend wirken. Sie erfüllen dennoch wichtige Funktionen für die Bevölkerung. Vor allem tagsüber bilden sich hier durch Verschattung und Verdunstung angenehme Kleinklimate aus, so dass die „Klimaoasen“ einen Rückzugsort innerhalb überwärmter Gebiete bieten.

Abgesehen von reinen Waldflächen, denen generell eine hohe bioklimatische Ausgleichsleistung als Frischluftproduzent und Erholungsraum zukommt, sollten Grün- und Freiflächen eher einen lockeren gut durchströmbaren Baumbestand aufweisen.

Grün- und Freiflächen, die auf Grund ihrer Größe von etwa einem Hektar eine Ausgleichswirkung für angrenzende Siedlungsbereiche haben, sollten im Übergangsbereich zur Bebauung von dichten Gehölzen weitestgehend freigehalten werden, da diese den Luftaustausch behindern könnten.

In Tabelle 6.1 sind mögliche Maßnahmen zusammenfassend dargestellt. Die Empfehlung gezielter Maßnahmen ist auf gesamtstädtischer Ebene nicht möglich. Je nach Lage und Größe innerhalb des Stadtgebiets können angedachte Maßnahmen unterschiedlich stark wirken, so dass keine pauschalen Auswirkungen benannt werden können. Vorhabenbezogene Detailauswertungen zu einzelnen Planungsgebieten ermöglichen eine gezieltere Einschätzung der wünschenswerten und zielführenden Maßnahmen für einzelne Areale.

Bioklimatische Bedeutung	Kriterium	Beurteilung der Empfindlichkeit	Hinweise zu Maßnahmen (Auflistung nach Relevanz)
Sehr hohe Bedeutung 	Leitbahnen: Hoher Luftaustausch zwischen Kaltluftentstehungsgebieten und belasteten Siedlungsräumen.	Höchste Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderung.	• Strömungsquerschnitt sichern (> 300 m) • Aufweitung oder Beseitigung baulicher und sonstiger Strömungshindernisse • Abriegelnde Randbebauung oder dichte Baumpflanzung vermeiden • Angrenzende bauliche Folgenutzungen längs zur Leitbahn ausrichten • Erhalt des Grün- und Freiflächenanteils und Minimierung der Versiegelung • Vermeidung oder Verringerung von Luftschadstoffemissionen
	Grün- und Freiflächen mit direktem Bezug zu bioklimatisch ungünstigen Siedlungsräumen.	Höchste Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderung.	• Erhalt des Grün- und Freiflächenanteils und Minimierung der Versiegelung • Vermeidung von Austauschbarrieren gegenüber bebauten Randbereichen • Grün- und Freiflächen vernetzen • Baumbestand optimieren (nur lockerer Baumbestand mit durchströmbarem Stammraum) • Immissionsschutzpflanzungen entlang von Hauptverkehrsstraßen (i.d.R. heimische Gehölze in Heckenform angelegt, die angrenzende Flächen vor Emissionen und Lärm schützen)
Hohe Bedeutung 	Hoher Luftaustausch in Richtung belasteter Siedlungsräume (Anbindung von Kaltluftquellgebieten)	Hohe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderung.	• Erhalt des Grün- und Freiflächenanteils • Vermeidung von Austauschbarrieren gegenüber Leitbahnen • Grün- und Freiflächen vernetzen • Vermeidung oder Verringerung von Luftschadstoffemissionen • Bei baulichen Eingriffen Gebäudeausrichtung beachten (Ausrichtung parallel zur Strömung; Grün- und Freiflächen zwischen der Bebauung einplanen) sowie Bauhöhen möglichst gering halten
	Grün- und Freiflächen mit direktem Bezug zu bioklimatisch weniger günstigen Siedlungsräumen	Hohe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderung.	• Erhalt des Grün- und Freiflächenanteils • Vermeidung von Austauschbarrieren gegenüber bebauten Randbereichen • Grün- und Freiflächen vernetzen • Baumbestand optimieren (nur lockerer Baumbestand mit durchströmbarem Stammraum) • Immissionsschutzpflanzungen entlang von Hauptverkehrsstraßen
Mittlere Bedeutung 	Stadtnahe Grün- und Freiflächen mit hohem Kaltluftvolumenstrom oder hoher Kaltluftproduktion.	Mittlere Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderung.	• Möglichst Erhalt des Grün- und Freiflächenanteils • Vermeidung von Austauschbarrieren gegenüber bebauten Randbereichen • Vermeidung oder Verringerung von Luftschadstoffemissionen • Maßvolle Bebauung möglich, wenn sie den lokalen Luftaustausch nicht wesentlich beeinträchtigt • Waldbestand sichern
Geringe Bedeutung 	Grün- und Freiflächen mit geringem Einfluss auf Siedlungsgebiete oder unbedeutendem Kaltlufttransport oder geringer Kaltluftproduktion.	Geringe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderung.	• Zersiedlung vermeiden • Bei Verkehrseinfluss Emissionen reduzieren

Tab. 6.1: Stadtklimatische Hinweise für Planungsentscheidungen zu Grün- und Freiflächen

6.2 Luftaustausch

Im Rahmen der Modellrechnungen sind die in Kapitel 5.3 aufgeführten Leitbahnen und Luftaustauschbereiche analysiert worden. Aus stadtklimatischer Sicht ist eine funktionale Sicherung der zugehörigen Flächen vordringlich.

Grün- und Freiflächen

Tabelle 6.1 (Kap. 6.1) listet die wichtigsten zugehörigen Planungshinweise auf: Eine Einengung des Strömungsquerschnittes insbesondere dort, wo dieser bereits weniger als 300 m beträgt, sollte unbedingt vermieden werden. In flächenhaft ausgeprägten Luftaustauschbereichen kann eine Nutzungsintensivierung unter Berücksichtigung des Strömungsgeschehens vertretbar sein. Linear ausgerichtete lokale Leitbahnen benötigen zum Erhalt ihrer Funktion eine mindestens 50 m breite, hindernisarme Durchflussbreite. Abriegelnde Bebauung im Übergangsbereich zwischen Leitbahn und Siedlung ist zu vermeiden. Dies bedeutet, dass in diesen Übergangszonen die Bebauung parallel zur Kaltluftströmung ausgerichtet sein sollte und durch Lücken zwischen einzelnen Gebäuden offene Zonen mit Zugang zur Leitbahn erhalten bleiben. Die Gebäudehöhen sollten möglichst niedrig gehalten werden. In diesem Zusammenhang sind ebenso dichte Baumbepflanzungen zu vermeiden, die ein Eindringen der Kaltluft in die Siedlungsbereiche behindern.

Zur Sicherung ihrer Nebenfunktion als Kaltluftentstehungsgebiete trägt eine Minimierung der Versiegelung innerhalb der Leitbahnen bei. Luftschadstoffemissionen innerhalb der Quell- und Leitbahnflächen sind wenn möglich zu vermeiden oder zu verringern.

Diese Hinweise gelten auch für lokale Kaltluftabflüsse und Flurwinde innerhalb kleinerer Grün- und Freiflächen. Lokale Kaltluftabflüsse sind in Nürnberg beispielsweise im Bereich des Volksparks Marienberg, über den Dutzendteichen sowie rund um Röthenbach und Eibach mit der Rednitzau und dem Faberwald zu finden.

6.3 Siedlungsräume

Der Siedlungsraum der Stadt Nürnberg ist von einer starken Verdichtung des innerstädtischen Bereichs geprägt. Vor allem der Altstadtbereich weist eine hohe bauliche Dichte mit geringem Grün- und Freiflächenanteil auf (s. Abb. 6.3). Auf Grund der baustrukturellen Gegebenheiten kann die Kaltluft aus dem Umland nur in geringem Maße eindringen. Die bioklimatische Situation im Bereich der Kernstadt muss daher als ungünstig eingeordnet werden. Auch rund um die größeren Gewerbegebiete südlich des Zentrums in Schweinau und Gibitzenhof, sowie entlang des Frankenschnellwegs Richtung Fürth sind Bereiche mit einer bioklimatisch ungünstigen Situation vorhanden. Diese Areale weisen durch ihre hohe Bebauungsdichte und eine freiflächenferne Lage einen Durchlüftungsmangel und eine überdurchschnittliche Wärmebelastung auf. Hierbei handelt es sich um „bioklimatische Sanierungsgebiete“ die einer Verbesserung der Durchlüftung und einer Erhöhung des Grünanteils bedürfen. Die Belastungssituation in den Siedlungsräumen wird vor diesem Hintergrund zur wichtigen Grundlage für die Bewertung des Ausgleichspotenzials angrenzender Grün- und Freiflächen (s. Kap 6.1). Im Umfeld von bioklimatisch ungünstigen Siedlungsräumen gelegenen Grün- und Freiflächen kommt daher grundsätzlich eine hohe Bedeutung zu, da sie geeignet sind, unabhängig von ihrem Kaltluftliefervermögen ausgleichend auf ihren unmittelbaren Nahbereich zu wirken. Dies sind zum Beispiel die Flächen der Pegnitzniederung, die bis in den Stadtkern Nürnbergs hineinreichen. Gleiches gilt auf für kleinere Flächen, wie der begrünte „Ring“ um die Altstadt und Stadtteilparks wie der Archivpark.

Die peripheren Siedlungsflächen am Rande des Stadtgebiets (z.B. im Knoblauchsland oder der Stadtteil Brunn) haben zumeist einen eher ländlichen Charakter und sind aus bioklimatischer Sicht unproblematisch zu beurteilen. Sie werden von den umgebenen Grün- und Freiflächen gut mit Kaltluft versorgt und weisen vorrangig günstige und sehr günstige bioklimatische Bedingungen auf. Durchströmte Siedlungsbereiche sind in Klimafunktions- und Planungshinweiskarte durch eine diagonale Schraffur gekennzeichnet. Weiterhin weisen diese Siedlungen häufig einen hohen Grün-/Freiflächenanteil, beispielsweise durch Gartenflächen, auf und verfügen dadurch zusätzlich neben den größeren angrenzenden Grün- und Freiflächen über kleine, lokal wirksame Ausgleichsflächen.

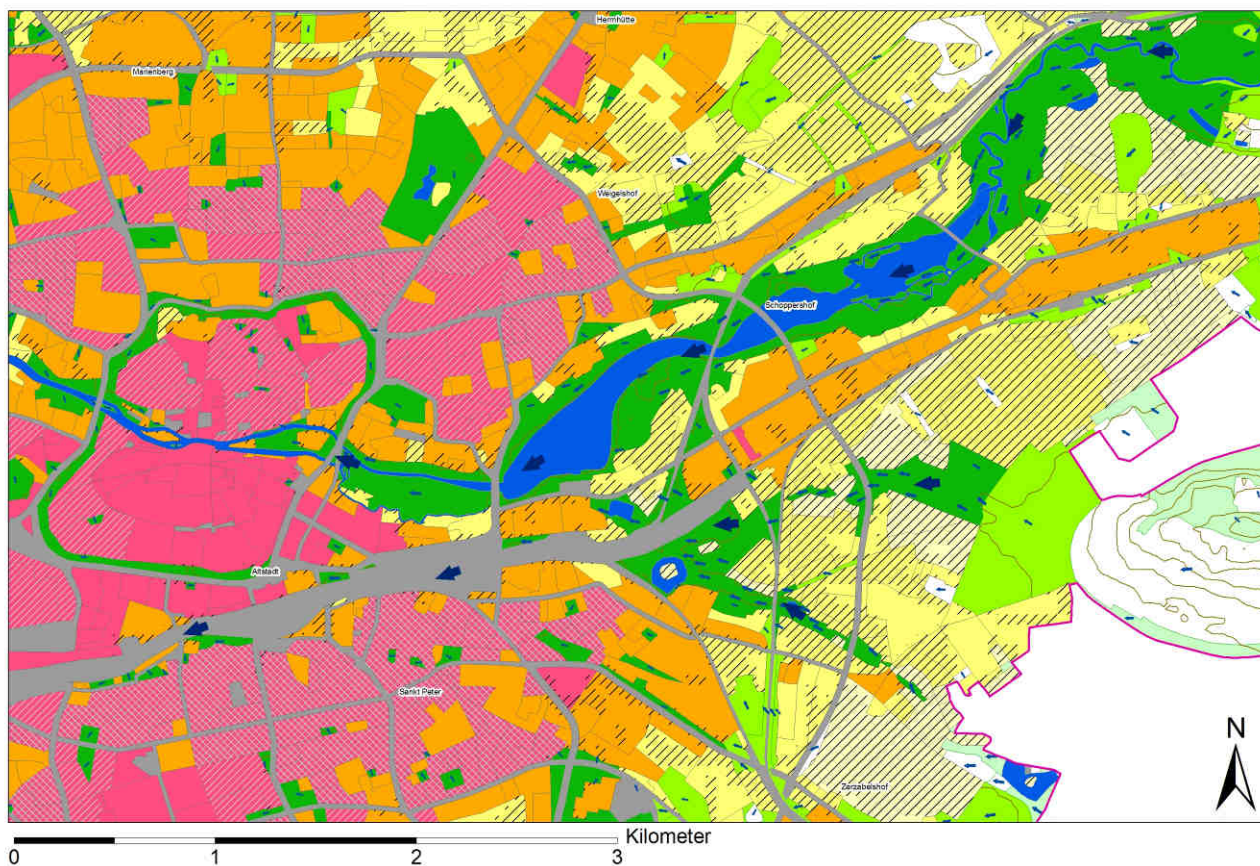
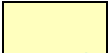
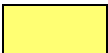


Abb. 6.3: Planungshinweiskarte: Ausschnitt Nürnberg-Mitte/-Ost

Aus der Einordnung der Siedlungsflächen anhand ihrer bioklimatischen Situation resultieren unterschiedliche Hinweise für planerische Maßnahmen, die in der folgenden Tabelle zusammengefasst sind. Die Auflistung der Hinweise erfolgt in etwa anhand ihrer Relevanz soweit dies möglich ist.

Generell sollten weniger günstige Siedlungsflächen nicht weiter verdichtet werden und der Bestand an Grün- und Freiflächen erhalten bleiben. Soweit es innerhalb verdichteter Gebiete möglich ist, sollte eine Verbesserung der bioklimatischen Situation angestrebt werden. Eine Entsiegelung von Freiflächen und Innenhöfen sollte gefördert werden, ebenso wie die Schaffung von Schattenbereichen durch Bäume. Fassaden- und Dachbegrünungen können, soweit eine ausreichende Bewässerung gewährleistet ist, tagsüber die Aufheizung der Gebäudeoberflächen vermindern. In Kapitel 6.4 sind Maßnahmen zur Verringerung der Wärmebelastung erläutert.

Auch für die Siedlungsflächen gilt wie für die Grün- und Freiflächen, dass auf gesamtstädtischer Ebene nur ein Überblick über mögliche Maßnahmen gegeben werden kann. Zusammenfassend sind sie in Tabelle 6.2 dargestellt.

Bioklimatische Situation	Kriterium	Beurteilung der Empfindlichkeit	Maßnahmen (Auflistung nach Relevanz)
Sehr günstig und günstig  	Siedlungsraum mit sehr günstigen bzw. günstigen bioklimatischen Bedingungen. Vorwiegend offene Siedlungsstruktur mit hohem Durchgrünungsgrad und meist guter Durchlüftung.	Mittlere Empfindlichkeit gegenüber nutzungsintensivierenden Eingriffen. Maßvolles Nachverdichten unter Beibehaltung des offenen Siedlungscharakters	• Günstiges Bioklima erhalten (angepasste Verdichtung möglich, Grün- und Freiflächen erhalten, ...) • Klimaaktivität der Fläche für angrenzende Siedlungsräume beachten • Bebauungsränder offenhalten oder öffnen • Bauhöhen gering halten • Baukörperstellung im Hinblick auf Kaltluftströmungen beachten • Grün- und Freiflächenvernetzung zum Freiland schaffen • Hausbrandemissionen reduzieren
Weniger günstig 	Siedlungsstruktur mit weniger günstigen bioklimatischen Bedingungen. Areale mit höherer Bebauungsdichte und/oder unzureichender Durchlüftung.	Hohe Empfindlichkeit gegenüber nutzungsintensivierenden Eingriffen.	• Verbesserung vorhandener Durchlüftungswege • Nach Möglichkeit keine weitere Verdichtung • Grün- und Freiflächen sichern, optimieren und erweitern • Grün- und Freiflächen vernetzen • Versiegelung reduzieren (Richtwert < 60 %) • Entsiegelung und Begrünung der Blockinnenhöfe • Förderung von Dach- und Fassadenbegrünung • Stadtbaumbestand sichern und erweitern • Straßenbaumbestand klima- und immissionsgerecht ergänzen • Bei Verkehrseinfluss Emissionen reduzieren
Ungünstig 	Siedlungsstruktur mit ungünstigen bioklimatischen Bedingungen. Sehr hoher Versiegelungs- und Überbauungsgrad mit unzureichender Durchlüftung.	Sehr hohe Empfindlichkeit gegenüber nutzungsintensivierenden Eingriffen.	• Verbesserung vorhandener Durchlüftungswege • Nach Möglichkeit keine weitere Verdichtung • Grün- und Freiflächen sichern und optimieren • Förderung kleinräumiger „Klimaoasen“ • Versiegelung reduzieren (Richtwert < 80 %) • Entsiegelung und Begrünung vorhandener Blockinnenhöfe • Förderung von Dach- und Fassadenbegrünung • Stadtbaumbestand sichern und erweitern • Bei Verkehrseinfluss Emissionen reduzieren

Tab. 6.2: Stadtklimatische Hinweise für Planungsentscheidungen zu Siedlungsräumen

6.4 Bewertung der potentiellen Bauflächen in Nürnberg

Eine (Nach-)Verdichtung im Stadtgebiet oder die Errichtung neuer Baugebiete im ländlichen Raum bringt immer eine Veränderung, zumeist eine Verschlechterung, der bioklimatischen Situation mit sich. Da weitere Verdichtungen oft unumgänglich sind, soll im Folgenden eine Bewertung der Nürnberger Baupotentialflächen erfolgen. Grundlage der Einschätzung ist die heutige Ist-Situation. Zukünftige (bauliche) Entwicklungen im Stadtgebiet können die Situation verändern und eine Neubewertung der Flächen nötig machen.

In Nürnberg gibt es mit Stand vom April 2013 2148 potentielle Bauflächen von einzelnen Baulücken bis hin zu großflächigen Siedlungserweiterungsgebieten. Auf Grund der Vielzahl der Flächen erfolgte deren bioklimatische Bewertung in einem automatisierten Verfahren. Es wurden keine Einzelfallbewertungen vorgenommen. Um den Einzelfall gezielt beurteilen zu können, kann ein vorhabenbezogenes Gutachten auf B-Plan-Ebene erforderlich sein.

Als Grundlage für die Bewertung der Bauflächenpotentiale dient die Planungshinweiskarte mit der darin enthaltenen Beurteilung der Flächen. In Tab. 6.3 sind die Bewertungskriterien für die jeweilige Stufe dargestellt.

Lage der potentiellen Bauflächen	Klimaökologisches Konfliktpotential		
	vorhanden	zu prüfen	gering/nicht vorhanden
Siedlungsflächen	Siedlungsflächen mit einer weniger günstigen bioklimatischen Situation	Siedlungsflächen mit einer günstigen bioklimatischen Situation, welche einen klimatisch wirksamen Kaltluftstrom aufweisen	Siedlungsflächen mit einer sehr günstigen bioklimatischen Situation
	Siedlungsflächen mit einer ungünstigen bioklimatischen Situation	Industrieflächen mit einer weniger günstigen bioklimatischen Situation	Siedlungsflächen mit einer günstigen bioklimatischen Situation, welche keinen klimatisch wirksamen Kaltluftstrom aufweisen
Grün- und Freiflächen	Zu überbauende Grün- und Freiflächen mit einer hohen und sehr hohen bioklimatischen Bedeutung, die größer als 0,25 ha sind	Zu überbauende Grün- und Freiflächen mit einer hohen und sehr hohen bioklimatischen Bedeutung, die kleiner als 0,25 ha sind Zu überbauende Grün- und Freiflächen mit einer mittleren bioklimatischen Bedeutung	Zu überbauende Grün- und Freiflächen mit einer geringen bioklimatischen Bedeutung

Tab. 6.3: Klimaökologisches Konfliktpotential der potentiellen Bauflächen in Nürnberg

Die Beurteilung der potentiellen Bauflächen erfolgt nach dem „Ampelprinzip“ in drei Klassen. Auf Bauflächen der Klasse „geringes/nicht vorhandenes Konfliktpotential“ ist eine weitere Bebauung als stadtklimatisch unproblematisch einzuschätzen. Liegt die Baufläche innerhalb einer bereits vorhandenen Siedlung, sollte sich

die neu entstehende Bebauung in die vorhandenen Strukturen einfügen. Ist eine Bebauung auf Grün- oder Freiflächen geringer bioklimatischer Bedeutung angedacht, so sind für die bestehenden Siedlungsstrukturen nur geringe Auswirkungen zu erwarten. Dennoch sollten bei der Planung klimatische Aspekte bedacht werden, um Belastungen innerhalb und im direkten Umfeld der geplanten Bebauung zu vermeiden, insbesondere dann, wenn „bioklimatisch ungünstige Bebauungsstrukturen“ (beispielsweise Industriegebiete) geplant sind. Im Normalfall ist in der Kategorie „bioklimatisches Konfliktpotential gering/nicht vorhanden“ kein weiteres Gutachten nötig. Bei der Überplanung größerer Flächen vor allem mit „bioklimatisch ungünstigen Strukturen“ kann es allerdings notwendig sein, mögliche Varianten gutachterlich überprüfen zu lassen. Die Baupotentialflächen im Bereich Wetzendorf/Thon können hier als Beispiel dienen.

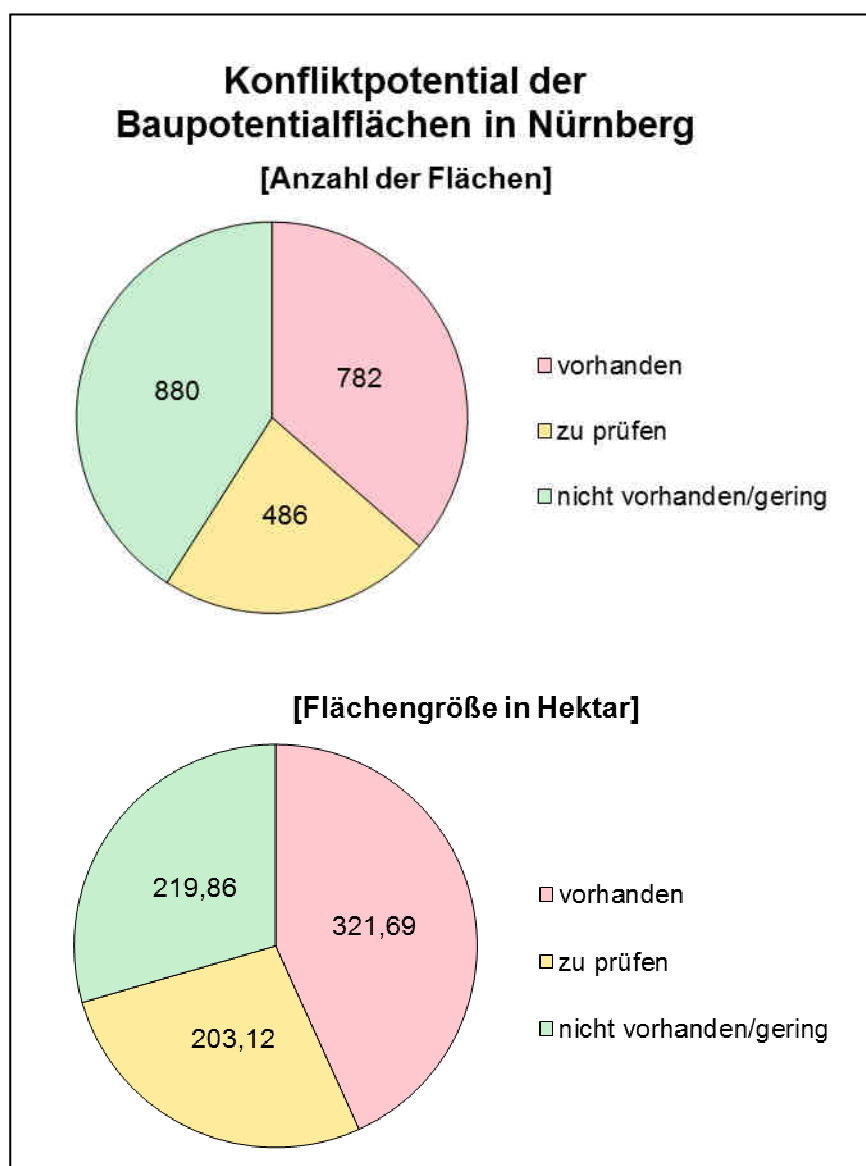


Abb. 6.4: Baupotentialflächen in Nürnberg

Die Baulücken innerhalb Thons sind wenig problematisch nachzuverdichten, so lange die geplanten Neubauten sich in die bestehende Bebauung einpassen. Die größeren Baupotentialflächen zwischen Wetzendorf und Thon auf jetzigen Grün- und Freiflächen müssen dagegen genauer betrachtet und eingeschätzt werden. Diese Flächen haben ein geringes Konfliktpotential, da im angrenzenden Knoblauchsland große Grün- und Freiflächen für die Kaltluftproduktion zur Verfügung stehen. Dennoch sollte bei der Überplanung dieser Gebiete die Kaltluftzufuhr zum Sportplatz und der angrenzenden Bebauung nicht komplett abgeschnitten werden, um die Situation in den angrenzenden Siedlungsflächen nicht übermäßig zu verändern.

Flächen der Kategorie „zu prüfen“ lassen auf Grundlage der gegebenen Informationen keine klare Einordnung des Konfliktpotentials zu. In dieser Kategorie sollte die geplante Bebauung genau bedacht werden. Die Schließung einzelner Baulücken innerhalb einer Siedlungsfläche mit einer günstigen bioklimatischen Situation ist als grundsätzlich unproblematisch zu bewerten. Größere Bauvorhaben in diesen Arealen sollten auf jeden Fall entsprechend der Kaltluftströmung ausgerichtet werden, um diese auch weiterhin zu erhalten. Hierbei kann eine gutachterliche Überprüfung durchaus sinnvoll sein. Eine Verdichtung vorhandener Industrieflächen ist meist weniger problematisch, da in diesen Gebieten die Bevölkerungsdichte gering ist. Allerdings sollte eine daraus resultierende stärkere Wärmebelastung der dort arbeitenden Menschen bedacht werden. Ebenso kann – je nach Lage des Industriegebiets - angrenzende Wohnbebauung z.B. durch eine herabgesetzte Durchlüftung von einer steigenden bioklimatischen Belastung betroffen sein. Die Überplanung kleinerer Grün- und Freiflächen mit einer Fläche $<0,25$ ha ist als eher unproblematisch für die umliegende Bebauung anzusehen, da diese Flächen auf Grund ihrer Größe ohnehin keine starke klimatische Entlastung bringen können. Es ist – gegebenenfalls auch gutachterlich – zu überprüfen, ob diese Grün- und Freiflächen in einem Verbund mit anderen Grün- und Freiflächen stehen und so trotz ihrer geringen Größe dennoch klimatisch wirksam sind. In diesem Fall ist eine weitere Verdichtung nur sehr behutsam vorzunehmen. Zudem spielen kleinere Grün- und Freiflächen innerhalb verdichteter Siedlungsgebiete oft eine wichtige Rolle als „Klimaoase“ und Rückzugsort für Anwohner an Tagen mit starker Sonneneinstrahlung. Auch dies sollte bei der Planung berücksichtigt werden. In die Kategorie „zu prüfen“ fällt beispielsweise der Bereich nördlich des Rangierbahnhofs an der Brunecker Straße. Die Baupotentialfläche ist mit etwa 103 ha sehr groß und ist gegenwärtig teilweise locker mit Lagerhallen und anderen Industriegebäuden bestanden. Dies macht die Beurteilung der Fläche sehr schwierig. Eine weitere Verdichtung würde innerhalb der Baupotentialfläche vermutlich wenig negative Folgen für die Fläche selbst in Hinblick auf ihre jetzige Nutzung mit sich bringen. Ab wann und in wie weit angrenzende (Wohn-)Bebauung beeinträchtigt wird, lässt sich abschließend nur gutachterlich nach Vorliegen einer konkreten Bebauungsplanung klären.

Potentielle Bauflächen, für die ein bioklimatisches Konfliktpotential vorhanden ist, bedürfen einer genauen Abwägung der (weiteren) Verdichtung der Fläche. Bei größeren Bauvorhaben ist eine (gutachterliche) Überprüfung wichtig. Für Industrieflächen dieser Kategorie gilt das gleiche, wie für Industrieflächen der Kategorie „zu prüfen“. Kleinere einzelne Baulücken stellen sich weniger problematisch dar. In jedem Fall sollte eine weitere Verdichtung in Gebieten mit Konfliktpotential mit einer klimaökologisch sinnvollen Planung erfolgen. In diese Kategorie fällt das „Tiefe Feld“, das in Kapitel 7 genauer betrachtet wird. Hier konnten mit Hilfe des durchgeführten Gutachtens die geplante Bebauung beurteilt und Planungshinweise gegeben werden, so dass eine klimaökologisch vertretbare Bebauung der Flächen möglich wird.

Abbildung 4.6 gibt einen Überblick über die Verteilung der Baupotentialflächen innerhalb der drei Kategorien. Es wird deutlich, dass bei der Betrachtung der Anzahl der Flächen, die Areale mit einem geringen oder nicht vorhandenen Konfliktpotential überwiegen. Die kleinste Klasse bildet die Kategorie „zu prüfen“. Wird der Fokus auf die Flächengröße gelegt, ergibt sich ein anderes Bild. Hier weist die Klasse „Konfliktpotential vorhanden“ die größte Ausprägung auf.

Das Ergebnis der Beurteilung des Konfliktpotentials ist in Karte 8 im Anhang angeführt.

6.5 Kleinräumige Maßnahmen zur Verbesserung der stadtklimatischen Situation

Der bioklimatischen Belastungssituation in den Nachtstunden kommt eine besondere Bedeutung zu, weil ein erholsamer Schlaf nur bei ausgewogenen thermischen Bedingungen möglich ist. Doch auch am Tage können bei sommerlichen Hochdruckwetterlagen starke thermophysiologische Belastungen auftreten. Hierfür ist, neben dem generell hohen Temperaturniveau, insbesondere die Aufheizung städtischer Oberflächen durch die Sonneneinstrahlung in Verbindung mit ihrer erhöhten Wärmekapazität und Wärmeleitfähigkeit verantwortlich. Maßnahmen zur Reduktion dieser Aufheizung – also im allgemeinen zur Verringerung der Oberflächen- und Lufttemperatur durch verstärkte Beschattung und eine Erhöhung der kühlenden Verdunstung durch Pflanzen oder unversiegelte Oberflächen – wirken sich häufig auch positiv auf die lokalen nächtlichen Bedingungen aus.

Auf die Relevanz innerstädtischer Grün- und Freiflächen für die bioklimatischen Bedingungen am Tage ist bereits in Kapitel 2 hingewiesen worden. Die Flächengröße entsprechender bebauungsfreier Bereiche ist im Rahmen dieser Funktion zunächst von untergeordneter Bedeutung. Selbst kleine unversiegelte Plätze, begrünte Höfe (sogenannte „Pocket Parks“) und temporär genutzte Baulücken können sich als kühlere Erholungsräume eignen und die Aufenthaltsqualität im Freien tagsüber deutlich erhöhen. Ab einer Größe von etwa einem Hektar tragen Grün- und Freiflächen bei günstigen Rahmenbedingungen auch zur nächtlichen Abkühlung der angrenzenden Bebauung bei. Nach Scherer (2007) können hierbei Reichweiten von bis zu 400 Metern beobachtet werden. Um die von den Flächen ausgehenden nächtlichen Flurwinde nicht zu beeinträchtigen, sollte der Übergangsbereich zur Bebauung – falls keine prioritäre Immissionsschutzwirkung gegeben ist – von Grünstrukturen wie dichten Baumgruppen, Gehölzen oder hohen Hecken weitgehend frei gehalten werden.

Zum Erhalt ihrer Funktion am Tage sollten innerstädtische Grün- und Freiflächen allerdings nicht ausschließlich mit Rasen bewachsen sein, sondern Sträucher und – falls möglich – Gruppen von hochstämmigen, schattenspendenden Bäumen einbeziehen. Da Bäume einen großen Teil der Strahlung bereits im Kronenraum absorbieren, bewirken sie bei starken Einstrahlungsintensitäten eine erhebliche Abkühlung der Oberflächen- und Lufttemperatur. Vor diesem Hintergrund ist eine verstärkte Förderung von großkronigen Bäumen in dicht bebauten Siedlungsbereichen insgesamt wünschenswert. Neben öffentlichen Grün- und Freiflächen, Parkplätzen und breiteren Straßenräumen betrifft dies auch Flächen, die sich in privater Verantwortung befinden (z. B. Innenhöfe und Vorgärten).

Neben diesen flächenbezogenen Eingriffen können objektbezogene Maßnahmen effektiv dazu beitragen, die Speicherung von Wärmeenergie in der Bausubstanz und damit die nächtliche Energieabgabe an die Atmosphäre oder die Innenräume zu mindern. Insbesondere bei gering gedämmten Wänden und Dächern kann das Innenraumklima in erheblichem Maße von der Oberflächentemperatur des Baukörpers beeinflusst werden. Diese wiederum wird von den Strahlungsbedingungen aber auch von der Lufttemperatur im Nahbereich des Gebäudes mitbestimmt. Die Bepflanzung (und ausreichende Bewässerung) von Dächern und Fassaden gehört daher zu den wirkungsvollsten Maßnahmen, die Energieaufnahme des Baukörpers zu reduzieren. Überdies wirken sie sich auch anderweitig in vielfältiger Form positiv auf ihr Umfeld aus (siehe z. B. DDV

2011). Neben der Dach- und Fassadenbegrünung bietet auch eine Steigerung der Sonnenlichtreflexion durch die Verwendung von hellen Farben und Baumaterialien eine wirkungsvolle Maßnahme zur Senkung der Oberflächen- und Lufttemperatur.

Wasserflächen wie Teiche und Seen, aber auch Springbrunnen und andere künstliche Wasserflächen tragen auf Grund der ausgleichenden Eigenschaften von Wasser zu einer Senkung der Temperaturen tagsüber bei. Nachts können sie auf Grund der geringen Rauigkeit leicht überströmt werden. An Standorten von Wasserflächen sollte stets ein Luftaustausch gegeben sein, um die Entwicklung von Schwüle zu vermeiden.

In Tabelle 6.4 ist zusammenfassend eine Auswahl möglicher Maßnahmen dargestellt. Die Auswahl einer Maßnahme ist insbesondere abhängig von den Gegebenheiten vor Ort. Der Effekt einer Maßnahme kann auf Grund der vielfältigen Rahmenbedingungen sehr unterschiedlich ausfallen. Auch kleinere Maßnahmen können bereits einen positiven Effekt erzielen. Insbesondere bei stark verdichteten Stadtkernen, wie in Nürnberg vorhanden, kommt den kleinräumig einsetzbaren Maßnahmen eine große Bedeutung zu. Eine großräumige Entlastung dieser Gebiete ist auf Grund der gewachsenen Strukturen nur schwer umzusetzen. Gerade deshalb sollte ein verstärktes Augenmerk auf die Schaffung kleinräumiger Entlastungsbereiche liegen.

Maßnahme	Details	Effekte
Schaffung und Erhaltung von Grün- und Freiflächen	> vorhandene grüne Innenhöfe erhalten und neue schaffen	> Klimaoasen für Anwohner; je nach Größe kleinräumige Effekte auf umgebende Bebauung
	> Straßenbahngleise oder Verkehrsinseln etc. begrünen	> Kleinräumige Auswirkungen (geringer als bei Büschen und Bäumen): Verdunstung, Abkühlung
Parkflächen erhalten, schaffen und optimieren	> aufgelockerte Struktur mit einzelnen Büschen und Bäumen	> Tagsüber Schattenplätze; nachts gute Kaltluftproduktion möglich
	> keine "Barrierepflanzungen" zur angrenzenden Bebauung	> Abfließen der produzierten Kaltluft in die Bebauung möglich
	> ggf. Wasserflächen einplanen	> tagsüber ausgleichende Wirkung auf den Temperaturgang, aber auch Erhöhung der Luftfeuchte; nachts geringer Rauigkeitswiderstand für abfließende Kaltluft
Pflanzung von Straßenbegleitgrün	> Straßenzüge und Bepflanzung in Abhängigkeit der Belastung mit Luftschadstoffen auswählen	> Verbesserung des Lokalklimas durch Verschattung und erhöhte Verdunstung
	> Auswahl geeigneter Bäume und Sträucher (stadtklimaangepasste Vegetation)	
	> mögliche Funktion als Leitbahn oder Kaltluftschneise sollte durch die Bepflanzung nicht behindert werden	
	> Verstärkung der Emissionsbelastung durch einen herabgesetzten Luftaustausch vermeiden (möglichst kein geschlossenes Kronendach, lichte kleinkronige Bäume/Sträucher in engen Straßen)	
Dachbegrünung	> ausreichende Bewässerung > Auswahl geeigneter Pflanzen	> Verringerung der Energieaufnahme durch den Baukörper > Verbesserung des kleinräumigen Lokalklimas
Fassadenbegrünung	> ausreichende Bewässerung > Auswahl geeigneter Pflanzen	> Verringerung der Energieaufnahme durch den Baukörper > Verbesserung des kleinräumigen Lokalklimas
Schaffung von Wasserflächen	> Luftaustausch muss gewährleistet sein, um Schwüle zu vermeiden	> ausgleichende Wirkung auf die Temperatur
Verwendung heller Baumaterialien und Farben	> im Straßenbau > im Hausbau	> Auf Grund der hohen Albedo geringere Energieaufnahme durch den Baukörper/das Bauobjekt
Verschattungselemente an Gebäuden	> Jalousien > Sonnensegel > Arkaden > Vegetation	> Verringerung der Energieaufnahme durch den Baukörper > Je nach Art des Verschattungselements Verbesserung der Aufenthaltsqualität auch in direktem Umfeld der Gebäude

Tab. 6.4: Kleinräumige Maßnahmen zur Verringerung der Wärmebelastung

7. Klimaökologische Detailauswertung Nürnberg „Tiefes Feld“

7.1 Aufgabenstellung

Das Wohlbefinden und die Gesundheit der Menschen sind nicht zuletzt abhängig von den meteorologischen Verhältnissen in ihrem Lebensumfeld. Dabei wirkt die Gestaltung dieses Lebensumfeldes, also vornehmlich die des Siedlungsraumes, sich direkt auf die in ihm auftretenden Wärme- und Luftbelastungen aus. Klimatische und lufthygienische Bedingungen werden somit maßgeblich durch stadtentwicklungsplanerische Maßnahmen beeinflusst. Die Stadt Nürnberg beabsichtigt die städtebauliche Entwicklung einer zurzeit vorwiegend landwirtschaftlich genutzten Fläche „Tiefes Feld“. Das überplante Areal befindet sich an der westlichen Stadtgrenze Nürnbergs. Es wird am westlichen Rand von der Südwesttangente und dem Main-Donau-Kanal begrenzt. Im Osten verläuft eine Gleistrasse. Das Untersuchungsgebiet liegt am Beginn einer Kaltluftleitbahn, so dass es die Frage zu klären gilt, ob und in welchem Maße ein Einfluss der geplanten Bebauung durch eine Hinderniswirkung auf eigenbürtige Kaltluftbewegungen vorliegt. Zudem wird überprüft, ob der lokale Luftaustausch und damit die bioklimatische Situation in angrenzenden Siedlungsräumen während windschwacher Sommernächte beeinflusst wird.

Die Durchführung der vorhabenbezogenen Detailbetrachtung ist eingebettet in die gesamtstädtische Klimanalyse. Für die planerische Berücksichtigung der Schutzgüter Klima und Luft ist es bedeutsam, sich auf eine differenzierte Bewertung der kleinräumig variablen klimatischen Bedingungen und ihrer komplexen Wechselwirkungen stützen zu können. Die zu klärenden Fragen, die im Mittelpunkt der Untersuchung stehen, beziehen sich auf das Umfeld des Plangebiets „Tiefes Feld“:

- In welchem Umfang treten eigenbürtige Kaltluftströmungen zwischen dem Umland und der angrenzenden Bebauung auf?
- Inwiefern ist der Untersuchungsraum als Kaltluftproduktionsgebiet und/oder überströmte Fläche in die Leitbahnfunktion (siehe Klimafunktionskarte) eingebunden?
- Welche Belüftungssituation liegt in der Umgebung der Vorhabenfläche vor und wie ist die bioklimatische Situation zu beurteilen?
- Wie wird sich das Bebauungsvorhaben voraussichtlich auf die klimaökologische Situation, besonders im Hinblick auf die Luftaustauschprozesse, auswirken?

Diese Studie soll klimaökologische Rahmendaten in einer hohen räumlichen Auflösung liefern, um eine sachgerechte Beurteilung der Schutzgüter Klima/Luft innerhalb des Planungsprozesses zu gewährleisten. Dabei wird das Hauptaugenmerk auf die Beeinflussung des Kaltlufthaushaltes durch das zusätzliche Baufeld gelegt.

Ausgangspunkt für die Ermittlung dieser Zusammenhänge ist eine austauscharme, sommerliche Hochdruckwetterlage, die häufig mit einer überdurchschnittlich hohen Wärmebelastung in den Siedlungsräumen sowie lufthygienischen Belastungen einhergeht. Während bei einer windstarken „Normallage“ der Siedlungsraum gut durchlüftet wird und eine Überwärmung kaum gegeben ist, stellt die windschwache Hochdruckwetterlage mit wolkenlosem Himmel im Sommer eine „Worst Case“-Betrachtung dar. Unter diesen Rahmenbedingungen können nächtliche Kalt- und Frischluftströmungen aus innerstädtischen Grün- und Brachflächen zum Abbau einer Wärmebelastung in den überwärmten Siedlungsflächen beitragen. Aufgrund der Lage im Stadtgebiet von Nürnberg ergibt sich für das „Tiefe Feld“ eine klimatische Ausgleichsfunktion, welche auch im Zuge einer baulichen Entwicklung erhalten bleiben soll. Ziel soll sein, in den Nachtstunden eine ausreichende Kalt-/Frischluftversorgung in den angrenzenden Quartieren aufrecht zu erhalten. Diese Prozesse sind für eine solche Wetterlage mit dem mesoskaligen Klima- und Strömungsmodell FITNAH simuliert worden.

7.2 Datengrundlage und Aufbau der Geodatenbasis

Nutzungsstruktur und Geländehöhe sind wichtige Eingangsdaten für die Windfeldmodellierung, da über die Oberflächengestalt, die Höhe der jeweiligen Nutzungsstrukturen sowie deren Versiegelungsgrad das Strömungs- und Temperaturfeld entscheidend beeinflusst wird. Die dafür erforderlichen Geodaten wurden vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt. Die Größe des untersuchten Gebiets orientiert sich zum einen an den Kapazitätsgrenzen des Strömungsmodells FITNAH. Zum anderen wurde das Untersuchungsgebiet so gewählt, dass sowohl die kaltluftproduzierenden Flächen im Südwesten des Untersuchungsgebiets, als auch die Kaltluftleitbahn im Nordosten darin enthalten sind. So wird sichergestellt, dass alle relevanten Prozesse in der Umgebung des Tiefen Felds erfasst werden. Das gesamte Untersuchungsgebiet, das in die Modellierung mit FITNAH eingegangen ist, hat bei einer Abmessung von 4 x 4 km eine Fläche von insgesamt 16 km². Abbildung 7.1 stellt dieses Gebiet dar. Außerdem dargestellt ist das Plangebiet, das mit einer pinken Linie gekennzeichnet ist. Das Plangebiet umfasst im Gegensatz zum Untersuchungsgebiet, lediglich die überplante Fläche. Die Modellierung der meteorologischen Parameter erfolgte mit einer Zellengröße von 10 m x 10 m, um vor allem Gebäude aber auch die weitere Nutzung kleinräumig darzustellen. Modelliert wird auch hier ebenso wie bei der gesamtstädtischen Modellierung die klimatische Situation während einer autochthonen Wetterlage (s. Glossar) um 4 Uhr morgens.

7.2.1 Nutzungsstruktur

Die Aufbereitung der Nutzungsstrukturen fand auf Grundlage der für das gesamte Modellgebiet Nürnberg bereits erstellten Nutzungskartierung statt (vgl. Kap. 3.1). Die Daten wurden auf Basis von Luftbildern (Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung 2011) überprüft und an die kleinere Rasterweite angepasst.

Die Nutzungsstruktur im Ist-Zustand für den Untersuchungsraum zeigt Abb. 7.1:

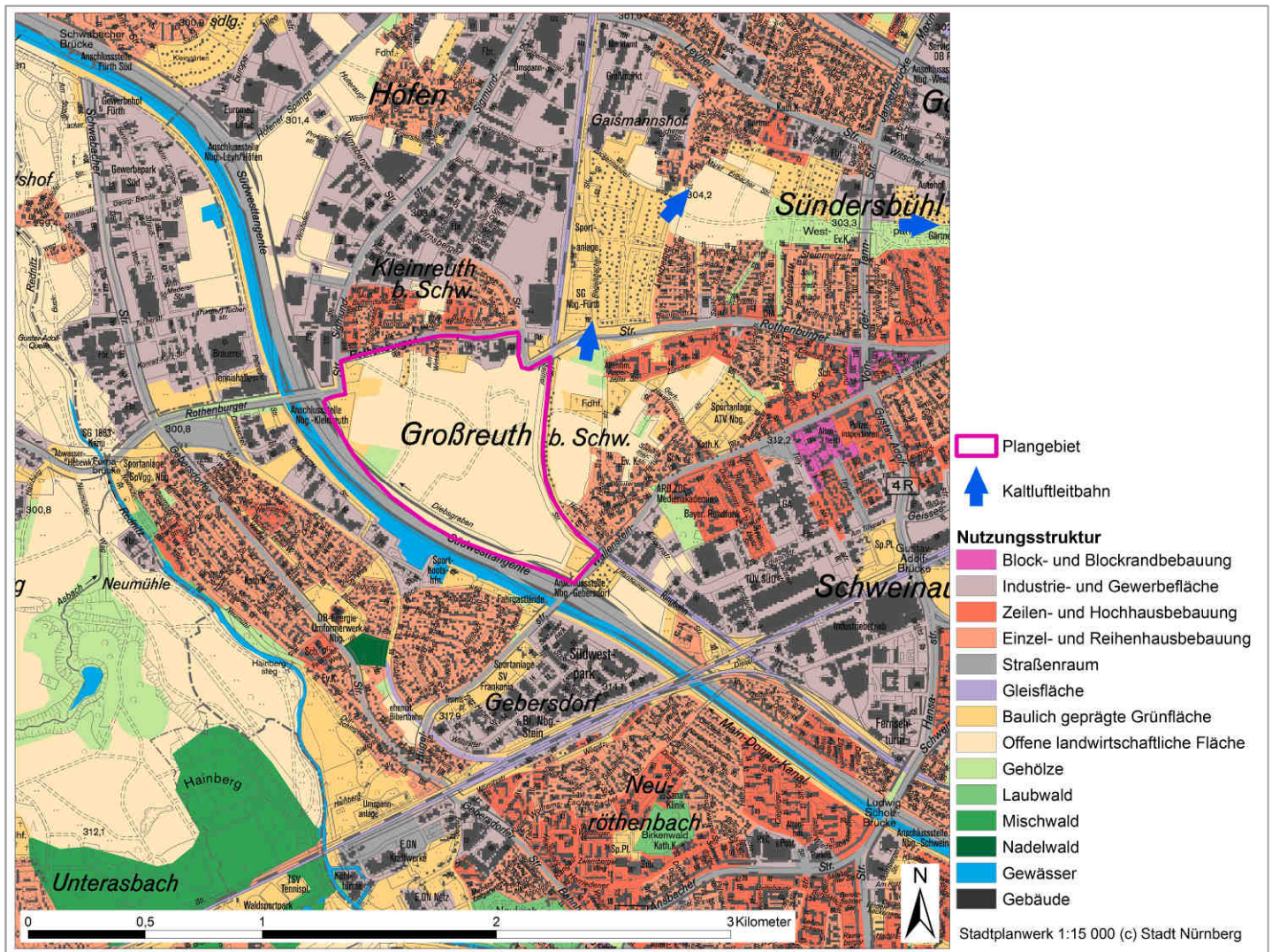


Abb. 7.1: Nutzungsstruktur im Ist-Zustand

Für die Einordnung des Oberflächenversiegelungsgrades sind nutzungsklassifiziert vorliegende Literaturdaten (u.a. MOSIMANN et al. 1999) genutzt worden, die auf empirisch gewonnenen Untersuchungsergebnissen aus mehreren deutschen Städten beruhen.

Eine wichtige Modelleingangsgröße stellt zudem die Höhe der Baustrukturen dar, welche einen maßgeblichen Einfluss auf das lokale Windfeld ausübt. Dafür wurden vom Auftraggeber die Gebäudegeometrien mit der jeweiligen Gebäudehöhe (LoD1) zur Verfügung gestellt. Für die geplanten Baukörper im Plangebiet „Tiefes Feld“ sowie für Gebäude außerhalb der Stadtgrenze liegen keine detaillierten Höhenangaben vor, so dass hier eine mittlere Gebäudehöhe von 8 m angenommen wurde.

Auf dieser Grundlage wurde den die Gebäude repräsentierenden Rasterzellen eine individuelle Strukturhöhe zugewiesen. Mit der hohen räumlichen Auflösung von 10 m x 10 m war es möglich, die Gebäudestrukturen

realitätsnah zu erfassen und ihren Einfluss auf den nächtlichen Luftaustausch abzubilden. Abbildung 7.2 zeigt die Höhenstufung der Gebäudehöhen.

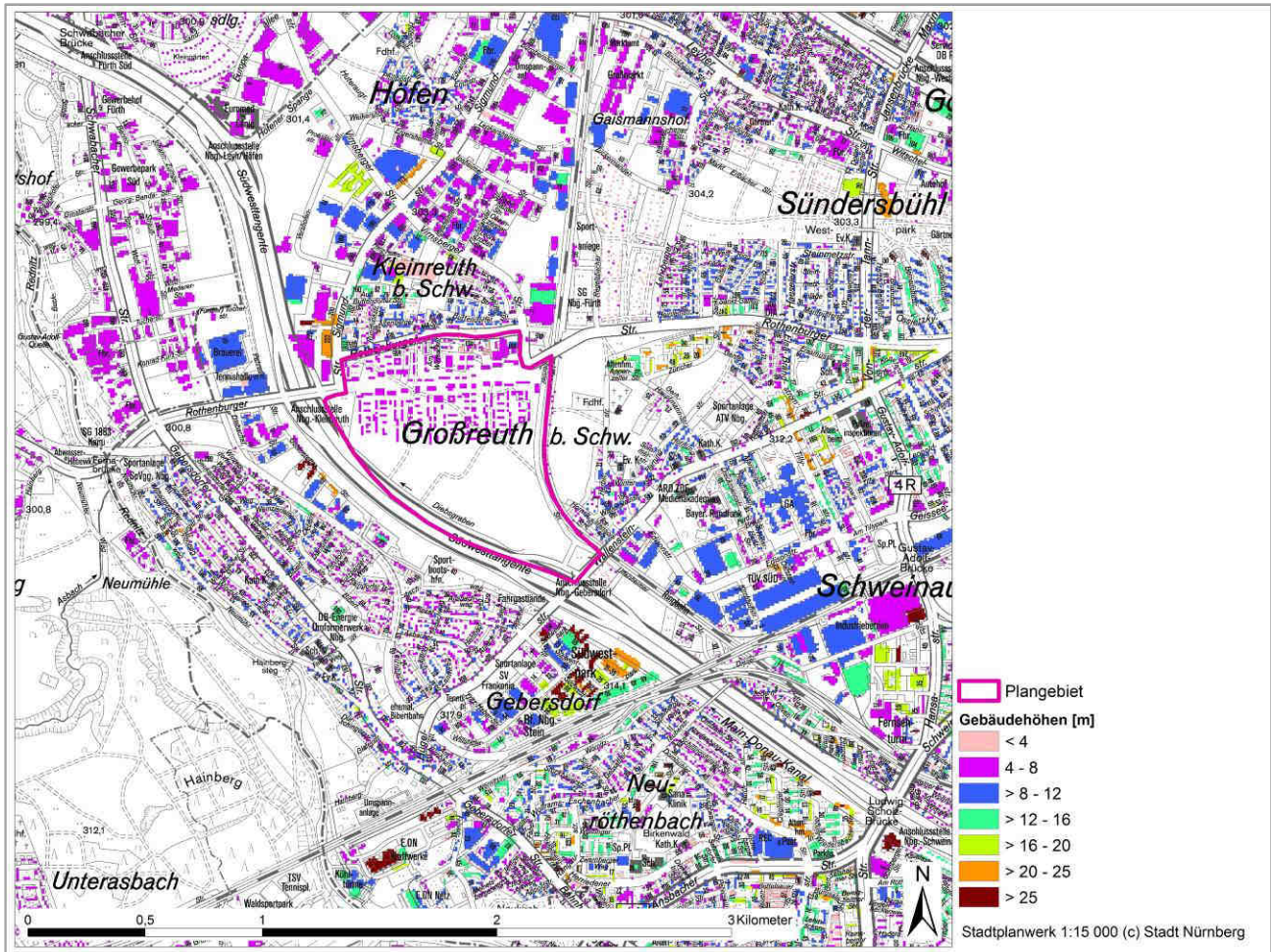


Abb. 7.2: Gebäudehöhen im Untersuchungsgebiet

7.2.2 Geländehöhe

Zur Berücksichtigung der orographischen Eingangsparameter für die Berechnung des Wind- und Temperaturfeldes wurde ein digitales Geländehöhenmodell der Stadt Nürnberg mit einer Auflösung von 1 m aufbereitet. Für die außerhalb des Stadtgebiets gelegenen Bereiche des Untersuchungsraums musste auf Digitale Geländeerhebungsdaten zurückgegriffen werden. Die Zellengröße des erzeugten Modelleingangsrasters beträgt 10 m. Die Geländehöhe ist in Abb. 7.3 dargestellt, wobei im Untersuchungsraum Höhen von etwa 288 bis 322 m über N.N. anzutreffen sind.

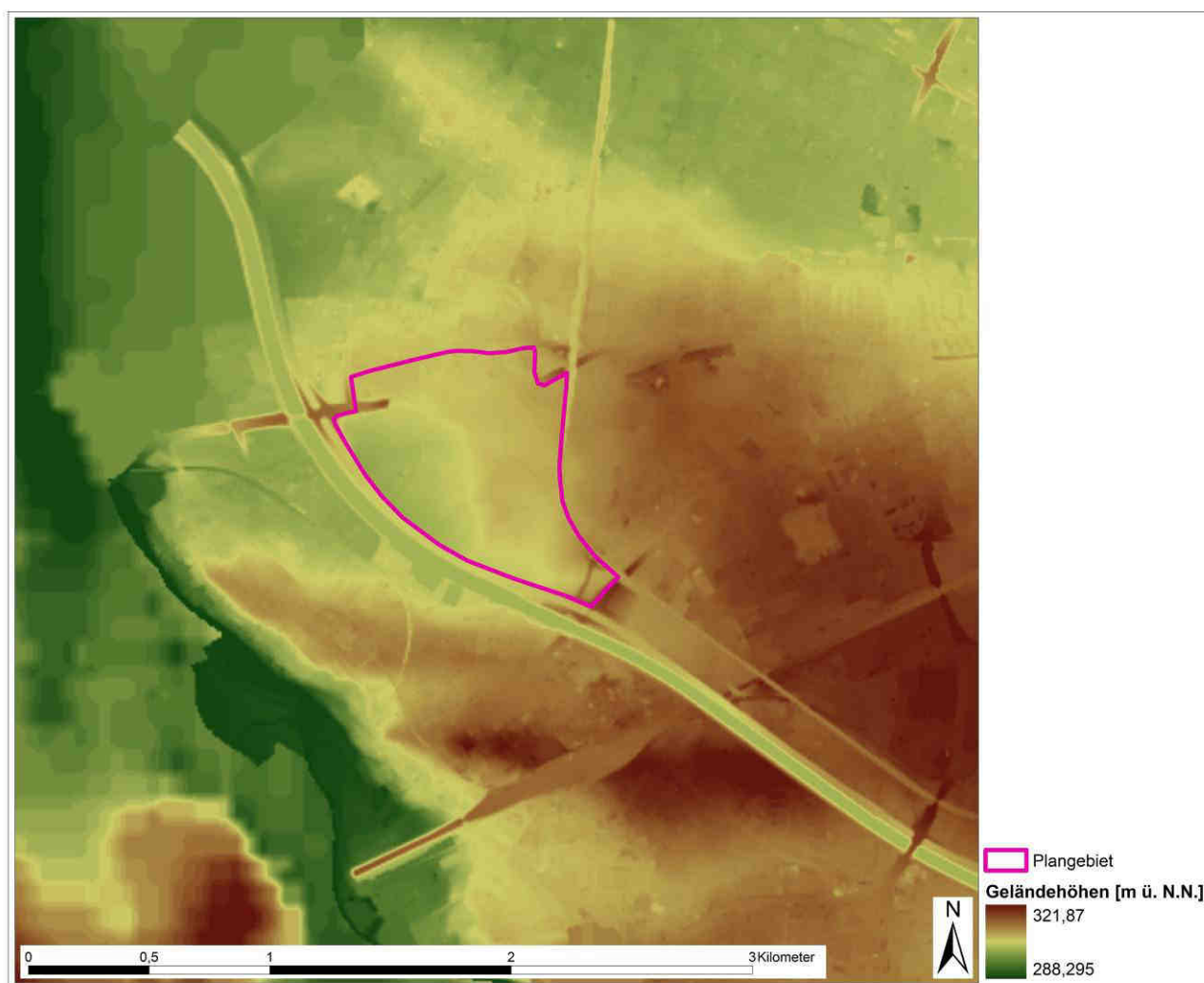


Abb. 7.3: Geländehöhe im Untersuchungsraum (Ist-Zustand)

Die höchsten Geländepunkte sind im Osten und im Südwesten des Untersuchungsgebiets zu finden. Die niedrigste Geländehöhe befindet sich im Bereich der Rednitzniederung.

7.2.3 Das Plangebiet „Tiefes Feld“

Das Planungsgebiet „Tiefes Feld“ umfasst insgesamt etwa 72 ha. Geplant ist eine Bebauung der Fläche im Norden angrenzend an die bestehenden Strukturen des Stadtteils Kleinreuth. Die Verlegung der Rothenbur-

ger Straße nach Süden und eine Erschließung durch die U-Bahn sind geplant. Im Bereich der neuen Rotenburger Straße ist eine Mischnutzung der Gebäude mit Gewerbe/Dienstleistungen und für die öffentliche Daseinsvorsorge vorgesehen. Nach Süden hin anschließend sollen Einzel-, Doppel-, und Reihenhäusern unterschiedlicher Gebäudetypologien für eine Wohnnutzung entstehen. Anschließend an die Wohnbebauung ist ein öffentlicher Landschaftspark mit einer Wasserfläche geplant. „Grüne Finger“ (öffentliche und halböffentliche Grünareale zwischen der Bebauung) stellen eine Verbindung zwischen Park und bereits vorhandenen Baustrukturen her. Im südlichen Teil des „Tiefen Felds“ ist geplant die ursprüngliche ackerbauliche Nutzung zu erhalten, während entlang der Südwesttangente im Westen und der Bahngleise im Osten Lärmschutzwälle entstehen. Diese wurden für die Klimamodellierung auf Grundlage der bisherigen Planungen mit 10 m Höhe an der Gleistrasse und 8 m Höhe an der Südwesttangente angenommen. Auf Grundlage der von der Stadt Nürnberg zur Verfügung gestellten Entwurfsplanung wurden die Bebauungsstrukturen für den Plan-Zustand übernommen. Die Planung der Wasserfläche sieht zwei Varianten vor. Entweder sollen grachtenartige „Gewässerfinger“ zwischen den einzelnen Wohnquartieren entstehen, oder es werden Ableitungsmulden für die Entwässerung des Plangebiets zwischen der Bebauung realisiert (vgl. STADT NÜRNBERG 2010). Für die Modellierung des Planzustands wurde die zweite Variante (siehe Abb. 7.5) angenommen und die Variante Gewässerfinger (siehe Abb. 7.15) ebenso wie eine mögliche Nicht-Umsetzung einer Wasserfläche abschließend ebenfalls gutachterlich eingeschätzt.



Abb. 7.4: Geplante Bebauung des „Tiefen Felds“

Quelle: ARBEITSGEMEINSCHAFT .SPF, SCHÖNLE.PIEHLER.FINKENBERGER 2011

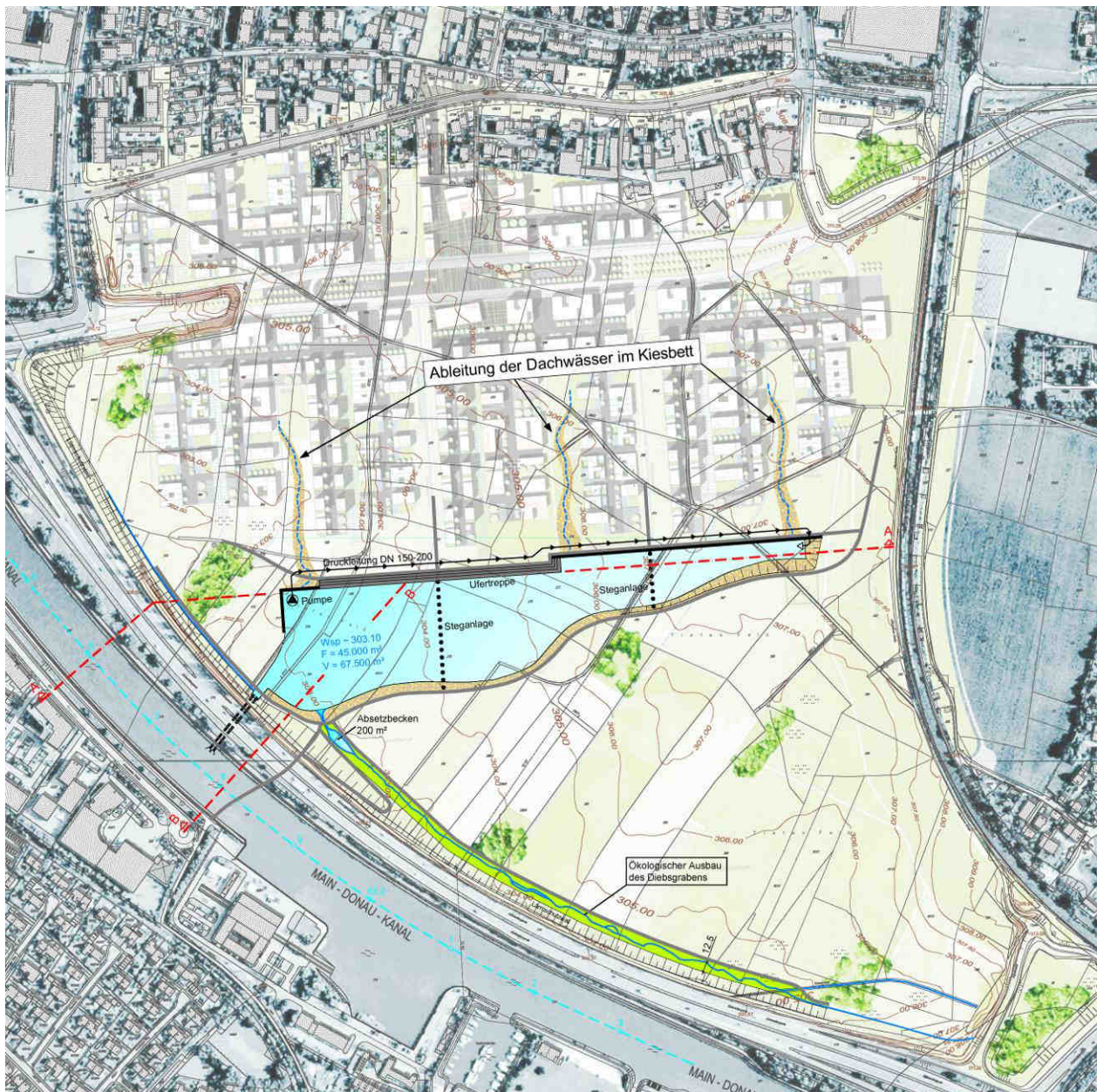


Abb. 7.5: Geplante Nutzung im Tiefen Feld
 Quelle: STADT NÜRNBERG 2010

Das nähere Umfeld des Plangebiets ist heterogen geprägt. Der Bereich ist von unterschiedlich strukturierten Industrieflächen, aber auch von Wohnbebauung und Kleingartenarealen umgeben. Von Nordwest nach Südost verlaufen die Südwesttangente sowie der Main-Donau-Kanal. Weiter im Westen schließt die Rednitzniederung mit ausgedehnten Grün- und Freiflächen zum Teil mit Baum- und Gehölzbestand an.

7.3 Ergebnisse

7.3.1 Vorgehen bei der Modellierung

Im Folgenden werden die Ergebnisse der FITNAH-Modellierung zu den meteorologischen Parametern Lufttemperatur, Kaltluftströmungsgeschwindigkeit, Kaltluftvolumenstrom sowie dem Bioklima erläutert. Als meteorologische Rahmenbedingung wurde eine austauscharme Wetterlage zugrunde gelegt, da sich die stadtklimatischen Effekte vor allem während windschwacher Strahlungswetterlagen im Sommer entwickeln. Auslöser dieser Prozesse sind die Temperaturunterschiede zwischen den überwärmten Siedlungsräumen und den kühleren vegetationsgeprägten bzw. unbebauten Flächen. Die Ergebnisse werden für den Istzustand als Basisszenario sowie dem in Kap. 7.2.3 beschriebenen Entwurf als Planszenario für die zweite Nachthälfte (4 Uhr morgens) dargestellt (Abb. 7.6). Dieser Zeitpunkt wurde gewählt, da sich die Luftaustauschprozesse zwischen dem Umland und den Siedlungsflächen zu diesem Zeitpunkt vollständig ausgebildet haben.

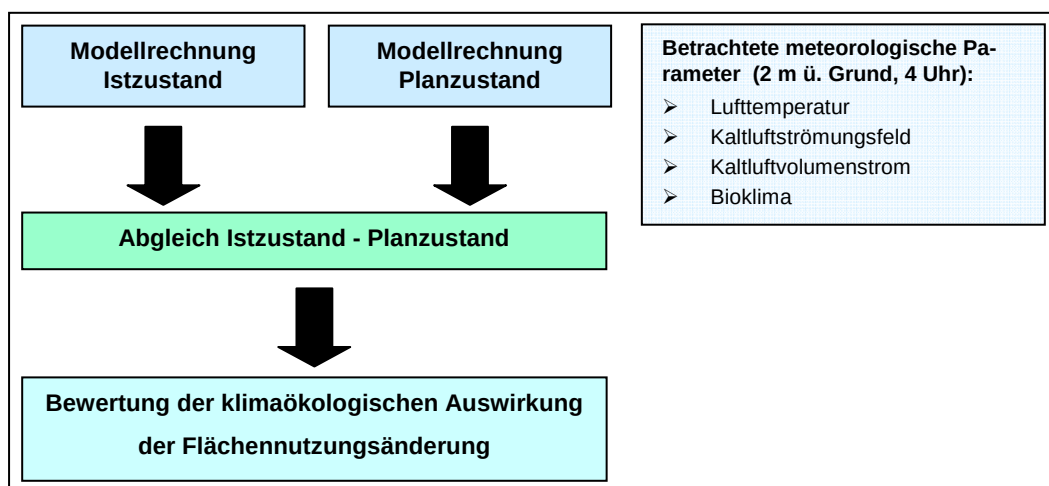


Abb. 7.6: Untersuchungsaufbau

Dargestellt in den folgenden Abbildungen ist jeweils ein Ausschnitt des Untersuchungsgebiets. Der Fokus wurde hier auf das Plangebiet gelegt. Weiter entfernt liegende Gebiete, die zwar für die Modellierung relevant waren, aber durch die Planung auf dem Tiefen Feld nicht beeinflusst werden, werden nicht mehr dargestellt. Differenzkarten (also Karten in denen der Unterschied zwischen dem Ist- und dem Planzustand in einer Differenz dargestellt wird) verdeutlichen im Anschluss die räumlichen Effekte der Nutzungsänderungen auf die Ausprägung der meteorologischen Größen im Vergleich zum Basisszenario.

7.3.2 Lufttemperatur

Istzustand

Das sich um 4 Uhr in der Nacht einstellende Temperaturfeld im Untersuchungsraum umfasst zwischen Minimalwerten von 15,5°C und Maximalwerten von 21,4 °C eine Spannweite von 5,8 °C. Die mittlere Temperatur des Untersuchungsgebietes liegt unter den angenommenen meteorologischen Rahmenbedingungen bei etwa 18,8 °C.

Die Temperaturverteilung ist räumlich differenziert, da Areale mit Wohnbebauung, Verkehrsanlagen sowie Grün- und Freiflächen unterschiedliche Boden- und Oberflächeneigenschaften aufweisen. Abb. 7.7 (oben) zeigt das mit dem Klimamodell FITNAH simulierte Temperaturfeld in 2 m über Grund zum Zeitpunkt 4 Uhr für den derzeitigen Zustand als Basisszenario. Die höchsten Temperaturen von über 21 bis 22 °C treten großflächiger in dem Gewerbegebiet nördlich vom „Tiefen Feld“ auf (rot). Dies geht mit dem überdurchschnittlichen Bauvolumen und der hohen Oberflächenversiegelung einher, da hier die nächtliche Abkühlung durch die Wärme speichernden Materialien wie Beton und Stein deutlich reduziert wird. Etwas niedrigere Werte von über 20 bis 21 °C sind in einem Großteil der übrigen Industrieflächen mit insgesamt weniger dichter Bebauung anzutreffen. Auch stärker verdichtete Wohnbauflächen weisen diese Temperaturen auf (orange).

Ein mit 18 °C bis 20 °C deutlich niedrigeres Temperaturniveau liegt dagegen in den aufgelockerten Siedlungsflächen mit vornehmlich Einzel- und Reihenhausbauung vor. Dies ist zum einen auf die Nähe zu den Kaltluft produzierenden Flächen, zum anderen aber auch auf den vergleichsweise geringen Überbauungsgrad und den hohen Grün- oder Freiflächenanteil des hier vorliegenden Bebauungstyps zurückzuführen.

Im Temperaturfeld treten vor allem die durch Wiese und landwirtschaftliche Nutzung geprägten Areale mit den niedrigsten Temperaturen von weniger als 18 °C hervor, da hier eine intensive nächtliche Wärmeabstrahlung mit entsprechender Abkühlung der darüber lagernden Luft erfolgen kann. Dabei sind die niedrigsten Werte von 15,5 °C auf den großen Grün- und Freiflächen westlich der Rednitzniederung zu beobachten. Werte zwischen 17 und 19 °C sind im Bereich der Kleingartenareale zu finden. Im Plangebiet selbst, welche als Ackerfläche genutzt wird, treten im zentralen Bereich Werte von 16 bis 17 °C auf, welche im Bereich der bereits vorhandenen Bebauung im Norden der Fläche auf bis zu 21 °C ansteigen. Hier zeigt sich eine gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen der gesamtstädtischen Klimaanalyse hinsichtlich Temperaturniveau und räumlicher Ausprägung.

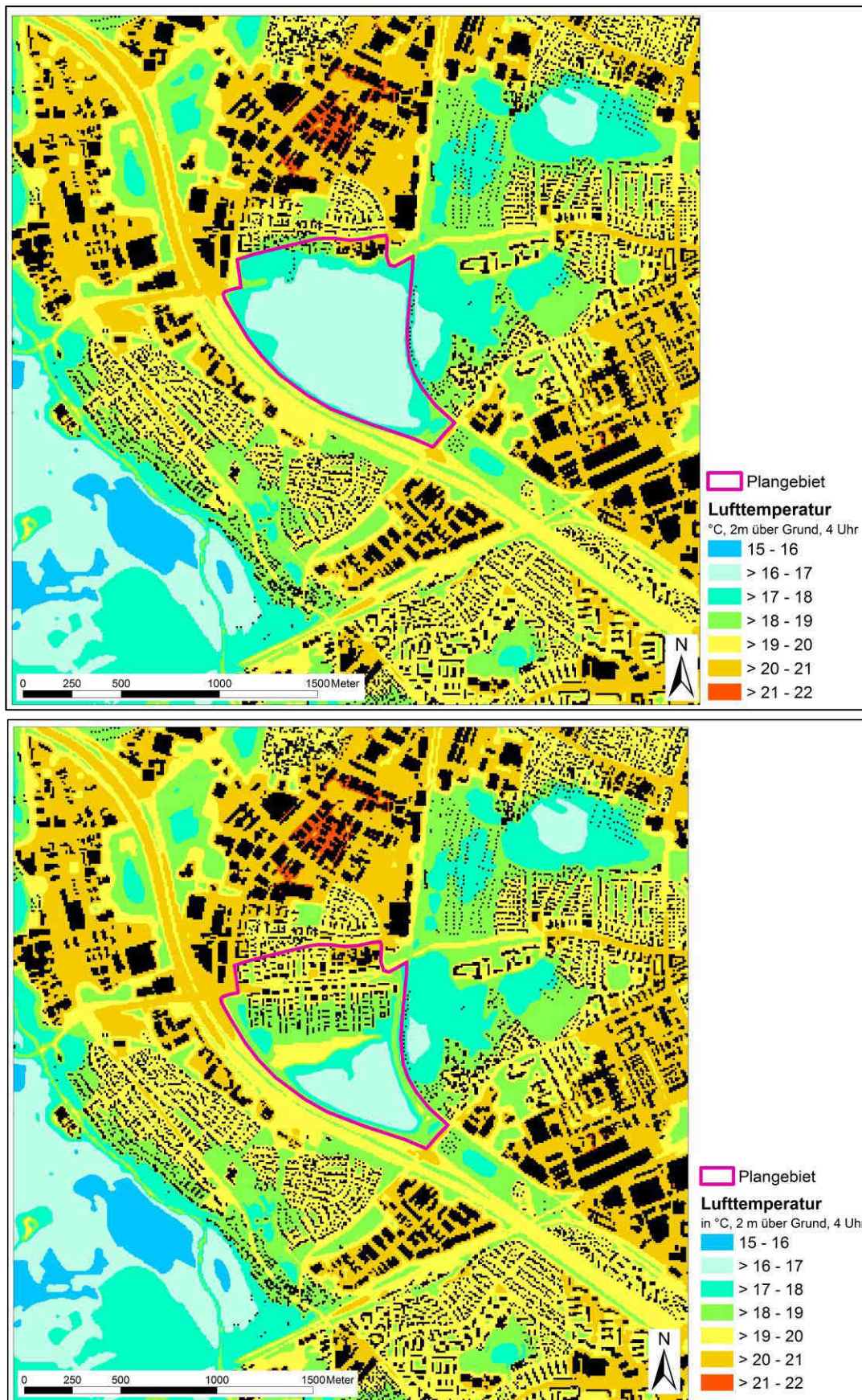


Abb. 7.7: Bodennahe Lufttemperatur um 04 Uhr – Istzustand (oben) und Planzustand (unten)

Über dem Main-Donau-Kanal weisen Temperaturen 19 bis 21 °C auf. Auf Grund der ausgleichenden Wirkung der Wasserfläche sind hier insgesamt höhere Temperaturen als in der direkten Umgebung anzutreffen. Wasser besitzt eine hohe Wärmekapazität und kann daher viel Energie in Form von Wärme speichern. Das Wasser erwärmt sich im Laufe des Tages langsamer als beispielsweise Ackerboden. Es speichert die Wärme aber auch besser, so dass das Wasser auch nachts noch höhere Temperaturen aufweist, wenn der Ackerboden längst ausgekühlt ist. So kommt es, dass Wasser tagsüber zumeist kühlend durch geringere Temperaturen auf die Umgebung wirkt, nachts aber höhere Temperaturen aufweisen kann. Im Bereich der Industrieflächen steigen auch die Temperaturen über dem Fluss an.

Planzustand

Die bodennahe Lufttemperatur ist in Abb. 7.7 (unten) für den Planzustand mit der vorgesehenen Bebauung und der Wasserfläche dargestellt. Dabei zeichnet sich das neue Quartier im Temperaturfeld mit nun höheren Temperaturen als im Istzustand über Acker ab. Die Werte liegen dort in einer Größenordnung von verbreitet 18 bis 20 °C, vereinzelt auch 21 °C. Sie liegen damit größtenteils im Bereich des Temperaturniveaus der vorhandenen Einzel- und Reihenhausbauung. Im übrigen Untersuchungsraum bleibt die Lufttemperatur weitestgehend unverändert.

Die Abweichungen der Temperatur zwischen dem Plan- und Istzustand sind in Abb. 7.8 als Absolutwerte dargestellt. Dabei werden die beschriebenen Änderungen als Zunahmen (gelbe und rote Farbe) und Abnahmen (blaue Farbe) sichtbar. Sehr deutlich zeichnet sich die geplante Bebauung durch höhere Temperaturen in der Differenzenabbildung ab. Die Zunahmen der Lufttemperatur können hier bis zu 3,3 °C betragen. Dies ist darauf zurück zu führen, dass im Ist-Zustand der größte Flächenanteil unbebaut ist und nach einer Bebauung nun ein insgesamt höheres Temperaturniveau vorliegt. Dies liegt daran, dass die geplanten Baukörper tagsüber mehr Wärmeenergie aufnehmen, die sie nachts abgeben, als das freie Feld des Istzustands. Der Bereich der geplanten Wasserfläche tritt, auf Grund der temperaturnivauausgleichenden Funktion des Wassers, deutlich als wärmere Fläche hervor. Ebenso sind die geplanten Lärmschutzwälle mit einer höheren Temperatur zu erkennen. Im Vergleich zu dem im Ist-Zustand vorhandenen Freiland in diesen Arealen werden die Lärmschutzwälle im Planzustand einen Bewuchs aus Büschen und Bäumen aufweisen, der die nächtliche Abkühlung leicht abschwächt.

Kleinere Bereiche mit einer Abnahme der Temperatur um 0,5 °C und weniger sind im Süden und Nordosten des Plangebiets zu erkennen, was auf geänderte Strömungsbedingungen der Kaltluft zurückzuführen ist. Es zeigt sich, dass der Einfluss der Nutzungsänderungen auf die Lufttemperatur rasch abklingt und im Wesentlichen auf das Plangebiet und auf einen kleinen Teil der direkt angrenzenden Siedlungsfläche von Kleinreuth begrenzt bleibt. Die Temperatursituation im bodennahen Bereich des Bestands bleibt somit weitestgehend unverändert.

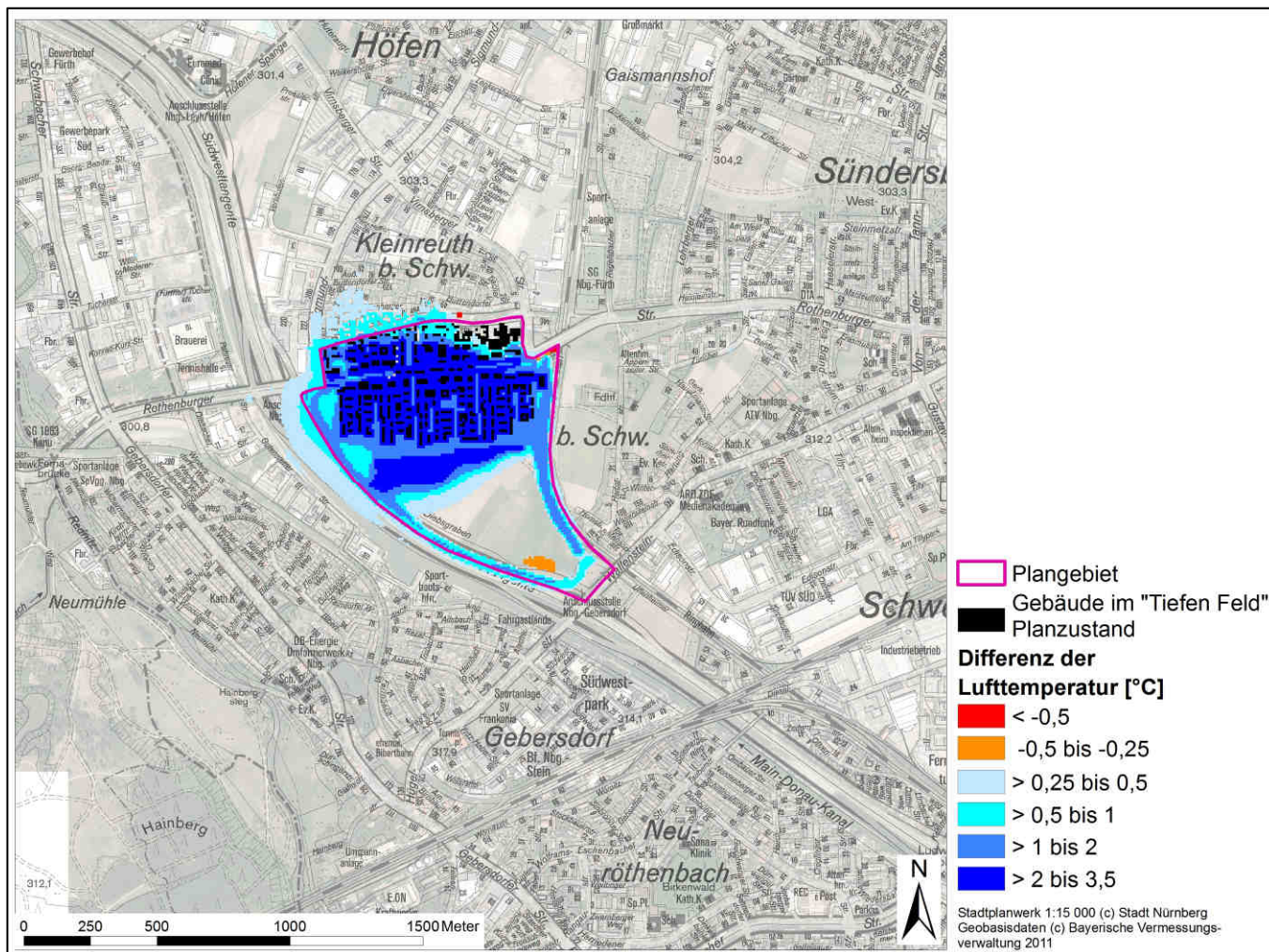


Abb. 7.8: Differenz bodennahen Lufttemperatur um 04 Uhr zwischen Plan- und Istzustand

7.3.3 Kaltluftströmungsfeld

Abbildung 7.9 stellt das sich zum nächtlichen Analysezeitpunkt ausgeprägte Kaltluftströmungsfeld in zwei Ebenen dar. Die Strömungsrichtung und Strömungsgeschwindigkeit wird über die Pfeilrichtung und Pfeillänge in Form von Vektoren abgebildet, wobei die Pfeile der Karte für eine übersichtlichere Darstellung auf 40m aggregiert worden sind. Die unterlegten Rasterzellen stellen zudem die Windgeschwindigkeit flächenhaft in einer Farbstufung dar. Die Werte beziehen sich auf eine Analysehöhe von 2m über Grund. Abgebildet sind alle Zellen des ursprünglichen Rasters, für die aufgrund einer modellierten Mindestwindgeschwindigkeit von $\geq 0,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ und unter Berücksichtigung der gebietstypischen Ausprägung eine potenzielle klimaökologische Wirksamkeit angenommen werden kann.

Istzustand

Die vorliegende Untersuchung geht der Frage nach, in wie weit sich das geplante Wohnquartier auf den Luftaustausch innerhalb der bestehenden Bebauung auswirken wird. Abbildung 7.9 oben zeigt die Strömungsgeschwindigkeit des modellierten Windfeldes für den Istzustand, das sich während einer sommerlichen, wind-

stillen Strahlungswetternacht eigenbürtig ausbildet. Die Geschwindigkeit der Kaltluftströmungen liegt zwischen 0,1 m/s bis 0,3 m/s, wobei deren Dynamik räumlich variiert. Überdurchschnittlich hohe Strömungsgeschwindigkeiten von mehr als 0,5 m/s treten vor allem in der Rednitzniederung und den westlich angrenzenden Grün- und Freiflächen auf, da über dem meist unbebauten Untergrund die Kaltluft entsprechend beschleunigt werden kann. Auch das Plangebiet wird flächenhaft von Kaltluft überströmt, wobei eine eigene Kaltluftbildung diesen Prozess verstärkt. Die Kaltluft sowohl nach Westen und Südwesten in Richtung des Main-Donau-Kanals, als auch nach Norden in Richtung der Siedlungs- und Kleingartenflächen von Kleinreuth gelenkt. Über die im Nordosten angrenzende Sportanlage der SG Nürnberg-Fürth und über die Kleingartensiedlung Gaismannshof kann die Kaltluft weit in die Besiedlung vordringen und über die weiteren angrenzenden Grün- und Freiflächen weiter nach Norden und Osten gelangen. Hier spielt besonders auch die eigene Kaltluftbildung der Flächen eine entscheidende Rolle. Der größte Teil der im Bereich des Plangebiets entstehenden Kaltluft strömt in nordwestlicher Richtung ab, während die über die Leitbahn über der Sportanlage des SG Nürnberg-Fürth und der Kleingartensiedlung Gaismannshof (siehe Kapitel 5.3 und Karte 6 (Klimafunktionskarte)) nach Norden hin strömende Kaltluft vor allem östlich des Plangebiets gebildet wird.

Die Eindringtiefe der Kaltluft in die Siedlungsräume ist, bei direkt an Ausgleichsräume angrenzenden Arealen, gut ausgeprägt und kann bei günstigen strukturellen Bedingungen über 800 m hinausgehen. Mit zunehmender Entfernung von den Kaltluftquellgebieten verringert sich in den bebauten Bereichen aufgrund der Oberflächenrauigkeit die Strömungsgeschwindigkeit auf weniger als 0,1 m/s, wobei das höhere Temperaturniveau die Kaltluftströmung zusätzlich abschwächt. Gleichzeitig lässt sich auch die Hinderniswirkung größerer Baukörper beobachten, welche umströmt werden und so eine Kanalisierung der Windbewegung bewirken. Kleinere Gebäude wie eine Einzelhausbebauung werden dagegen von der Kaltluft leichter umströmt und wirken sich vergleichsweise wenig auf die Strömung aus.

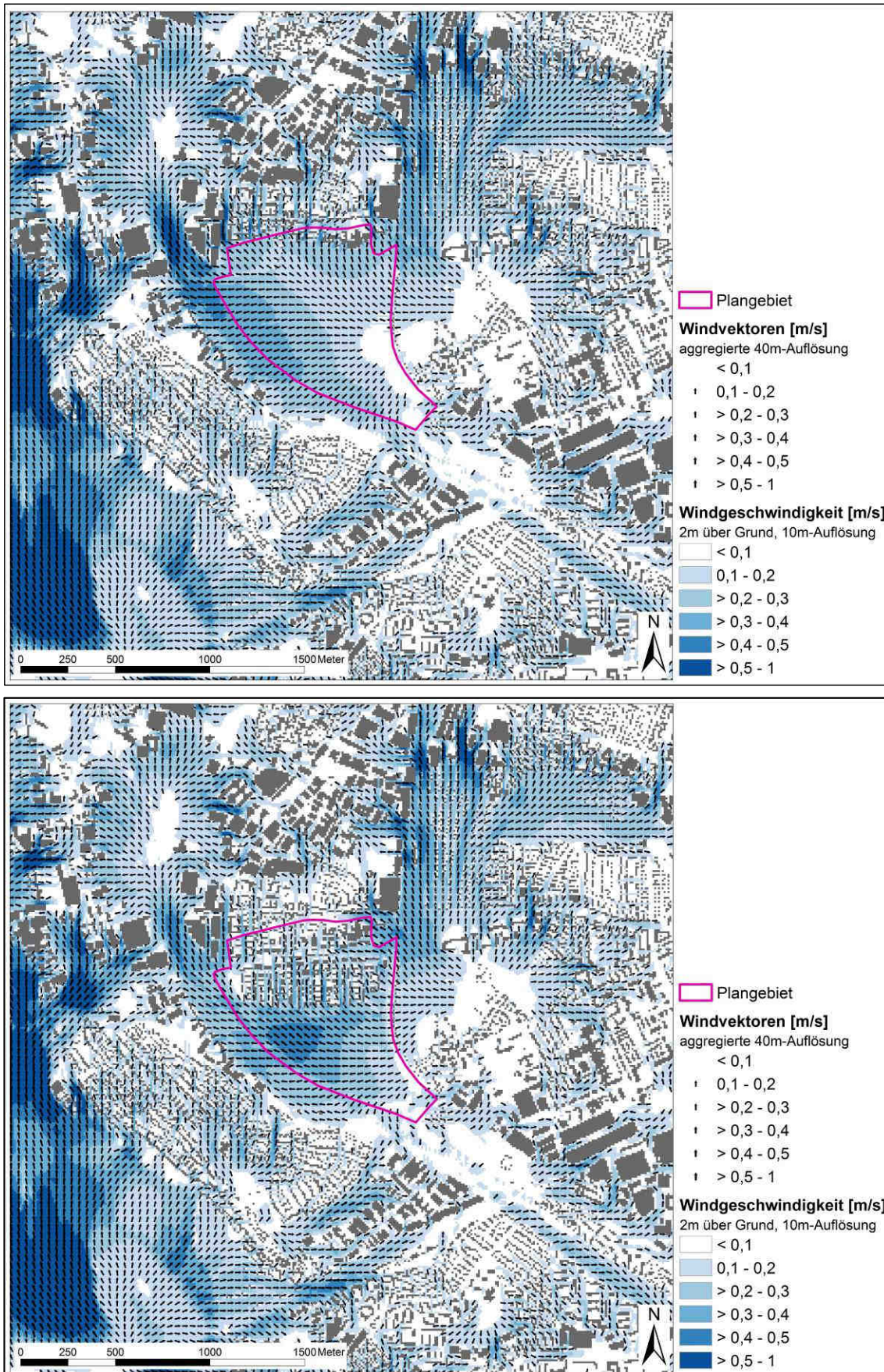


Abb. 7.9: Bodennahe Strömungsgeschwindigkeit der Kaltluft um 04 Uhr – Istzustand (oben) und Planzustand (unten)

Planzustand

Das nächtliche Strömungsfeld für den Planzustand zeigt Abb. 7.9 unten. Dabei zeichnet sich das Plangebiet „Tiefes Feld“ mit den zukünftigen Gebäuden als Strömungshindernis ab, wobei die Strömungsgeschwindigkeit innerhalb der Fläche selbst lokal auf weniger als 0,3 m/s zurückgehen kann. Gleichzeitig wird eine intensive Durchlüftung der neu geplanten Bebauung durch die „grünen Finger“ sichtbar. Im Bereich der geplant Wasserfläche, die einen sehr geringen Rauigkeitswiderstand bietet und auf Grund der höheren Temperatur, die als „Antrieb“ für die Strömung dient, können hohe Windgeschwindigkeiten bis zu 0,5 m/s beobachtet werden. Die geplanten Lärmschutzbauten, die die Grün-/Freifläche einrahmen, werden im Verlauf der Nacht überströmt. Allerdings können sie die Strömung bis zu einem gewissen Grad ablenken und abbremesen. Insbesondere am Abend und in der ersten Nachthälfte, wenn sich die Kaltluftschichtung erst entwickelt, wirken diese Bauwerke als Barriere. Zum untersuchten Zeitpunkt um 4 Uhr morgens zeigt sich, dass die Kaltluftschichtung inzwischen die Höhe der Lärmschutzbebauung übersteigt und diese überströmt wird. Die veränderten Strömungsbedingungen führen allerdings nicht zu einer nennenswerten Verschlechterung der Strömung im Untersuchungsgebiet.

Die Differenzenabbildung macht die angesprochene lokale Beeinflussung des Kaltluftströmungsfeldes noch besser sichtbar (Abb. 7.10). Der Planfall führt innerhalb der neuen Bebauung zu einer Reduktion der Strömungsgeschwindigkeit um mehr als 0,3 m/s (rote Farbe) einerseits und auf Grund des Kanalisierungseffekts zu einer Zunahme der Windgeschwindigkeiten über den geplanten Grünarealen von über 0,3 m/s (blaue Farbe). Innerhalb der bereits vorhandenen Siedlungsfläche Kleinreuth kommt es auf Grund der nun vorgelagerten Bebauung zu einer Abnahme der Windgeschwindigkeiten. Durch die geplanten Grünbezüge kommt der Luftstrom dort allerdings nicht komplett zum Erliegen. Aufgrund der Nord-Süd-Ausrichtung der geplanten Bebauung kann die neue Siedlung gut durchströmt werden, da im Untersuchungsgebiet eine Strömung aus südöstlicher Richtung in das Wohngebiet vorherrscht. Insgesamt werden sowohl die neu geplante Bebauung als auch die bestehenden Baustrukturen auch nach Umsetzung der Planung noch gut bzw. ausreichend durchströmt.

Die geplante Bebauung in Kombination mit dem Lärmschutzwall führt im Westen des Plangebiets zu einer Abschwächung der Strömung im Bereich des Main-Donau-Kanals. Im Osten kommt es zwischen Bebauung und Wall zu einer Erhöhung der Windgeschwindigkeiten. Ebenso kommt es dort durch die Ablenkung der Strömung nach Süden entlang der Lärmschutzbebauung im südlichen Bereich zu einer lokalen Erhöhung der Windgeschwindigkeiten. Auf der Freifläche des „Tiefen Felds“ erhöhen sich die Windgeschwindigkeiten auf Grund der bereits erläuterten Wirkung der Wasserfläche.

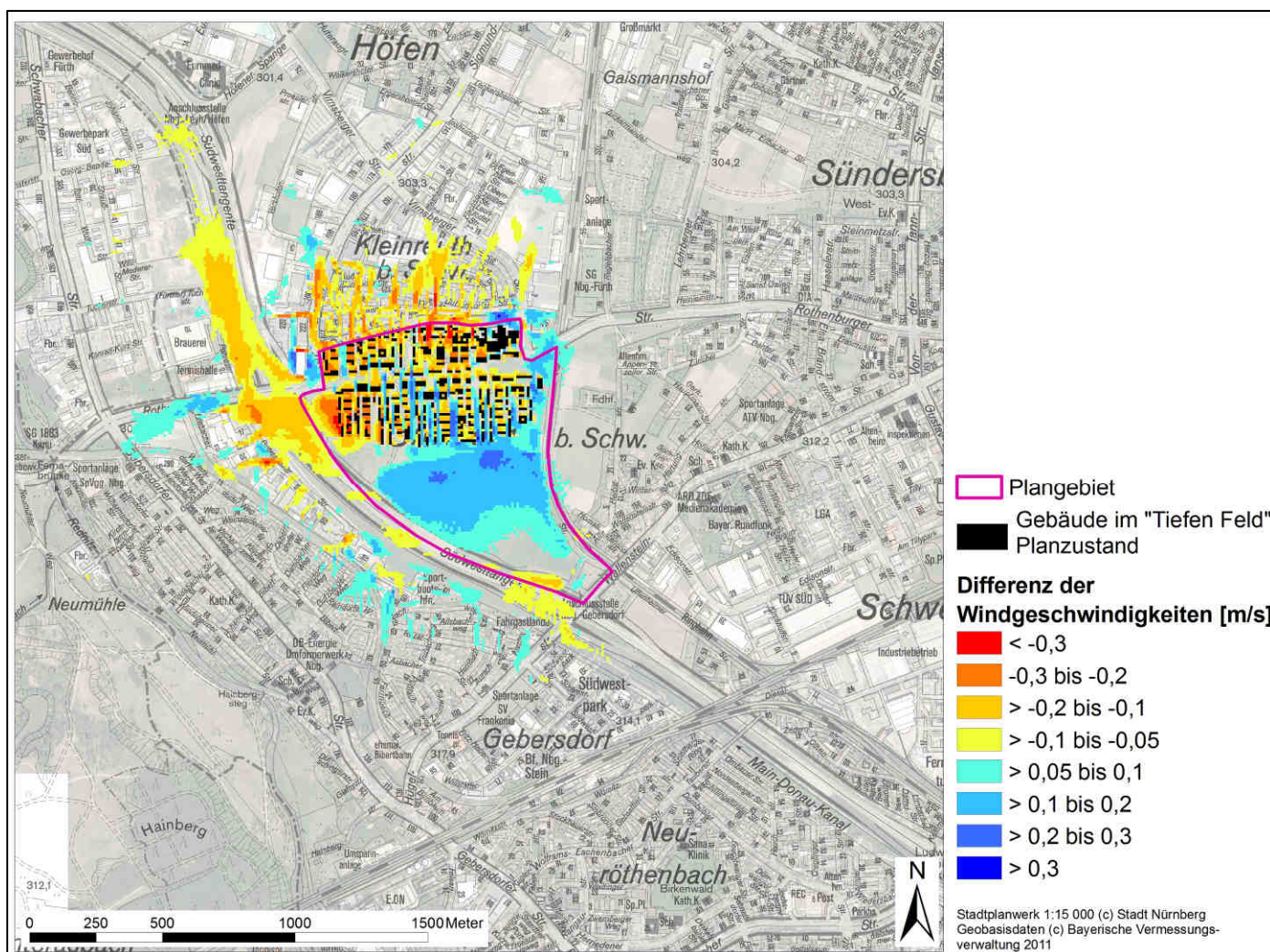


Abb. 7.10: Differenz der Strömungsgeschwindigkeit um 04 Uhr

Insgesamt sind die Veränderungen des Strömungsfelds durch die geplante Bebauung des „Tiefen Felds“ lokal begrenzt. Im weiteren Umfeld kommt es nicht zu nennenswerten Veränderungen. Auch die Kaltluftleitbahn über der Sportanlage des SG Nürnberg-Fürth und die Kleingartensiedlung Gaismannshof wird nicht beeinträchtigt, da nur eine sehr geringer Strömung vom Tiefen Feld in die östlich angrenzenden Grün- und Freiflächen stattfindet. Zudem wird deutlich, dass die Strömung aus den großen Kaltluftliefergebieten im Westen des Untersuchungsgebiets nicht bis zum Tiefen Feld vordringt, sondern nur die im Westen des Tiefen Felds vorgelagerte Bebauung durchlüften.

7.3.4 Kaltluftvolumenstrom

Der Volumenstrom ist ein Maß für den *Zustrom von Kaltluft* und bestimmt somit, neben der Strömungsgeschwindigkeit, die Größenordnung des Durchlüftungspotenzials. Die Klassifizierung des Volumenstroms orientiert sich dabei am auftretenden Wertespektrum innerhalb des Untersuchungsgebietes. Die qualitative

Bewertung dieser meteorologischen Größe, die sich im vorliegenden Fall auf die Breite einer Rasterzelle bezieht, zeigt Tab. 7.1:

Bewertung	Kaltluftvolumenstrom in m ³ /s
Sehr hoch	> 1200
Hoch	1200 bis > 700
Mittel	700 bis 300
Gering	< 300

Tab. 7.1: Qualitative Einordnung des Kaltluftvolumenstroms

Ausgehend von der statistischen Analyse des Kaltluftvolumenstroms wird als Schwellenwert für einen klimaökologisch wirksamen Kaltluftstrom ein Wert von mehr als 300 m³/s angenommen.

Istzustand

Die räumliche Ausprägung des Kaltluftvolumenstroms im Untersuchungsraum geht im Wesentlichen mit der des bodennahen Strömungsfeldes einher. Abbildung 7.11 oben zeigt den Kaltluftstrom für den Istzustand in einer qualitativen Abstufung. Analog zur Strömungsgeschwindigkeit treten die höchsten Werte im Verlauf der Rednitzniederung auf. Hier kann viel Kaltluft produziert und sofort abtransportiert werden. Auch an der Stelle des Main-Donau-Kanals, an der engstehende Industriebebauung die Strömung kanalisiert, sind sehr hohe Werte vorhanden. Hohe Werte sind ebenfalls im Bereich der Sportanlage der SG Nürnberg-Fürth und der Kleingartensiedlung Gaismannshof vorzufinden. Das Plangebiet weist in der Freifläche größtenteils einen mäßigen Kaltluftvolumenstrom auf, da hier geringere Windgeschwindigkeiten als beispielsweise im Verlauf der Rednitzniederung zu finden sind und die kalte Luft weniger schnell abtransportiert wird. Innerhalb der Bebauung Kleinreuths sind lokal auch höhere Werte zu beobachten, dies ist auf kleinräumige Düseneffekte im Bereich der Bebauung zurück zu führen. In den stärker verdichteten Siedlungsflächen liegt meist ein geringer Volumenstrom vor, während locker bebaute Wohnquartiere besser durchströmt werden. Die Eindringtiefe entspricht in etwa der des Kaltluftströmungsfeldes.

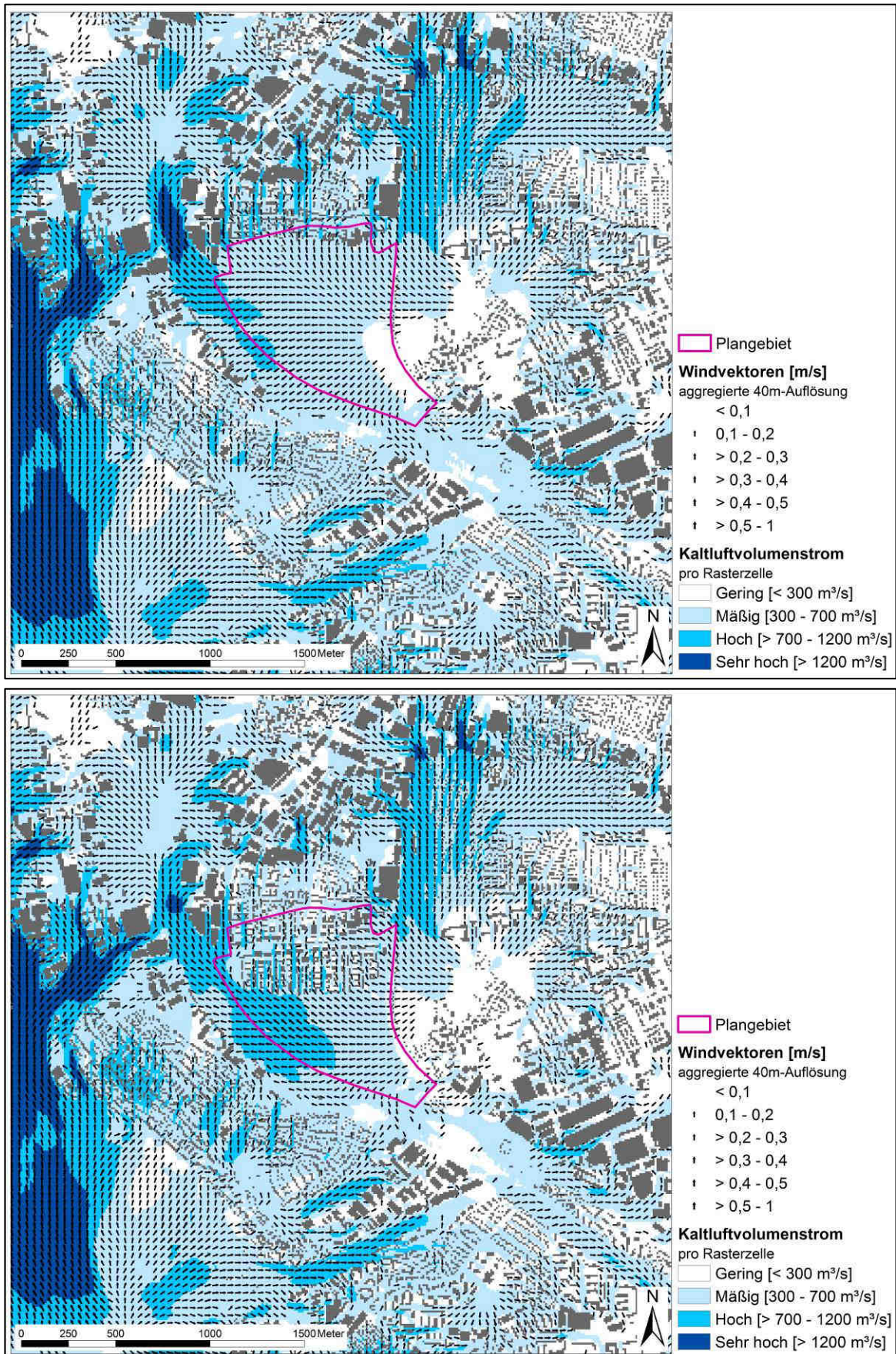


Abb. 7.11: Kaltluftvolumenstrom um 04 Uhr – Istzustand (oben) und Planzustand (unten)

Planzustand

Die Situation für den Planzustand ist in Abb. 7.11 unten dargestellt. Mit Umsetzung des Planszenarios lassen sich die für das Windfeld beschriebenen Veränderungen erkennen, die durch die zusätzlichen Baukörper als Strömungshindernisse und das geplante Gewässer sowie die Lärmschutzwälle ausgelöst werden. Im Bereich des geplanten Sees steigt das Wertenniveau in Teilbereichen um eine Stufe. Die nördlich der geplanten Bebauung liegenden Siedlungsstrukturen Kleinreuths weisen im Planfall einen geringeren Kaltluftvolumenstrom auf.

Im weiteren Umfeld des Plangebiets treten kaum Veränderungen des Volumenstroms auf. Höchste Werte sind weiterhin im Bereich der Rednitzniederung anzutreffen.

Wie Abb. 7.12 als Differenzendarstellung zeigt, tritt die stärkste Abschwächung von mehr als 400 m³/s (pro Rasterzelle) vor allem im Bereich des Main-Donau-Kanals auf (rote Farbe). Dies lässt sich auf die Wirkung der geplanten Lärmschutzbebauung am Westrand des Tiefen Felds und der damit geringeren Strömungsgeschwindigkeiten im Lee des Walls erklären. Weiterhin ist eine hohe Abnahme im Bereich der geplanten Bebauung und dem nördlich davon gelegenen Gebäudebestand zu erkennen. Gleichzeitig kommt es auf Grund der Kanalisierung in der geplanten Bebauung zu einer Erhöhung des Kaltluftvolumenstroms. Auch die Sogeffekte des geplanten Gewässers erhöhen den Volumenstrom im Plangebiet. Dies ist auf die erhöhten Windgeschwindigkeiten im Bereich der Seefläche zu erklären. Zum einen kommt es zu einem „Ansaugen“ der kalten Luft über die wärmere Seefläche, da immer eine Ausgleichbewegung von der kalten zur warmen Luft stattfindet. Zum anderen ist der geringe Rauigkeitswiderstand der Wasserfläche zudem förderlich für die höheren Windgeschwindigkeiten. Aus diesem Grund wird die südlich des Sees produzierte Kaltluft schnell abgeführt, was zu einer Erhöhung des Kaltluftvolumenstroms führt.

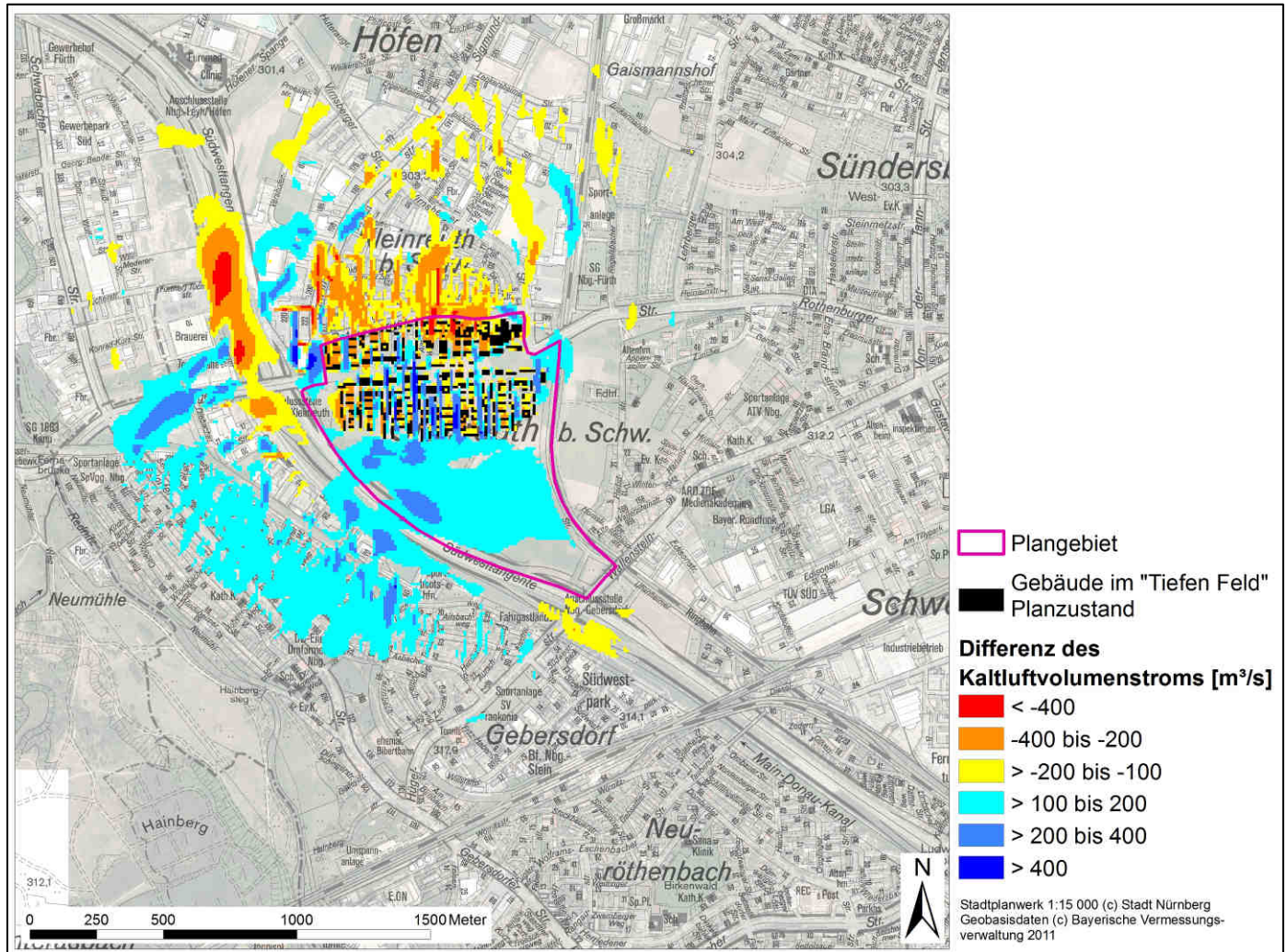


Abb. 7.12: Differenz des Kaltluftvolumenstroms um 04 Uhr

7.3.5 Bioklimatische Situation

Meteorologische Parameter wirken nicht unabhängig voneinander auf den Menschen ein. Von besonderer Bedeutung bei der Bewertung des Bioklimas ist der thermische Wirkungskomplex. Hier spielen alle Klimaparameter, die den Wärmehaushalt des Menschen direkt beeinflussen eine Rolle: Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit und thermophysologisch wirksame Strahlung. Zur Beurteilung des thermischen Wirkungskomplexes wird in dieser Untersuchung der *Bewertungsindex PMV*⁸ verwendet. Dieser Parameter basiert auf der Wärmebilanzgleichung des menschlichen Körpers und gibt den Grad der „Behaglichkeit“ als mittlere subjektive Einschätzung einer größeren Anzahl von Menschen in Wertestufen wider. Mit steigendem PMV erhöht sich die bioklimatische Belastung aufgrund der als Diskomfort empfundenen thermischen Beanspruchung des Körpers.

⁸ Predicted Mean Vote (FANGER 1972), für eine ausführliche Beschreibung siehe VDI 2008

Bei der Berechnung des PMV-Wertes müssen als wichtigste meteorologische Eingangsgrößen die Lufttemperatur, die Windgeschwindigkeit, der Dampfdruck und die Strahlungstemperatur am Aufenthaltsort bekannt sein. Diese meteorologischen Parameter variieren innerhalb städtischer Strukturen in weiten Grenzen. In Abhängigkeit von den stadtspezifischen Faktoren (z.B. Bebauungshöhe, Versiegelung, Durchgrünungsgrad) und der Charakterisierung der Wettersituation (z.B. Wind, Luftmasseneigenschaften) kann die Ausprägung des nächtlichen PMV mit Hilfe des Modells FITNAH berechnet werden.

Die bioklimatische Belastung wird in der zweiten Nachthälfte zum Zeitpunkt 4 Uhr beurteilt. Ein erholsamer Schlaf ist nur bei günstigen thermischen Bedingungen möglich, weshalb der Belastungssituation in den Nachtstunden eine besondere Bedeutung zukommt. Da die klimatischen Verhältnisse der Wohnungen in der Nacht im Wesentlichen nur durch den Luftwechsel modifiziert werden können, sind Windgeschwindigkeit und Temperatur der Außenluft die entscheidenden Faktoren bei der Bewertung der thermophysiologischen Belastung. Entsprechend spiegelt die Beurteilung des Bioklimas weniger die thermische Beanspruchung des Menschen im Freien wider, als vielmehr die positive Beeinflussbarkeit des nächtlichen Innenraumklimas.

In der VDI-Richtlinie 3785 Blatt 1 (VDI 2008) wird für die qualitative Bewertung von Klimafaktoren vorgeschlagen, das lokale oder regionale Wertenniveau einer Klimaanalyse zugrunde zu legen und die Abweichung eines Klimaparameters von den mittleren Verhältnissen im Untersuchungsraum als Bewertungsmaßstab heranzuziehen. Zur Beurteilung der bioklimatischen Situation wurde daher eine z-Transformation des PMV-Ergebnisrasters durchgeführt und die Werte in die vier in Tab. 7.2 aufgeführten qualitativen Bewertungskategorien zugeordnet. Für genauere Erläuterungen siehe Kapitel 3.3.

Als Resultat ergeben sich mit diesem Verfahren vier qualitative Einstufungen: „Weniger günstig“, „Ungünstig“, „Günstig“ und „Sehr günstig“. Daraus ergibt sich eine räumliche Untergliederung der Siedlungsflächen in bioklimatisch günstige und bioklimatisch ungünstige Bereiche.

Belastungsstufe	Mittlerer z-Wert
Sehr günstig	< -1 (untere S_1 -Schranke)
Günstig	-1 bis 0
Weniger günstig	0 bis 1
Ungünstig	> 1 (obere S_1 -Schranke)

Tab. 7.2: Klassifizierung der bioklimatischen Belastung der Siedlungsflächen während einer wind-schwachen Sommernacht

Der Vorteil dieser Vorgehensweise liegt in der Standardisierung eines Klimaparameters und der sich daraus ergebenden Vergleichbarkeit mit anderen Untersuchungen.

Istzustand

Aufgrund der starken nächtlichen Abkühlung und dem intensiven Luftaustausch sind sehr günstige Bedingungen vor allem über landwirtschaftlich genutzten Flächen und im westlichen Untersuchungsgebiet im Bereich der Rednitzniederung anzutreffen (Abb. 7.13 oben).

Eine günstige bioklimatische Situation liegt verbreitet in den übrigen gut durchlüfteten Arealen vor. Aber auch in den größeren durchgrünten Hausgärten und Blockinnenbereichen können durch ein geringeres Temperaturniveau günstige Bedingungen auftreten. Mit zunehmender Entfernung zu den Kaltluft produzierenden Flächen und steigendem Bauvolumen nimmt die Wärmebelastung zu, so dass im Bereich stärker verdichteter Siedlungsgebiete und in den Industrieflächen ungünstige Wertestufen vorliegen.

Planzustand

Im Planzustand zeigt sich eine Verschlechterung der bioklimatischen Situation im Bestand durch die geplante Bebauung (Abb. 7.13 unten und 7.14). Im Bereich der Siedlungsfläche Kleinreuth kommt es durch die Beeinflussung des Luftaustauschs zu einer Zunahme der Belastung. Obwohl eine Zunahme der Kategorie „weniger günstig“ zu verzeichnen ist, bleiben auch Bereiche mit einer günstigen bioklimatischen Situation erhalten. Dies ist auf die verhältnismäßig lockere Bebauung sowohl im Bestand, als auch in der geplanten Bebauung zurückzuführen. Der Einfluss des neuen Baugebiets ist daher als eher gering einzustufen. In den übrigen Bestandsflächen im weiteren Umfeld des Plangebiets sind hingegen keine nennenswerten Veränderungen zu beobachten.

Die bioklimatischen Bedingungen im Plangebiet bleiben im unbebauten Bereich weiterhin günstig. Auch die geplante Bebauung zeigt in ihrem südlichen Teil auf Grund der guten Durchlüftung günstige Bedingungen. Etwa ab der neuen Rothenburger Straße sind zunehmend weniger günstige bioklimatische Bedingungen zu erwarten. Dies ist auf die stärkere Verdichtung der Bebauung im geplanten Straßenverlauf und die größere Entfernung von den Kaltluft liefernden Flächen zurück zu führen.

Im Wesentlichen bleiben die durch die Bebauung des Plangebiets verursachten Veränderungen lokal begrenzt. Die bioklimatische Situation im Bestand wird nur in Kleinreuth beeinflusst. Die neu geplante Siedlung stellt sich aus bioklimatischer Sicht sehr gut dar.

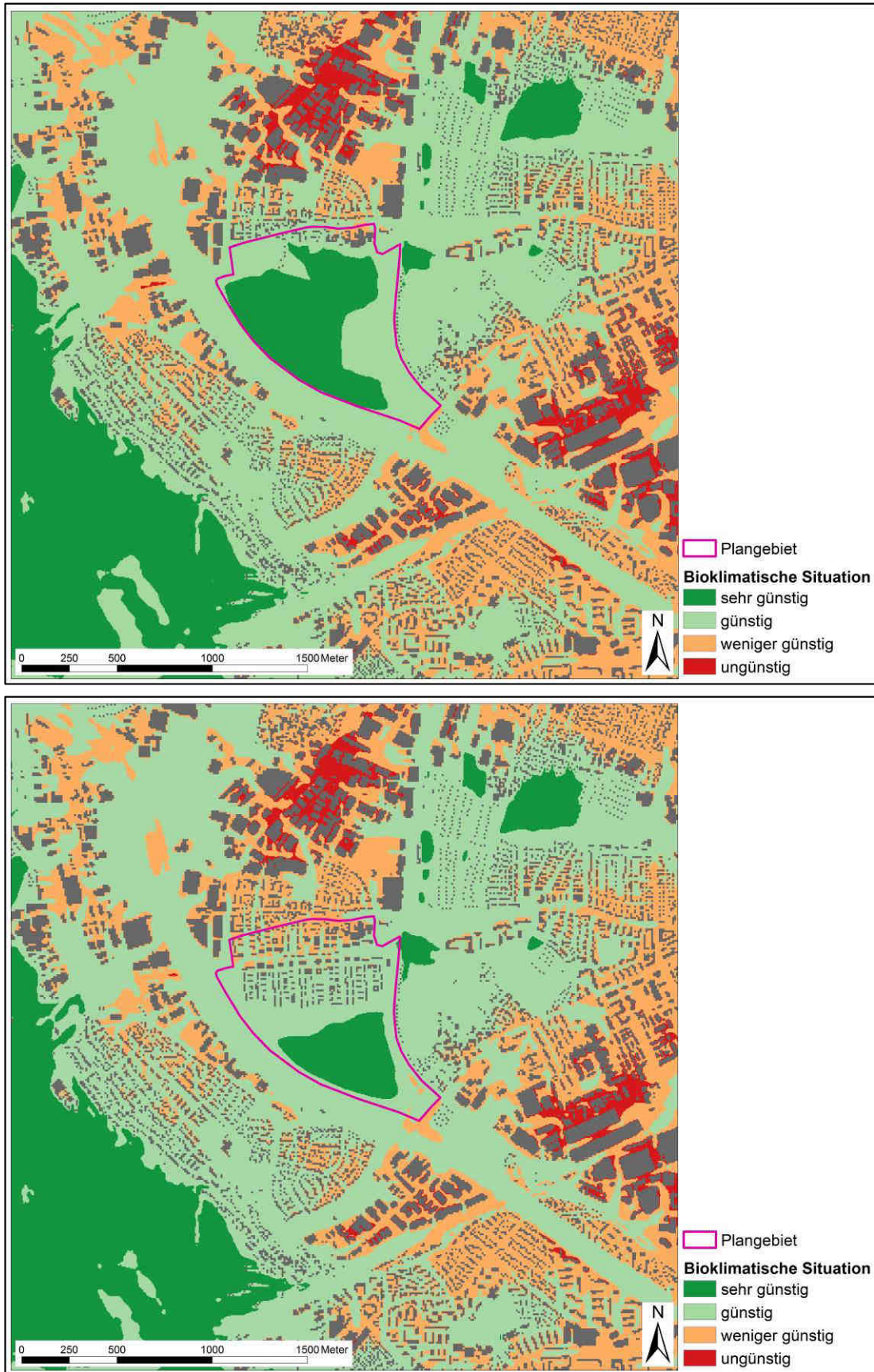


Abb. 7.13: Bioklimatische Situation um 04 Uhr – Istzustand (oben) und Planzustand (unten)

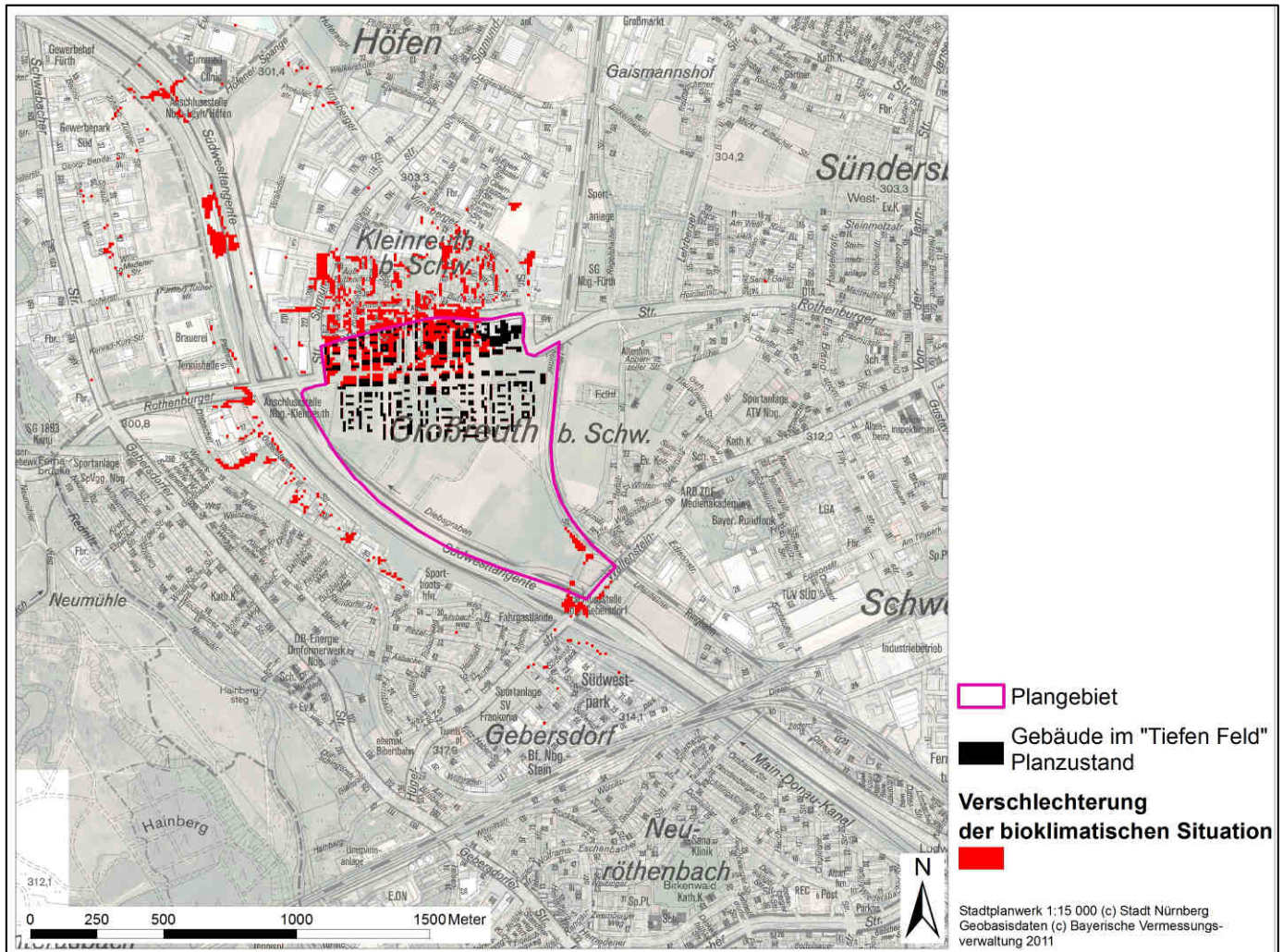


Abb. 7.14: Veränderung der bioklimatischen Situation

7.3.6 Planungsvarianten

„Gewässerfinger“

Bei der Planung des Gewässers südlich der neuen Bebauung im „Tiefen Feld“ steht neben der modellierten Variante, die eine Ableitung von Dachabwässern zwischen der Bebauung vorsieht, auch eine andere Variante zur Verfügung. Hierbei sind grachtenartige Ausläufer zwischen der Bebauung geplant (vgl. Abb. 7.15).

Im Folgenden wird diese Variante hinsichtlich ihrer klimaökologischen Auswirkungen verbal-argumentativ beurteilt. Da Wasser temperaturnivauausgleichende Eigenschaften besitzt, können die Grachten im Bereich der Bebauung dazu führen, dass der Tagesgang der Temperatur dort gedämpft wird. Das bedeutet, dass am Tage weniger hohe Temperaturen zu erwarten sind, während nachts das Absinken der Temperaturen geringer ausfallen wird. Gleichzeitig ist aufgrund der sehr geringen Rauigkeit der Wasseroberfläche ein tiefes Eindringen der im Freibereich des Tiefen Felds entstehenden Kaltluft zu erwarten. Da das über der Wasseroberfläche höhere Temperaturniveau in der Nacht abschwächend auf die Kaltluftströmung einwirkt, könnte das

Eindringen von Kaltluft im Vergleich zu der Planung mit Kiesbett theoretisch herabgesetzt sein. Da auf den Freiflächen des „Tiefen Felds“ genügend Kaltluft zur Verfügung steht, ist davon auszugehen, dass die bioklimatische Situation im Vergleich zur Planungsvariante ohne „Gewässerfinger“ nicht schlechter ausfallen wird. Aus klimaökologischer Sicht kann damit keine der beiden Varianten bevorzugt werden. In beiden Fällen sind günstige bioklimatische Bedingungen für die Anwohner zu erwarten. Aufgrund einer vergleichbaren Breite der Fugen ist die nächtliche Durchlüftungssituation für die nachfolgende Bebauung bei beiden Varianten vergleichbar. Hinsichtlich der Tagsituation weist die Planungsvariante mit Gewässerfingern allerdings ein höheres Potential für den Aufenthalt im Freien auf.

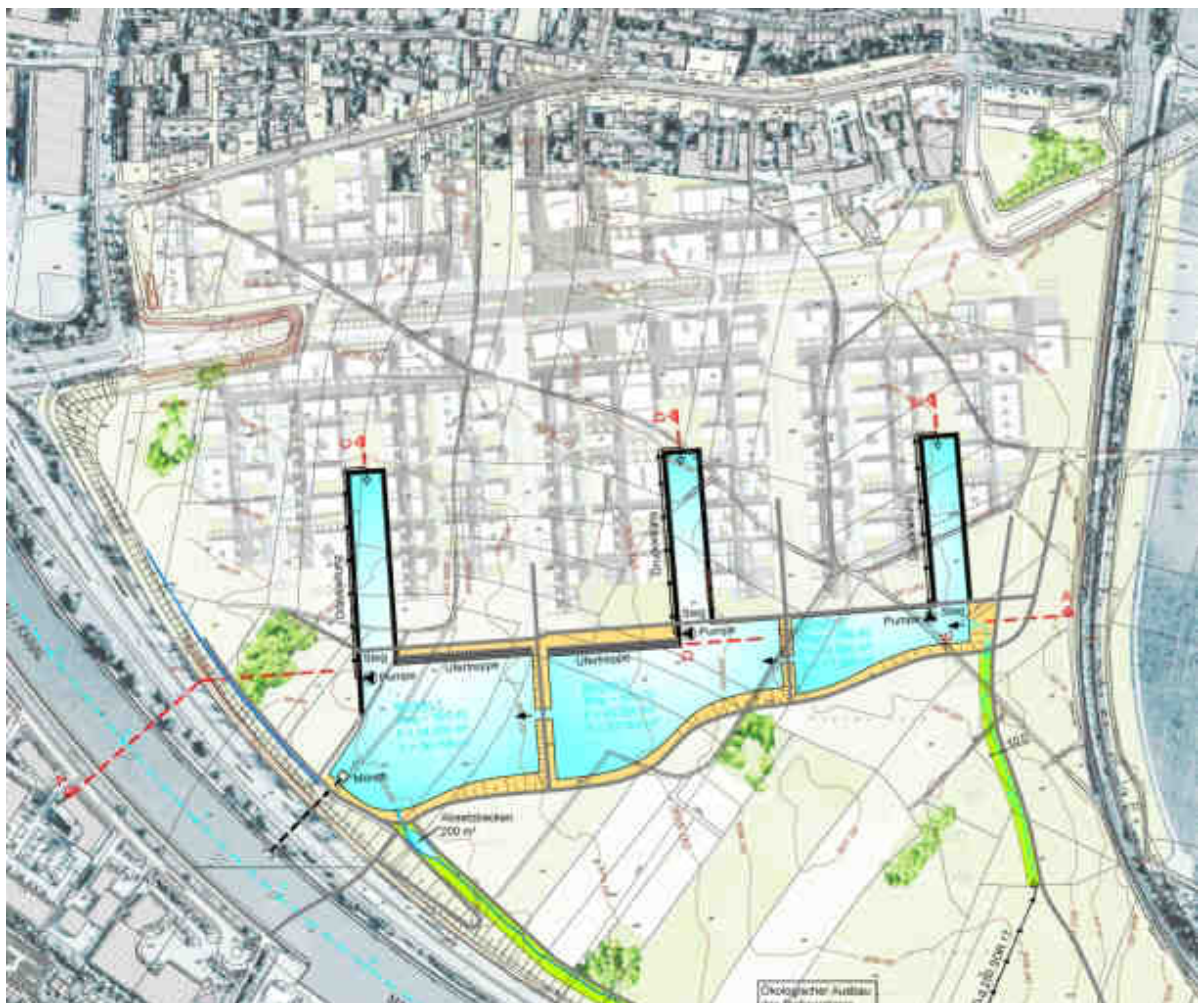


Abb. 7.15: Planungsvariante „Gewässerfinger“
 Quelle: STADT NÜRNBERG 2010

„Kein Gewässer“

Eine ebenfalls denkbare Variante bei der Umstrukturierung des „Tiefen Felds“ ist der komplette Verzicht auf eine Wasserfläche. Durch den Wegfall der Wasserfläche und einer parkähnlichen Ausgestaltung dieser Flächen mit Regenrückhaltebecken würde sich die Rauigkeit in diesem Bereich erhöhen und die Durchströmbarkeit der Fläche ändern. Diese ist allerdings immer noch als gut anzusehen, wenn die Fläche entsprechend

gestaltet ist. Gleichzeitig kann die neu gewonnene Parkfläche nun auch zur Kaltluftproduktion in den Nachtstunden beitragen, während die ausgleichende Wirkung der Wasserfläche tagsüber bei dieser Planungsvariante fehlt. Dennoch werden auch bei Ausgestaltung der Fläche als Park gute bioklimatische Verhältnisse im Plangebiet vorherrschen. Aus klimaökologischer Sicht ist eine Umsetzung des geplanten Gewässers einer Nicht-Umsetzung vorzuziehen. Die Versorgung der geplanten Bebauung mit Kaltluft ist auch bei einer Umsetzung des Sees durch die südlich gelegenen Freiflächen gegeben und tagsüber verbessert die Wasserfläche die Aufenthaltsqualität im Freien und erhöht die Mikroklimavielfalt.

7.4 Fazit

7.4.1 Allgemeine Ergebnisse

Zur Ermittlung der klimaökologischen Auswirkungen bei Umsetzung des städtebaulichen Entwurfs für das „Tiefe Feld“ wurden mit dem Klimamodell FITNAH für eine windstille Sommernacht verschiedene meteorologische Parameter zum Kaltlufthaushalt simuliert. Die klimatischen Funktionszusammenhänge lassen erkennen, dass das zu bebauende Areal aufgrund der Größe und Lage als Kaltluftliefergebiet für das angrenzende Kleinreuth wirksam ist und einen Beitrag zur Reduzierung der sommerlichen Wärmebelastung in der angrenzenden Bebauung leistet. Im Rahmen der durchgeführten Analyse lassen sich die folgenden allgemeinen Ergebnisse zusammenfassen:

Oberflächennahe Lufttemperatur

Durch Differenzkarten werden die quantitativen Veränderungen gegenüber dem Istzustand sichtbar. Bei der oberflächennahen Lufttemperatur bleiben die Zunahmen weitestgehend auf das geplante Baufeld beschränkt, die Erhöhung der Lufttemperatur in den angrenzenden Siedlungsflächen fällt nur gering aus. Die gute Durchlüftung des geplanten Baufeldes sowie die vorgesehenen durchgrünten Abstandsflächen („Grüne Finger“) verhindern das Auftreten einer zusammenhängenden, homogenen „Wärmeinsel“.

Luftaustausch

Hinsichtlich des Luftaustausches (Windgeschwindigkeit/Kaltluftvolumenstrom) lassen sich die folgenden Kernaussagen zusammenfassen: Die stärksten Abnahmen treten innerhalb der geplanten Bebauung und des im Norden angrenzenden Bestands auf, wobei durch die Hinderniswirkung von Gebäuden auf das Strömungsfeld einerseits aber auch durch dessen Kanalisierung andererseits Zu- und Abnahmen in direkter räumlicher Nähe nebeneinander auftreten. Zudem kommt es im Bereich des Main-Donau-Kanals zu einer Abnahme der Strömungsgeschwindigkeit auf Grund der Hinderniswirkung der Lärmschutzbebauung. Beide Lärmschutzwälle werden bei den angenommenen Höhen von 10 und 8m von der Kaltluft überströmt. Es findet allerdings eine leichte Ablenkung der Strömung statt. Auf Grund der zu erwartenden Höhe der Kaltluftschichtung wird davon ausgegangen, dass eine mögliche weitere Erhöhung der Lärmschutzbauten um zwei bis vier Meter ebenfalls unproblematisch ist.

Wenngleich eine Beeinflussung des lokalen Luftaustausches sichtbar wird, sind die geplanten baulichen Veränderungen nicht groß genug, um eine nennenswerte Verschlechterung der klimaökologischen Situation in der angrenzenden Wohnbebauung während windschwacher Sommernächte auszulösen, da auch im Plan-szenario ein klimatisch wirksamer Kaltluftstrom erhalten bleibt.

Die Modellrechnung zeigt, dass die Kaltluftleitbahn die im Bereich der Sportanlage der SG Nürnberg-Fürth und der Kleingartensiedlung Gaismannshof beginnt und die Kaltluft bis weit in die verdichtete Bebauung

transportiert, nicht entscheidend von der geplanten Umstrukturierung des Tiefen Felds betroffen ist. Es hat sich gezeigt, dass das „Tiefe Feld“ die Kaltluftleitbahn nur zu einem geringen Maße mitversorgt. Der größte Teil der dort entstehenden Kaltluft kommt sowohl im Ist- als auch im Planzustand der nördlich gelegenen Siedlung Kleinreuth zu Gute. Auch die südwestlich am Rande des Untersuchungsgebiets gelegenen großen Grün- und Freiflächen der Rednitzniederung spielen sowohl im Ist- als auch im Planzustand nur eine untergeordnete Rolle für die Situation im Tiefen Feld und der direkten Umgebung. Der entscheidende Luftaustausch innerhalb der vorhandenen und geplanten Bebauung findet in Wechselwirkung mit den Freiflächen des Tiefen Felds statt, wo auch die für die Siedlungsfläche wichtige Kaltluft vornehmlich entsteht.

Bioklimatische Situation

Die bioklimatische Situation während austauscharmer Sommernächte wird sich durch eine Bebauung des „Tiefen Felds“ voraussichtlich nur im Bereich Kleinreuths leicht verschlechtern. Die geplante Bebauung selbst weist eine günstige bis weniger günstige bioklimatische Situation auf. Insgesamt ist die entstehende Verschlechterung der bioklimatischen Situation als vertretbar anzusehen.

7.4.2 Planungshinweise

Um die bioklimatische Belastung in dem neuen Planungsgebiet, aber auch in der bestehenden Bebauung gering zu halten, sollten einige Hinweise eingehalten werden. Diese werden im Weiteren ausführlich dargestellt.

Baukörperstellung

Die räumliche Verteilung der Baukörper und deren Größe beeinflusst den Kalt-/Frischlufteintritt sowohl in die geplanten Baufelder als auch in den Bestand und nimmt damit Einfluss auf die siedlungsklimatische Situation. Das „Tiefe Feld“ trägt entscheidend zur Belüftung der Siedlungsflächen Kleinreuths bei. Aus diesem Grund sollten die geplanten durchgrüneten Abstandsflächen mit Nord-Süd-Ausrichtung in jedem Fall erhalten bleiben, um eine Durchlüftung der nördlich gelegenen Siedlungsgebiete zu ermöglichen. Darüber hinaus sollte die bauliche Dichte von Norden nach Süden hin abnehmen, um die Hinderniswirkung der Gebäude für nächtliche Flurwinde weiter zu reduzieren.

Verringerung der Wärmebelastung im Siedlungsraum

Mit Blick auf bioklimatisch belastende Wettersituationen im Sommer können darüber hinaus für die bauliche Umsetzung Maßnahmen zur Verminderung der Wärmebelastung am Tage ergriffen werden. Die für das geplante Quartier abzuleitenden Hinweise zielen deshalb auch darauf ab, durch zusätzliche Verschattung die Aufenthaltsqualität im Freien zu steigern und andererseits den Gebäudebestand hitzeangepasst zu gestalten.

Während am Tage die direkte, kurzwellige Strahlung der Sonne wirksam ist, geben nachts Bauwerke und versiegelte Oberflächen die tagsüber gespeicherte Energie als langwellige Wärmestrahlung wieder ab. Durch

die Verringerung des Wärmeinputs am Tage wird gleichzeitig weniger Strahlungsenergie in der Baumasse gespeichert und damit in der Nacht auch weniger Wärme an die Luft abgegeben. Neben einer hohen Grünausstattung lässt sich zudem durch die Verwendung von hellen Baumaterialien die Reflexion des Sonnenlichtes (Albedo) erhöhen, so dass ebenerdig versiegelte Flächen oder auch Fassaden stärker zurückstrahlen. Dadurch bleiben sie kühler und nehmen damit insgesamt weniger Wärmeenergie auf.

Die in der Planungsvariante „Gewässerfinger“ angedachten grachtenartigen Wasserflächen zwischen den Gebäuden können tagsüber die Aufenthaltsqualität in diesen Bereichen verbessern. Der unabhängig von der Planungsvariante ohnehin geplante See ist als positiv für die Aufenthaltsqualität in der geplanten Siedlung zu beurteilen, da durch die ausgleichende Wirkung des Wassers ein angenehmes Mikroklima geschaffen wird. Der „kühlende Effekt“ einer Wasserfläche kommt allerdings erst bei einem größeren Wasservolumen zum Tragen. Das geplante Gewässer im „Tiefen Feld“ weist eine ausreichende Größe und vor allem Tiefe auf. Auf Grund der guten Belüftung des Gebiets ist eine Belastung durch häufig auftretende Schwüle nicht zu erwarten. Nachts kann durch die Wärmeabgabe des Sees eine leichte Erhöhung der Temperatur erfolgen, dies wird durch die großen anschließenden Freiflächen aber kompensiert. Der klimatische Unterschied zwischen den beiden Planungsvarianten für das Gewässer ist gering, so dass aus bioklimatischer Sicht keine der beiden Varianten bevorzugt werden kann. Sollte die geplante Wasserfläche nicht umgesetzt werden, würden diese Flächen für die nächtliche Kaltluftproduktion zur Verfügung stehen und diese erhöhen. Da die weiteren vorhandenen Flächen ausreichend Kaltluft produzieren, kann dieses Plus nicht die Vorteile einer Wasserfläche bei der Aufenthaltsqualität tagsüber aufwiegen. Die Umsetzung eines Gewässers im „Tiefen Feld“ ist daher in der Bilanz als positiv zu bewerten.

Bedeutung von Dach- und Fassadenbegrünung

Zu den weiteren effektiven Maßnahmen, die Erwärmung der Gebäude am Tage abzuschwächen, zählen Dach- und Fassadenbegrünung. Letztere wirkt zweifach positiv auf einen Gebäudebestand ein, da einerseits durch die Schattenspende die Wärmeeinstrahlung am Tage reduziert wird und andererseits über die Verdunstungskälte des Wassers Wärme abgeführt wird. Eine Fassadenbegrünung ist insbesondere an West- und Südfassaden wirksam, da hier die stärkste Einstrahlung stattfindet. Darüber hinaus mindert eine Begrünung die Schallreflexion und damit die Lärmbelastung und kann zu einem gewissen Grad Stäube und Luftschadstoffe binden.

Bei der Dachbegrünung wirkt die Vegetation zusammen mit dem Substrat isolierend und verringert damit das Aufheizen darunter liegenden Wohnraums. Zudem senkt die Dachbegrünung die Oberflächentemperatur des Daches aufgrund der Verdunstung von Wasser ab und verringert die Temperatur in der oberflächennahen Luftschicht und hat damit einen positiven Effekt auf die bioklimatische Situation. Allerdings kommt es je nach Traufhöhe der Gebäude zu einer vertikalen Entkopplung der positiven Effekte. Nur relativ niedrige Gebäude (< 5 m) mit Dachbegrünung können zu einem im bodennahen Bereich positiven Abkühleffekt beitragen. Gründächer auf 4-5 geschossigen Gebäuden zeigen in der untersten Schicht der Stadtatmosphäre (= Aufenthaltsbereich des Menschen) keinen nennenswerten positiven Temperatureffekt. Voraussetzung für die Kühlwirkung ist allerdings immer ein ausreichendes Wasserangebot für die Vegetation. Sollte bei längeren

Hitzeperioden die Vegetation austrocknen, steigen die Temperaturen wieder auf das Niveau eines normalen Daches an und können sogar darüber hinausgehen. Der Kühlungseffekt für die Innenräume bleibt dabei aber erhalten. Im Winter isoliert ein Gründach zusätzlich und kann zur Senkung des Heizbedarfes beitragen. Ein weiterer Vorteil von Dachbegrünung ist im Retentionsvermögen von Regenwasser zu sehen, wodurch die Kanalisation vor allem bei Starkregenereignissen entlastet wird. Ziel sollte sein, etwa 50% der Dachflächen zu begrünen.

Grün- und Freiflächen

Die geplanten Grün- und Freiflächen sollten zum einen Verschattungselemente wie Bäume und Büsche, zum anderen Rasen-/Wiesenflächen, die für eine hohe nächtliche Kaltluftproduktion in den Nachtstunden sorgen, aufweisen. Die Anordnung von Büschen und Bäumen sollte daher aufgelockert verteilt erfolgen. Wichtig ist, das Eindringen der Kaltluft in die Bebauung in den Nachtstunden nicht durch Verschattungselemente zu verhindern. Ziel sollte sein etwa 70 % der Fläche als Wiese zu gestalten. Die geplante Wasserfläche als Bestandteil der Freiflächen trägt zudem zur Ausprägung verschiedener Mikroklimata bei. Drei bis fünf Mikroklimata pro Freifläche stellen eine optimale Ausgestaltung dar. Auch die geplanten Lärmschutzwälle sollten nach Möglichkeit ähnlich gestaltet werden, um auch in diesen Bereichen eine hohe Aufenthaltsqualität zu gewährleisten. Neben der Umsetzung von Grün- und Freiflächen im Plangebiet sollten auch die in der bestehenden Bebauung Kleinreuths vorhandenen Grün- und Freiflächen gegebenenfalls optimiert werden. Wo es möglich ist, können neue Grünstrukturen zusätzlich zu einem besseren Bioklima beitragen.

Tabelle 7.3 zeigt tabellarisch die Planungshinweise:

Planungshinweis	Details
Aufgelockerte Struktur von Grün- und Freiflächen	1. Freifläche mit Wiese (Anteil ca. 70%)
	2. Lockere Baum- und Strauchgruppen
	3. Große Einzelbäume
	4. Immissionschutzpflanzungen wo nötig (z.B. Hecken); Einströmen der Kaltluft nicht blockieren
	5. Wasserflächen mit ausgleichender Funktion (ausreichende Tiefe muss gegeben sein)
	> 3 – 5 Mikroklimare pro Freifläche stellen eine optimale Ausgestaltung dar
„Grüne Finger“ (Abstandsflächen)	> Grünstrukturen, die Grün- und Freifläche und Bebauung verbinden und Kaltluft in die Bebauung leiten, einplanen
	> Mindestquerschnitt 25 m
	> auch hier aufgelockerte Strukturen ausbilden
	> keine "Barrierepflanzungen" zur angrenzenden Bebauung
Dachbegrünung	> Ziel: mindestens 50% der Dachflächen begrünen
	> ausreichende Bewässerung beachten
	> Auswahl geeigneter Pflanzen
Abnahme der baulichen Dichte von Nord nach Süd	> Freiflächenanteil innerhalb der Bebauung 30 – 50%
Fassadenbegrünung	> ausreichende Bewässerung beachten
	> Auswahl geeigneter Pflanzen
	> Beste Ergebnisse an Süd- und Südwestfassaden bis 10 m Höhe
Verwendung heller Baumaterialien und Farben	> im Straßenbau
	> im Hausbau
Verschattungselemente an Gebäuden	> Jalousien
	> Sonnensegel
	> Arkaden

Tab. 7.3: Planungshinweise

8. Zusammenfassung

Die GEO-NET Umweltconsulting GmbH wurde von der Stadt Nürnberg beauftragt, eine modellgestützte Analyse zu den klimaökologischen Funktionen für das Stadtgebiet zu erarbeiten. Grundlage der Klimaanalyse bildet das Klimamodell FITNAH (Flow over Irregular Terrain with Natural and Anthropogenic Heat Sources). Ziel der Untersuchung war eine umfassende Bestandsaufnahme der klimatischen Situation im Stadtgebiet Nürnbergs und die Bewertung unterschiedlicher Nutzungen hinsichtlich ihrer klimatischen Funktionen. Aus den Ergebnissen erfolgt die Ableitung klimaökologischer Qualitätsziele und planungsrelevanter Entwicklungsziele und Maßnahmen. Zudem werden Belastungsräume mit geringer Durchlüftung identifiziert.

Die Stadt Nürnberg lässt sich klimatisch dem Mittelgebirgsraum zuordnen. Dieser Bereich ist von einem Übergangsklima geprägt, das weder ausgeprägte kontinentale noch maritime Einflüsse aufweist. Das langjährige Mittel der Lufttemperatur beträgt an der Station Nürnberg-Kraftshof 9 °C. In den letzten 80 Jahren stieg die Zahl der Sommertage in Nürnberg an, wobei im Sommer 2003 die höchste Anzahl mit 85 Sommertagen erreicht wurde. Die jährliche Niederschlagssumme beträgt im Durchschnitt etwa 630 mm. 18 Starkregenereignisse mit einem Niederschlag von ≥ 30 mm in 24 Stunden wurden in den letzten 20 Jahren an der Station Nürnberg-Kraftshof gemessen. Die mittlere Windgeschwindigkeit im Bereich Nürnberg-Flughafen beträgt durchschnittlich 3 m/s und liegt damit auf einem durchschnittlichen Niveau im deutschlandweiten Vergleich. In unseren Breiten führen sommerliche austauscharme Hochdruckwetterlagen zu den ungünstigsten bioklimatischen Situationen.

Grundlage für die Beurteilung der stadtklimatischen Situation ist die Analyse des klimatischen Ist-Zustandes im Stadtgebiet während einer austauscharmen sommerlichen Hochdrucklage, welche häufig mit einer überdurchschnittlich hohen Wärmebelastung in den Siedlungsräumen einhergeht. Aus den Grundlageninformationen über die Stadt, wie Topographie, Bebauung und Vegetation sowie Kenntnissen über atmosphärische Prozesse und lokalklimatischer Phänomene werden Aussagen über Wärmebelastung, Durchlüftung und Bioklima abgeleitet. Im Vordergrund der Betrachtung stehen der lokale nächtliche Kaltluftaustausch und die Sicherung und Verbesserung der damit in Zusammenhang stehenden relevanten städtischen Strukturen und Grün- und Freiflächen. Die Klimafunktionskarte fasst dieses als erstes Teilergebnis der Untersuchung zusammen.

Durch die Zufuhr von frischer und kühlerer Luft können Grün- und Freiflächen klima- und immissionsökologische Ausgleichsleistungen für städtische Belastungsräume erbringen. Tabelle 8.1 zeigt eine Übersicht über die in Nürnberg ausgewiesenen Kaltluftleitbahnen. In den Karten 6 und 7 im Anhang (Klimafunktionskarte und Planungshinweiskarte) sind diese räumlich verortet. Kaltluftleitbahnen sind aus klimaökologischer Sicht besonders schützenswert und müssen auch zukünftig erhalten bleiben. Der Erhalt von Leitbahnen ist ein wesentlicher Bestandteil zur Schaffung eines günstigen Stadtklimas in Nürnberg und somit eine wichtige Aufgabe der räumlichen Planung.

Nummer	Leitbahn
1	Östliches Pegnitztal mit dem Wöhrder See
2	Hauptgleisanlage
3	Kleingärten "An der Eichendorffstraße", "Klingenwald I-III" und "Kieslinghof"
4	Distrikte Grossreuth bei Schweinau, Gaismannshof und Sundersbühl
5	Westliches Pegnitztal
6	westlich des Distrikts Gartenstadt
7	Langwassersee

Tab. 8.1: Leitbahnen in Nürnberg

Ebenso wichtig für den Luftaustausch in den Siedlungsgebieten Nürnbergs sind die großen Kaltluft produzierenden Grün- und Freiflächen im Umland von Nürnberg. Diese Flächen versorgen zum einen großflächig die innerhalb der Flächen eingebetteten und angrenzenden Siedlungsgebiete mit Kaltluft und zum anderen speisen sie die Leitbahnen, die die produzierte Kaltluft in verdichtete Gebiete leiten. Innerhalb des Nürnberger Stadtgebiets sind drei große Kaltluftentstehungsgebiete vorhanden. Diese werden in Tabelle 8.2 kurz dargestellt.

Fläche	Lage	Funktion
Knoblauchsland	Im Norden von Nürnberg	Versorgung der Ortschaften des Knoblauchslands und der südlich angrenzenden Bebauung mit Kaltluft
Hangflächen zur Rednitzuniederung rund um Krottenbach	Im Südwesten von Nürnberg	Versorgung u.a. von Mühlhof, Reichelsdorf, Eibach und Röthenbach mit Kaltluft
Eibacher Forst und östlich angrenzende Waldgebiete	Im Südosten von Nürnberg	Versorgung u.a. von Falkenheim, Langwasser, Moorenbrunn und Altenfurt mit Kaltluft

Tab. 8.2: Große Kaltluftliefergebiete in Nürnberg

Im Rahmen der Klimaanalyse sind bioklimatisch belastete Siedlungsräume einerseits sowie entlastende, Kaltluft produzierende Flächen andererseits ausgewiesen worden. Eine qualitative Bewertung der Klimaparameter erfolgt in Anlehnung an die VDI Richtlinie 3785 Blatt 1 anhand der Abweichungen der Einzelwerte von den mittleren Verhältnissen im Untersuchungsgebiet. Eine Flächenbilanzierung der ermittelten bioklimatischen Belastungsklassen der Siedlungsflächen in Nürnberg ergibt:

- 16 % der Siedlungsfläche sind als bioklimatisch ungünstig einzuordnen,
- 29 % sind weniger günstig,
- 36 % weisen günstige bioklimatische Bedingungen auf,
- 18 % des Siedlungsraumes können als sehr günstig eingestuft werden.

Die ländlicheren Stadtteile Nürnbergs (z.B. Almoshof oder Herpersdorf) weisen insgesamt eine unproblematische Lage auf. Sie können beispielsweise von den großen Grün- und Freiflächen des Knoblauchslands im Norden und den südlich und östlich gelegenen Waldflächen profitieren. Auch die Rednitzniederung spielt eine Rolle bei der Entlastung der angrenzenden Siedlungsbereiche (vgl. Tab. 8.1 und Tab. 8.2). Allein aus stadt-

klimatischer Sicht wäre in den weniger verdichteten Außenbereichen der Stadt Nürnberg eine angepasste Nachverdichtung (siehe Tabellen 6.1 und 6.2) denkbar.

Auf Grund der Struktur der Stadt Nürnberg erweist sich der stark verdichtete Stadtkern (z.B.: St. Lorenz, Steinbühl oder Galgenhof) mit seinem geringen Grün- und Freiflächenanteil aus klimaökologischer Sicht als problematisch. Durch die kompakte Stadtstruktur kann die Innenstadt Nürnbergs wenig von den Ausgleichsgebieten des Umlands profitieren. Größere Mengen Kaltluft können lediglich über die ausgewiesenen Leitbahnen in diese Bereiche vordringen. Eine weitere Innenverdichtung der Stadt Nürnberg trägt zwar zur Auslastung der sozialen und technischen Infrastruktur bei (Schulen, Kindergärten, ÖPNV) und vermindert weitere Versiegelungen, die Zunahme von Verkehrsflächen und Flächeninanspruchnahme im Außenbereich. Nachverdichtungs- und Innenentwicklungsprojekte tragen jedoch auf der anderen Seite auch zu weiteren Erwärmungen des Siedlungsgebietes bei, die sich durch die regionalen Auswirkungen des Klimawandels in den nächsten Dekaden noch verstärken wird. Damit Nachverdichtungen nicht zu klimatisch negativen Effekten führen ist es notwendig, die Wechselwirkungen zwischen der baulichen Dichte, den Grünanteilen und Versiegelungsgraden zu betrachten, damit planerische Entscheidungen diese Belange mit in die Abwägung einbeziehen können. Gerade in den stark verdichteten Bereichen Nürnbergs ist es besonders wichtig die vorhandenen Grün- und Freiflächen zu erhalten und wenn möglich aufzuwerten oder den Grünanteil sogar auszubauen. Zur Verbesserung der bioklimatischen Situation in den bereits verdichteten Stadtkerngebieten sollten bei zukünftigen Planungen kleinräumige Maßnahmen, wie z.B., Schaffung/Erhalt von grünen Innenhöfen, Dach-/Fassadenbegrünung (s. Tabelle 6.4) umgesetzt werden.

Um besonders kritische Siedlungsgebiete in Nürnberg zu identifizieren, wurde eine Verschneidung zwischen Stadtgebieten, die klimatisch belastet sind und zudem noch eine hohe Bevölkerungsdichte aufweisen durchgeführt. In einem zweiten Schritt wurde zusätzlich die besonders klimatisch belasteten Gebiete mit einer hohen Bevölkerungsdichte und einem hohen Anteil besonders sensibler Bevölkerungsgruppen (alte Menschen über 65 und junge Menschen unter 3 Jahren) selektiert. Insgesamt sind 61 Distrikte/Straßenzüge in Nürnberg betroffen. 37 Distrikte/Straßenzüge mit einer Gesamtfläche von 5,57 km² und insgesamt 83 888 Einwohnern weisen eine hohe Einwohnerdichte auf. Dies sind beispielsweise St. Lorenz (Jakobsplatz), Sündersbühl (Kollwitzstraße) und Guntherstraße (Isoldenstraße). 24 Distrikte/Straßenzüge mit insgesamt 101 808 Einwohnern und einer Gesamtfläche von 5,28 km² haben sowohl eine hohe Einwohnerdichte als auch einen hohen Anteil besonders sensibler Bevölkerungsgruppen. Hier können als Beispiele Wöhrd (Rennweg), Galgenhof (Lichtenhof) und Uhlandstraße (Cranachstraße) genannt werden. Betroffen sind vor allem die Distrikte/Straßenzüge im und um das stark verdichtete Zentrum Nürnbergs. Insgesamt handelt es sich um eine Fläche von 10,85 km² und 185 696 Einwohnern. Das Ergebnis ist in der Klimafunktionskarte (Karte 6), Tabelle 5.2 und Tabelle 5.3 dargestellt.

Die Planungshinweiskarte Stadtklima stellt eine integrierende Bewertung der in der Klimafunktionskarte dargestellten Sachverhalte im Hinblick auf planungsrelevante Fragestellungen dar. Aus ihr lassen sich Schutz- und Entwicklungsmaßnahmen zur stadtklimatischen Situation ableiten oder auch Auswirkungen von Nutzungsänderungen bewerten (siehe auch Tabellen 6.1 und 6.2):

Basierend auf den Empfindlichkeiten von Siedlungsbereichen einerseits und Kaltluft produzierenden Grün- und Freiflächen andererseits lassen sich planungsbezogene Aussagen treffen. Den Grün- und Siedlungsflächen werden daher Hinweise zugeordnet, die im Falle einer geplanten Nutzungsänderung berücksichtigt werden sollten. Aufgrund ihrer wichtigen lokalklimatischen Funktionen sowie der Rolle im Stadtökosystem insgesamt sollte die Überbauung von Grün- und Freiflächen vor allem in Nürnbergs stark verdichtetem Kern grundsätzlich vermieden werden. Sind dennoch konkrete Eingriffe vorgesehen, können auf Basis der Planungshinweise entsprechende zu berücksichtigende Maßnahmen aus der jeweiligen Empfindlichkeit im Plangebiet abgeleitet werden; gleiches gilt für die Siedlungsflächen.

Mit Hilfe von Karte 8 (Klimaökologische Bewertung der Bauflächenpotentiale) kann eine erste Einschätzung der geplanten Bauflächen in der Stadt Nürnberg erfolgen. Innerhalb der Siedlungsbereiche sind es die stark verdichteten Gebiete (z.B. die Altstadt, Galgenhof oder St. Johannis), bei denen eine weitere Verdichtung das größte Konfliktpotential mit sich bringt. Bei einer Bebauung von heutigen Grün- und Freiflächen sind vor allem jene mit Bezug zu belasteten Siedlungsräumen besonders kritisch zu betrachten. Beispielhaft können hier die Potentialflächen auf Grün- und Freiflächen in Gibitzenhof oder im Bereich des „Tiefen Felds“ genannt werden. Auf Grund des Überblick-Charakters dieser Kartendarstellung ist insbesondere für die genannten problematischen Potentialflächen eine eingehendere Prüfung der geplanten Bebauung und gegebenenfalls eine klimaökologische Anpassung der Planung anzuraten.

Im Anhang 2 dieses Gutachtens ist ein Maßnahmen-Katalog für die Stadt Nürnberg angeführt, der die gesamtstädtisch wichtigsten Maßnahmen zur Erhaltung und Verbesserung des Stadtklimas zusammenfasst. Er kann als Richtlinie und Hinweis dienen, wie bei Planungsvorhaben aus klimaökologischer Sicht zu handeln ist.

Mit der durchgeführten Analyse der klimaökologischen Funktionen stehen flächendeckend aktuelle Informationen zu dem Schutzgut Klima für das Stadtgebiet der Stadt Nürnberg zur Verfügung. Damit wird eine fundierte stadtklimatische Ersteinschätzung von Planungsvorhaben ermöglicht, die anschließend auch in Detailplanungen von Flächennutzungsänderungen einfließen kann. Um die Aktualität und Richtigkeit der Aussagen der Klimaanalyse zu gewährleisten, kann je nach Intensität der Bautätigkeit eine Fortschreibung des Gutachtens nach 5 bis 10 Jahren sinnvoll sein. Kleinräumige Gutachten bei Bauvorhaben in kritischer Lage (vgl.: Karte 8) sind nach Bedarf durchzuführen.

Das Modell WETTREG 2012 (Szenario A1B, Klimastation Nürnberg-Flugwetterwarte) prognostiziert ein Ansteigen der Jahresdurchschnittstemperatur von ca. 3,5°C bis zum Jahr 2100. Auch Extremparameter wie Hitzetage werden ansteigen. Im Hinblick auf den zu erwartenden Klimawandel ist von einer Erhöhung der Temperaturen und einer gleichzeitigen Zunahme der bioklimatischen Belastung während der Sommermonate in den Stadträumen auszugehen. Davon sind vor allem die Siedlungsgebiete mit einer weniger günstigen und ungünstigen bioklimatischen Ausgangssituation betroffen. Zudem bestehen wenige Rückzugsmöglichkeiten für die Bewohner beispielsweise in Form von Parks oder begrünten Innenhöfen. Das grundsätzliche Wirkungsgefüge zwischen Ausgleichs- und Wirkungsflächen in der Stadt Nürnberg wird, wenn auch auf einem höheren Temperaturniveau, wie bisher erhalten bleiben.

Die vertiefte Untersuchung des Planungsgebiets „Tiefes Feld“ ermöglichte es für einen B-Plan-Bereich detailliert die heutige Ist- und die zukünftigen Plan-Situation abzubilden. Mit diesem Hilfsmittel konnte eine genaue Beurteilung der Situation am Beginn der Kaltluftleitbahn vorgenommen werden. Bei Umsetzung der aufgeführten Planungshinweise sind nur eine geringe Beeinträchtigung der bereits vorhandenen Bebauung sowie eine gute bioklimatische Situation im Plangebiet zu erwarten. Im Anhang 3 ist eine Zusammenfassung der Planungshinweise für das Plangebiet „Tiefes Feld“ angefügt.

Literatur

- ARBEITSGEMEINSCHAFT .SPF, SCHÖNLE.PIEHLER.FINKENBERGER (2011): Rahmenplanung Nürnberg Tiefes Feld. Stuttgart. 39 S.
- DDV (2011): Dachbegrünung für Kommunen, Nutzen – Fördermöglichkeiten – Praxisbeispiele. Deutscher Dachgärtner Verband e. V. / Hafencity Universität Hamburg / Deutsche Gartenamtsleiterkonferenz GALK e.V. Eigenverlag, Nürtingen.
- DWD – Deutscher Wetterdienst (2012): Projekt ExWoSt Nürnberg – Endbericht über Meteorologische Messungen 2010 und 2011, München.
- DWD – Deutscher Wetterdienst (2012): Klimadaten- online, www.dwd.de.
- EUROPEAN COMMISSION (1994): EUR 12585 - CORINE Landcover project - Technical guide. Office for official publications of the European Communities. Luxembourg.
- FANGER, P.O. (1972): Thermal comfort. Analysis and application in environment engineering. – New York, 244 S.
- GROSS, G. (1989): Numerical simulation of the nocturnal flow systems in the Freiburg area for different topographies. Beitr. Phys. Atmosph. , H 62 , S. 57-72.
- GROSS, G. (1993): Numerical Simulation of canopy flows. Springer Verlag Heidelberg.
- GROSS, G. (2002): The exploration of boundary layer phenomena using a nonhydrostatic mesoscale model. Meteor. Zeitschr. Vol. 11 Nr. 5., S. 701-710.
- KIESE, O. (1988): Die Bedeutung verschiedenartiger Freiflächen für die Kaltluftproduktion und die Frischluftversorgung von Städten. Landschaft + Stadt 20, H. 2: 67-71.
- MOSIMANN, Th., P. TRUTE & Th. FREY (1999): Schutzgut Klima/Luft in der Landschaftsplanung. Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen, Heft 4/99, S. 202-275.
- SCHERER, D. (2007): Viele kleine Parks verbessern Stadtklima. Mit Stadtplanung Klima optimieren. In: TASPO Report. Die Grüne Stadt. Oktober 2007.
- STADT NÜRNBERG (2010): Stadtentwicklung Nürnberg am Wasser „koopstadt“, Vision Wasser „Tiefes Feld“, Erläuterungsbericht zur Machbarkeitsstudie. 37 S.
- UBA (2010): HBEFA Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs. Version 3.1/Februar 2010. INFRAS AG, Bern Schweiz, Hrsg.: UBA (Umweltbundesamt), Berlin.
- VDI-Richtlinie 3785 Blatt 1 (2008), Methodik und Ergebnisdarstellung von Untersuchungen zum planungsrelevanten Stadtklima, Beuth Verlag, Berlin.
- VDI-Richtlinie 3787 Blatt 1 (2003), Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen, Beuth Verlag, Berlin.
- WAGENFELD, H. (1985): Stadtgrünplätze, Bauverlag. Wiesbaden

Glossar

Ausgleichsraum: Kaltluft produzierende, unbebaute und vegetationsgeprägte Fläche die an einen Wirkungsraum angrenzt oder mit diesem über eine Leitbahn verbunden ist.

Autochthone Wetterlage: Eigenbürtige Wetterlage: Durch lokale und regionale Einflussfaktoren bestimmte Wetterlage. Solche Wettersituationen entstehen bei Hochdruckwetterlagen und sind durch einen ausgeprägten Tagesgang der Strahlung, Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Wind und Bewölkung geprägt. Durch lokale Temperaturunterschiede entstehen Ausgleichsströmungen.

Autochthones Windfeld: Kaltluftabflüsse und Flurwinde, welche sich als eigenbürtige, landschaftsgesteuerte Luftaustauschprozesse während einer windschwachen sommerlichen → Strahlungswetterlage ausbilden.

Bioklima: Beschreibt die Einflüsse von Wetter und Klima (atmosphärische Umgebungsbedingungen) auf lebende Organismen und insbesondere den Menschen.

Eigenbürtige Wetterlage: s. autochthone Wetterlage

Flurwind: Thermisch bedingte schwache Ausgleichsströmung, die durch horizontale Temperatur- und Druckunterschiede zwischen vegetationsgeprägten Grün- und Freiflächen im Umland und (dicht) bebauten Gebieten entsteht. Er strömt vor allem in den Abend- und Nachtstunden in das Zentrum der Überwärmung (meist Innenstadt oder Ortsteilzentrum) ein.

Geostrophischer Wind: Höhenwind

Gunsträume: Klimatisch günstige Siedlungsräume: häufig locker bebaute und durchgrünte Siedlungen mit einem geringen Versiegelungsgrad, hohem Vegetationsanteil und relativ hoher nächtlicher Abkühlungsrate. Diese Areale sind zu einem gewissen Maße selbst Kaltluftproduzenten und unterstützen die Kaltluftströmung benachbarter Grün- und Freiflächen. Diese Gebiete führen weder zu einer intensiven bioklimatischen Belastung noch zu Beeinträchtigungen des Luftaustausches. Für die Bewertung des Bioklimas werden diese Räume in Anlehnung an die VDI Richtlinie 3785 den Klassen „nicht belastet (sehr günstig)“ oder „gering belastet (günstig)“ zugewiesen (s. auch Kapitel 7.1 Abschnitt Siedlungsräume).

humanbiometeorologische Belastung: Belastung der Gesundheit und des Wohlbefindens des Menschen durch meteorologische Einflüsse.

Kaltluftabfluss: An wenig rauen Hängen und Tälern mit genügendem Gefälle (theoretisch ab etwa 0,5°) setzt sich die Kaltluft aufgrund der Schwerkraft, dem Gefälle folgend, in Bewegung. Er setzt bereits vor Sonnenuntergang ein und kann die ganze Nacht andauern.

K, Kelvin: Abkürzung für die Einheit Kelvin, in der üblicherweise Temperaturdifferenzen angegeben werden. Ein Kelvin entspricht einer Temperaturdifferenz von 1 °C.

Kaltlufteinzugsgebiet: Zusammenfassung aller Kaltluft produzierenden Flächen, die einem Kaltluftabfluss oder Flurwind zugeordnet werden können.

Klimafunktionen: Prozesse und Wirkungen in der Landschaft, die das örtliche Klima mitbestimmen und Belastungen von Organismen durch besondere Klimabedingungen erhöhen oder abbauen.

Klimaökologie: Analysiert den Einfluss von Klimaelementen und des Klimas auf das Landschaftsökosystem und seinen Haushalt. Untersucht wird weiterhin die Steuerung der bedeutsamen, bodennahen atmosphärischen Prozesse durch die allgemeinen landschaftlichen Strukturgrößen (Relief, Überbauung...).

Komfortinsel: Vielfältig strukturierte Vegetationsflächen in Wirkungsräumen mit günstigen klimatischen und lufthygienischen Bedingungen (z.B. kleine Parkanlage), s. auch Komfortraum.

Komfortraum: Bewachsene Grün- oder Freifläche, z.T. vielfältig strukturiert, mit günstigen bioklimatischen und lufthygienischen Bedingungen, in Nachbarschaft zum Wirkungsraum.

Leitbahnen: Mehr oder weniger linear ausgerichtete Grün- und Freiflächen mit geringer Rauigkeit, die den lokalen bodennahen Luftaustausch (vor allem die Zufuhr von Kaltluft) fördern. Die Eigenschaften einer Leitbahn bestimmen letztlich, in welchem Umfang Ausgleichsleistungen von einem Ausgleichs- zum Wirkungsraum erbracht werden können.

Lufthygienische Belastung: Belastung der Luft durch Schadstoffe.

Orographie: Die Orographie beschreibt die Höhenstrukturen der natürlichen Erdoberfläche. Über die Orographie wird der Einfluss des Geländes auf das lokale Wettergeschehen berücksichtigt.

PMV-Wert: Grundlage für die Beurteilung der bioklimatischen Belastung in Siedlungsflächen. Er basiert auf der Wärmebilanzgleichung des menschlichen Körpers und gibt den Grad der Unbehaglichkeit bzw. Behaglichkeit als mittlere subjektive Beurteilung einer größeren Anzahl von Menschen wieder.

Strahlungsnacht: Wolkenlose windschwache Nacht mit ungehinderter Ausstrahlung, s. auch Strahlungswetterlage.

Strahlungswetterlage: Wetterlage mit geringen großräumigen Windströmungen und ungehinderten Ein- und Austrahlungsbedingungen. Für diese Wetterlagen sind eine geringe Bewölkung sowie eine mittlere Windgeschwindigkeit von weniger als 1,5 m/s typisch, die meteorologische Situation in Bodennähe wird dann vornehmlich durch den Wärme- und Strahlungshaushalt geprägt.

Thermobutton: Kleine Knopfzelle, die Temperaturen misst. Sie kann an vielerlei Standorten platziert werden und ermittelt so „gefühlte“ Temperaturen zum Beispiel in der Nähe strahlender Hauswände.

Ungunsträume: Klimatisch belastete Siedlungsräume, die einen Durchlüftungsmangel und eine für die Region überdurchschnittliche Wärmebelastung aufweisen. Hierbei werden Siedlungsräume mit den Bewertungskategorien „mäßig belastet (weniger günstig)“ sowie „belastet (ungünstig)“ unterschieden. Unter Berücksichtigung des Belastungsniveaus ergibt sich für diese Räume eine hohe bzw. sehr hohe Empfindlichkeit gegenüber einer Nutzungsintensivierung.

Ventilationsbahn: Leitbahn, die während austauschstärkerer Wetterbedingungen zur Be- und Entlüftung des Wirkungsraumes beiträgt.

Wärmebelastung: Durch Behinderung der Wärmeabgabe des Körpers hervorgerufenen Unbehaglichkeitsempfinden. Wärmebelastung tritt hauptsächlich bei sommerlichen, strahlungsreichen Hochdruckwetterlagen mit hoher Temperatur, hoher Feuchte und geringer Luftbewegung auf (Schwüle).

Wärmeinsel: Städtischer Lebensraum, der gegenüber der Umgebung vor allem abends und nachts eine höhere Lufttemperatur aufweist. Es bilden sich i.d.R. mehrkernige Wärmeinseln in einer Stadt aus. Die Jahresmitteltemperaturen sind in diesen Räumen um 0,5 bis 1,5 Kelvin gegenüber dem Umland erhöht.

WETTREG 2010: „Wetterlagen basierte Regionalisierungsmethode“: Statistisches Klimamodell, das eine Berechnung regionaler Entwicklungen aus globalen Klimamodellen ermöglicht. Für die Modellierungen in Deutschland liegt das globale Klimamodell des IPCC „ECHAM5/MPI-OM“ zu Grunde. WETTREG projiziert die zukünftige Entwicklung des Klimas für bestimmte Klimastationen. Die Modellierungen stehen für 282 Klima- und 1695 Niederschlagsstationen zur Verfügung.

Wirkungsraum: Siedlungsraum, der bioklimatisch und/oder lufthygienisch belastet ist und an einen oder mehrere Ausgleichsräume angrenzt oder über Leitbahnen an solche angebunden ist. Die Zufuhr von Kaltluft aus einem Ausgleichsraum kann zu einer Verminderung der Belastung beitragen.

Zyklonale Wetterlage: Durch Tiefdruckgebiete geprägte Wetterlagen, die häufig mit Wind und Niederschlägen einhergehen.

