



Dr. Dütemeyer
Umweltmeteorologie

Kruppstraße 82-100 / ETEC
45145 Essen

Tel.: (0201) 72 66 72 0

E-Mail: info@dr-duetemeyer.de

Internet: www.dr-duetemeyer.de

Umweltmeteorologisches Gutachten

Klimatologisches Fachgutachten Recklinghausen Nord

Auftraggeber (AG):

Stadt Recklinghausen
Fachbereich 61 Planen, Umwelt, Bauen
Westring 51
45659 Recklinghausen

AG-Auftragsnummer:

V210 20
vom 26.10.2020

Durchführung:

Dipl.-Geogr. Dr. rer. nat. D. Dütemeyer
Dr. Dütemeyer Umweltmeteorologie
Kruppstr. 82 – 100 / ETEC
45145 Essen

Fassung:

2c

Digitale Fassung ohne Unterschrift

Essen, 13.08.2021

Ort und Datum

gez. Dirk Dütemeyer

Dr. Dirk Dütemeyer

Unterschrift Projektleiter

Redaktionelle und rechtliche Hinweise zu diesem Bericht mit dem Titel:

Klimatologisches Fachgutachten Recklinghausen Nord

von Dr. Dütemeyer Umweltmeteorologie, Essen, 2021

A) Versionshinweise

In der vorliegenden Version 2c wurden gegenüber der Vorgängerversion 2b weitere Hinweise zur Starkregenbehandlung ergänzt.

B) Sprachregelung

Die Berichtssprache ist deutsch und folgt den aktuellen amtlichen Sprachregelungen des *Rates für deutsche Rechtschreibung* (RdR) von 26. März 2021. Eine sog. „gendergerechte“ Sprache wird daher nicht verwendet.

C) Urheberrechtshinweise und Haftungsausschluss zur Weiterverwendung des Inhaltes dieses Berichtes

- **Nutzungs- und Veröffentlichungsrechte**

Alle Nutzungs- und Veröffentlichungsrechte dieses Berichtes liegen vollständig und ausschließlich bei dem auf dem Titelblatt genannten Auftraggeber.

Bei der Weitergabe von *Auszügen* dieses Berichtes sind diese mit einem kleinen lesbaren Randvermerk zum Autor und zum Erscheinungsjahr zu versehen, hier z. B. „(Quelle: Dütemeyer 2021)“ oder „Quelle: Dütemeyer (2021)“.

- **Prävention vor Abmahnungen durch Dritte**

In diesem Bericht werden Informationen aus externen Quellen verwendet. Die urheberrechtlich zulässige Verwendung dieser Informationen wurde geprüft und ergab folgende **wichtige Nutzungshinweise**:

Einige der aus den externen Quellen stammenden Informationen sind laut den jeweiligen Urhebern kostenfrei verwendbar, wenn die Informationen mit einer eindeutigen **Herkunftskennzeichnung** deutlich versehen sind.

Einige der aus externen Quellen stammenden Informationen sind laut den jeweiligen Urhebern nur für den projektbezogenen, internen Gebrauch bestimmt und dürfen nicht weitergegeben werden.

In diesem Bericht sind daher an den betreffenden Stellen, insbesondere an Abbildungen und Tabellen, die erforderlichen Herkunftskennzeichnungen oder Verwendungshinweise gemäß der von den Urhebern geforderten Zitierweisen direkt und eindeutig in kursiver Schrift vermerkt.

Im Falle der Weiterverwendung der Inhalte dieses Berichtes, insbesondere bei der – auch auszugsweisen – Offenlegung oder Weitergabe, sind unbedingt die Herkunftskennzeichnungen der jeweiligen Informationen zu übernehmen bzw. die Hinweise zu deren Weiterverwendung zu beachten.

- **Haftungsausschluss**

Der Autor haftet **nicht** für **Abmahnungen** wegen fehlender Herkunftskennzeichnungen, fehlender Urheberverweise oder unzulässigen Informationsweitergaben bei der Weiterverwendung des Inhaltes dieses Berichtes. Im Streitfall wird der Autor dieses Berichtes durch Vorlage des Originalberichtes seine erbrachte Zitierpflicht nachweisen.



Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Tabellen.....	III
Verzeichnis der Abbildungen.....	III
Verzeichnis der Tabellen im Anhang.....	V
Verzeichnis der Abbildungen im Anhang	V
Zusammenfassung.....	1
1 Einleitung und Zielsetzung.....	2
2 Untersuchungsraum und klimatische Ausgangslage.....	2
3 Plangebiet W2 – Griegstraße.....	10
3.1 Ausgangslage	10
3.2 Windfeld	12
3.3 Thermische Behaglichkeit am Tage	16
3.4 Nächtliche Lufttemperaturverhältnisse und thermische Behaglichkeit	22
3.5 Empfehlungen für die weitere Planung	31
4 Plangebiet W3 – Josef-Wulff-Straße	32
4.1 Ausgangslage	32
4.2 Windfeld.....	34
4.3 Thermische Behaglichkeit am Tage	36
4.4 Nächtliche Lufttemperaturverhältnisse und thermische Behaglichkeit	39
4.5 Empfehlungen für die weitere Planung	43
5 Plangebiet GH – Sonderstandort Gesundheitswirtschaft Landwehr	46
5.1 Ausgangslage	46
5.2 Klimatische Analyse.....	46
5.3 Empfehlungen für die Planung	49
6 G19 – Gewerbepotenzialfläche Ludwig-Erhard-Allee	52
6.1 Ausgangslage	52
6.2 Klimatische Analyse.....	52
6.3 Empfehlungen für die weitere Planung	55
7 Plangebiet NV + SP – Nachverdichtungsgebiete Cäcilienhöhe/ Beisinger Weg (NV) und Sportplatz Cäcilienhöhe (SP).....	56
7.1 Ausgangslage	56
7.2 Klimatische Analyse.....	57
7.3 Empfehlungen für die weitere Planung	60
8 Ergebnissynthese	61
9 Allgemeine Empfehlungen zu Anpassungsmaßnahmen.....	64
9.1 Übersicht.....	64
9.2 Hitzeprävention bei Gebäuden	67
9.3 Hitzeprävention im Außenbereich.....	69
9.4 Wassermanagement.....	72
9.5 Luftreinhaltung	72

9.6	Flächenhafte Effektmaximierung	72
10	Arbeitsmaterialien und Literatur	74
10.1	Arbeitsmaterialien	74
10.2	Literatur	75
Anhang		77
A1	Grundlagen des numerischen mikroskaligen Klimasimulationsmodells ENVI-met	77
A2	Witterungsszenario für die Simulationen	78
A3	Physiologische Äquivalenttemperatur PET zur thermischen Behaglichkeit	80
A4	Ergänzende Angaben zur Simulation des Plangebietes W2	82
A5	Ergänzende Angaben zur Simulation der Plangebiete W3a+b.....	85
A6	Empirische Berechnungen zu Kaltluftprozessen	87

Verzeichnis der Tabellen

Tab. 1:	Abschätzung von Kaltlufteigenschaften nach DEFANT und BRIGGS im Konzeptgebiet Recklinghausen Nord.....	9
Tab. 2:	Modelleigenschaften des Plangebietes W2 im Klimamodell ENVI-met.....	12
Tab. 3:	Modelleigenschaften des Plangebietes W3 im Klimamodell ENVI-met.....	32
Tab. 4:	Übersicht über städtebauliche Handlungsmaßnahmen zur klimatischen und klimawandelgerechten Optimierung von Bauvorhaben (aus MUNLV 2010, verändert).....	65
Tab. 5:	Eigenschaften von Dachbegrünungen.....	68
Tab. 6:	Reflexionsgrad (Albedo) für kurzwellige Strahlung von typischen Baumaterialien, und natürlichen Oberflächen (Durchschnittswerte) (aus HUPFER & KUTTLER 2006, nach HELBIG 1987, ergänzt).....	69
Tab. 7:	Rangliste klimawandelangepasster Baumarten (eigene Sortierung).....	71
Tab. 8:	Synergieeffekte und Konfliktpotenziale von Anpassungsmaßnahmen (Beispiele).....	73

Verzeichnis der Abbildungen

Abb. 1:	Relief im Untersuchungsraum des Konzeptgebietes Recklinghausen Nord mit Plangebieten.....	3
Abb. 2:	Luftbild zum Konzeptgebiet Recklinghausen Nord mit Plangebieten.....	4
Abb. 3:	Auszug aus der Handlungskarte Klimaanpassung Recklinghausen 2017.....	5
Abb. 4:	Auszug aus der Klimafunktionskarte der Klimaanalyse Recklinghausen 2011.....	6
Abb. 5:	Auszug aus der Planungshinweiskarte der Klimaanalyse Recklinghausen 2011.....	7
Abb. 6:	Kaltluftproduktionsflächen und –fließstrecken im Konzeptgebiet Recklinghausen Nord.....	8
Abb. 7:	Plangebiet W2: Simulationsgebiet für den Ist-Zustand.....	10
Abb. 8:	Plangebiet W2: Simulationsgebiete für den ersten (links) und klimaoptimierten (rechts) Planentwurf.....	11
Abb. 9:	Plangebiet W2: Windfeld in 2 m ü. Gr. eines heißen Tages für den Ist-Zustand.....	13
Abb. 10:	Plangebiet W2: Windfeld in 2 m ü. Gr. eines heißen Tages für den ersten (links) und klimaoptimierten (rechts) Plan-Zustand.....	14
Abb. 11:	Plangebiet W2: Differenzen der Windgeschwindigkeit in 2 m ü. Gr. eines heißen Tages für den ersten (links) und klimaoptimierten (rechts) Plan-Zustand im Vergleich zum Ist-Zustand.....	15
Abb. 12:	Plangebiet W2: Thermische Behaglichkeit in 2 m ü. Gr. um 15 Uhr eines heißen Tages für den Ist-Zustand.....	17
Abb. 13:	Plangebiet W2: Thermische Behaglichkeit in 2 m ü. Gr. um 15 Uhr eines heißen Tages für den ersten (links) und klimaoptimierten (rechts) Plan-Zustand.....	18
Abb. 14:	Plangebiet W2: Differenzen der thermischen Behaglichkeit in 2 m ü. Gr. für 15 Uhr eines heißen Tages für den ersten (links) und klimaoptimierten (rechts) Plan-Zustand im Vergleich zum Ist-Zustand.....	19
Abb. 15:	Plangebiet W2: Klimatische Wirkung der Teiche in 2 m ü. Gr. für 5 Uhr eines heißen Tages für den ersten und klimaoptimierten Plan-Zustand.....	21
Abb. 16:	Plangebiet W2: Lufttemperatur in 2 m ü. Gr. um 5 Uhr in der Folgenacht eines heißen Tages für den Ist-Zustand.....	23

Abb. 17:	Plangebiet W2: Lufttemperatur in 2 m ü. Gr. um 5 Uhr in der Folgenacht eines heißen Tages für den ersten (links) und klimaoptimierten (rechts) Plan-Zustand	24
Abb. 18:	Plangebiet W2: Differenzen der Lufttemperatur in 2 m ü. Gr. für 5 Uhr in der Folgenacht eines heißen Tages für den ersten (links) und klimaoptimierten (rechts) Plan-Zustand im Vergleich zum Ist-Zustand.	25
Abb. 19:	Plangebiet W2: Thermische Behaglichkeit in 2 m ü. Gr. um 23 Uhr eines heißen Tages für den Ist-Zustand.	27
Abb. 20:	Plangebiet W2: Thermische Behaglichkeit in 2 m ü. Gr. um 23 Uhr eines heißen Tages für den ersten (links) und klimaoptimierten (rechts) Plan-Zustand	28
Abb. 21:	Plangebiet W2: Differenzen der thermischen Behaglichkeit in 2 m ü. Gr. für 23 Uhr eines heißen Tages für den ersten (links) und klimaoptimierten (rechts) Plan-Zustand im Vergleich zum Ist-Zustand.	29
Abb. 22:	Plangebiet W2: Auszug der Starkregengefahrenkarte.	30
Abb. 23:	Plangebiet W3: Simulationsgebiete für den Ist-Zustand (oben) und den Plan-Zustand (unten) (schematisch)	33
Abb. 24:	Plangebiet W3: Windfeld in 2 m ü. Gr. eines heißen Tages für den Ist-Zustand.	34
Abb. 25:	Plangebiet W3: Windfeld in 2 m ü. Gr. eines heißen Tages für den Plan-Zustand.	35
Abb. 26:	Plangebiet W3: Differenzen der Windgeschwindigkeit in 2 m ü. Gr. eines heißen Tages für den Plan-Zustand im Vergleich zum Ist-Zustand.	35
Abb. 27:	Plangebiet W3: Thermische Behaglichkeit in 2 m ü. Gr. um 15 Uhr eines heißen Tages für den Ist-Zustand.	36
Abb. 28:	Plangebiet W3: Thermische Behaglichkeit in 2 m ü. Gr. um 15 Uhr eines heißen Tages für den Plan-Zustand.	38
Abb. 29:	Plangebiet W3: Differenzen der thermischen Behaglichkeit in 2 m ü. Gr. um 15 Uhr eines heißen Tages für den Plan-Zustand im Vergleich zum Ist-Zustand.	38
Abb. 30:	Plangebiet W3: Lufttemperatur in 2 m ü. Gr. um 5 Uhr eines heißen Tages für den Ist-Zustand.	39
Abb. 31:	Plangebiet W3: Lufttemperatur in 2 m ü. Gr. um 5 Uhr eines heißen Tages für den Plan-Zustand.	40
Abb. 32:	Plangebiet W3: Differenzen der Lufttemperatur in 2 m ü. Gr. um 5 Uhr eines heißen Tages für den Plan-Zustand im Vergleich zum Ist-Zustand.	40
Abb. 33:	Plangebiet W3: Thermische Behaglichkeit in 2 m ü. Gr. um 23 Uhr eines heißen Tages für den Ist-Zustand.	41
Abb. 34:	Plangebiet W3: Thermische Behaglichkeit in 2 m ü. Gr. um 23 Uhr eines heißen Tages für den Plan-Zustand.	42
Abb. 35:	Plangebiet W3: Differenzen der thermischen Behaglichkeit in 2 m ü. Gr. um 23 Uhr eines heißen Tages für den Plan-Zustand im Vergleich zum Ist-Zustand.	42
Abb. 36:	Plangebiet W3: Auszug der Starkregengefahrenkarte.	43
Abb. 37:	Plangebiet W3: Empfehlung zur Lageorientierung von Gebäuden und Bäumen (schematisch).	44
Abb. 38:	Plangebiet GH: Mittlere Windverhältnisse in 10 m. ü. Gr. im Konzeptgebiet.	47
Abb. 39:	Plangebiet GH: Windverhältnisse in 4 m ü. Gr. im Plangebiet GH während allochthoner und autochthoner Witterung.	47
Abb. 40:	Plangebiet GH: Landnutzung (o.l.), Relief und Kaltluftflüsse (o.r.) sowie Starkregensituation (u.l.).	48
Abb. 41:	Plangebiet GH: Empfehlungen zur Lageorientierung von Gebäuden und Bäumen (schematisch).	49

Abb. 42:	Plangebiet G19: Klimatope und Relief.	53
Abb. 43:	Plangebiet G19: Auszug der Starkregengefahrenkarte.	54
Abb. 44:	Plangebiete NV + SP: Bestehende Gebäude- und Vegetationsstruktur (oben) und potenzielle Nachverdichtung (unten).	56
Abb. 45:	Plangebiet NV (Ausschnitt): Windfeld eines heißen Tages.	58
Abb. 46:	Plangebiet NV (Ausschnitt): Thermische Behaglichkeit eines heißen Tages.	58
Abb. 47:	Plangebiete NV + SP: Auszug der Starkregengefahrenkarte.	59
Abb. 48:	Beispiele für Klima optimierende grünplanerisch-architektonische Maßnahmen (schematische Skizze, nicht lage- und maßstabstreu).	66

Verzeichnis der Tabellen im Anhang

Tab. A 1:	Initialisierungsparameter für das Simulationsmodell ENVI-met.	79
Tab. A 2:	Skala PET-Werte für thermisches Empfinden und zugehörige Behaglichkeitsstufen nach VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 (VDI 2008) und MAYER (2006).	81

Verzeichnis der Abbildungen im Anhang

Abb. A 1:	Typischer mittlerer Tagesgang der Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit für einen heißen Tag mit Tropennacht.	80
Abb. A 2:	Plangebiet W2: Digitale Modelle der Böden und Oberflächen (links) sowie der Gebäude und Vegetation (rechts) für das Klimamodell für den Ist-Zustand.	82
Abb. A 3:	Plangebiet W2: Digitale Modelle der Böden und Oberflächen (links) sowie der Gebäude und Vegetation (rechts) für das Klimamodell für den ersten Planentwurf.	83
Abb. A 4:	Plangebiet W2: Digitale Modelle der Böden und Oberflächen (links) sowie der Gebäude und Vegetation (rechts) für das Klimamodell für den klimaoptimierten Planentwurf.	84
Abb. A 5:	Plangebiet W3: Digitale Modelle der Böden und Oberflächen (oben) sowie der Gebäude und Vegetation (unten) für das Klimamodell für den Ist-Zustand.	85
Abb. A 6:	Plangebiet W3: Digitale Modelle der Böden und Oberflächen (oben) sowie der Gebäude und Vegetation (unten) für das Klimamodell für den Ist-Zustand.	86

Zusammenfassung

Die Stadt Recklinghausen plant ein städtebauliches Gesamtkonzept für das nördliche Stadtgebiet. Für fünf im Konzeptgebiet liegende Planflächen wurden die klimatischen Auswirkungen einer potenziellen Bebauung hinsichtlich Ventilation und Bioklima sowie fallweise Luftreinhaltung und Starkregen untersucht, bewertet und mit Planhinweisen versehen.

Die Untersuchung ergab, dass die in der Klimaanalyse Recklinghausen und im Klimaanpassungskonzept Recklinghausen dargelegten Ventilationsfunktionsflächen des nördlichen Stadtgebietes aufgrund der starken Nutzungskammerung des Konzeptgebietes nur bei advehierten regionalen Kaltlufttransporten gebietsübergreifend wirken, nicht jedoch bei lokalen Kaltluft- und Ventilationsprozessen, deren Wirkung auf die engste Nachbarschaft begrenzt ist.

Die **Relevanz** der *lokalen* Kaltluft zur Belüftung der Bebauung ist daher nur für die an die lokalen Kaltluftproduktionsflächen direkt angrenzenden Bebauungen gegeben. Unter Einfluss regionaler Kaltluftzuströme ist die Relevanz *lokaler* Kaltluftprozesse gering, weil die stetig von außen zugeführte Kaltluft die lokale Kaltluft ersetzen kann und die Kaltluftversorgung lokal gewährleistet.

Klimatische Auswirkungen der jeweiligen **Planvorhaben** auf die jeweilige weitere Umgebung bis einschließlich Innenstadtbereich wurden nicht festgestellt. Negative Auswirkungen auf die jeweilige unmittelbare Nachbarschaft sind ebenfalls nicht zu erwarten.

Auch innerhalb der jeweiligen Planentwürfe sind keine negativen klimatischen Auswirkungen zu erwarten, wenn bei der späteren Planung folgende Aspekte berücksichtigt werden: zeilenweise Gebäudeanordnung parallel zur Windrichtung, ausreichende Gebäudeabstände und konsequenter Schutz der Gebäude gegen Aufheizung. Durch weitere Detailmaßnahmen kann das lokale Klima der geplanten Bebauungen weiter optimiert werden.

Bei allen hier untersuchten Planvorhaben ist eine maßvolle Bebauung aus klimatisch-lufthygienischer Sicht unkritisch, wenn die jeweiligen Maßnahmenempfehlungen befolgt werden.

1 Einleitung und Zielsetzung

Hinweis: Eine kurze Einführung in die Thematik geben die Infokästen „Einführung in die Klimatologie.“ (S. 88) und „Entstehung und Relevanz von Kaltluft in der planungsrelevanten Klimatologie.“ (S. 89) im Anhang.

Im Rahmen der umweltgerechten Gestaltung von Bauvorhaben gilt es im kommunalen räumlichen Planungsbereich u. a., die Schutzgüter „Klima“ und „Luft“ besonders zu berücksichtigen (BauGB (2020) §1 Abs. 6. Nr. 7, UVPG (2020) §16 & Anl. 4 Nr. 4 b & c, BImSchG 2020).

Bei größeren Umwidmungen der Flächennutzung können die geplanten Bauvorhaben das Klima im lokalen Umfeld (Mikroklima) deutlich modifizieren (KUTTLER 2004a,b). Dieses betrifft sowohl die thermischen und hygrischen Verhältnisse als auch die Austauschverhältnisse. Als potenzielle ungünstige Folgen sind die Erhöhung der sommerlichen Wärmebelastung sowie modifizierte Strömungsverhältnisse (allgemeine Durchlüftungsreduktion, fallweise auch gegenteilige Düseneffekte) zu nennen, die es so weit wie möglich zu reduzieren gilt. Im Rahmen von B-Planverfahren sind daher die klimatischen Auswirkungen von Bauvorhaben zu untersuchen und zu bewerten (BauGB 2020, UVPG 2020, BImSchG 2020). Dabei ist seit der BauGB-Novelle 2011 bei Bauvorhaben auch dem Nachhaltigkeitsprinzip in verstärktem Maße Rechnung zu tragen, in dem Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel schon heute zu ergreifen sind (BauGB (2020) §1a Abs. 5).

Die Stadt Recklinghausen plant ein städtebauliches Gesamtkonzept für das nördliche Stadtgebiet, das sich von der Innenstadt über den bebauten Bereich bis zum Stadtrand und das angrenzende Freiland erstreckt. Für die fünf im Konzeptgebiet liegenden potenziellen Baugebiete bzw. Plangebiete

- | | | |
|-------------|--------------------------------------|---|
| • W2 | Freilandfläche | <i>Griegstraße</i> |
| • W3a + W3b | Freilandflächen | <i>Josef-Wulff-Straße</i> |
| • GH | Sonderstandort Gesundheitswirtschaft | <i>Landwehr</i> |
| • G19 | Gewerbepotenzialfläche | <i>Ludwig-Erhard-Allee</i> |
| • NV + SP | Nachverdichtungsgebiete | <i>Cäcilienhöhe/Beisinger Weg (NV)
und
Sportplatz Cäcilienhöhe (SP)</i> |

sollen die möglichen Auswirkungen einer Bebauung auf das klimatische Wirkungsgefüge dargelegt und anschließend bezüglich der Bebaubarkeit unter Einbeziehung von Planungsempfehlungen bewertet werden.

Der Schwerpunkt dieser Untersuchung liegt auf Kaltlufttransporten, sommerlicher Wärmebelastung sowie fallweise Extremniederschlägen und Luftreinhaltung.

Auftragsgemäß werden die Plangebiete W2 und W3a+b mittels Klimamodellen quantitativ-analytisch untersucht, während die übrigen Plangebiete anhand bereits vorhandener Fachunterlagen argumentativ-qualitativ untersucht werden.

2 Untersuchungsraum und klimatische Ausgangslage

Das die fünf Plangebiete umfassende Untersuchungsgebiet des Gesamtkonzepts „Recklinghausen Nord“ hat eine Größe von ca. 422 ha. Es wird im Osten durch die Westerwaldstraße, die Buddestraße und den Oerweg, im Westen durch den Kurfürstenwall, die Dorstener Straße und die Autobahn A43 sowie im Norden durch den Verlauf der L511 begrenzt.

Das Gebiet liegt in einem deutlichen Relief mit einem Höhenunterschied von 44 Metern zwischen dem tiefsten Punkt in der Innenstadt nahe dem Hauptbahnhof (68 m NHN) und dem höchsten Punkt entlang des Westabschnitts der Landstraße L511 (112 m NHN) (**Abb. 1**).

Der Höhenzug entlang der Landstraße L511 ist maßgeblich für potenzielle Kaltluftprozesse: die Freilandareale nördlich der Landstraße fallen nach Nordwesten ab, sodass dortige Kaltluftflüsse in gleicher Richtung fließen und damit dem Zustrom in den Recklinghäuser Siedlungsbereich entzogen sind. Lediglich die südlich der Landstraße auf geeigneten Flächen produzierte Kaltluft hat das Potenzial, dem Gefälle folgend nach Südwesten in Richtung Bebauung zu fließen.

Das Vordringen der Kaltluft in die Bebauung ist maßgeblich von der räumlichen Verteilung der Strömungsriegel Bebauung, Wälder und Baumreihen sowie Aufschüttungen (Dämme) abhängig. Diesbezüglich sind die Flächennutzungsstrukturen sehr heterogen (**Abb. 2**, S. 4). Sie reichen von der dicht bebauten Innenstadt über den bebauten Bereich bis zum Stadtrand und das angrenzende Freiland.

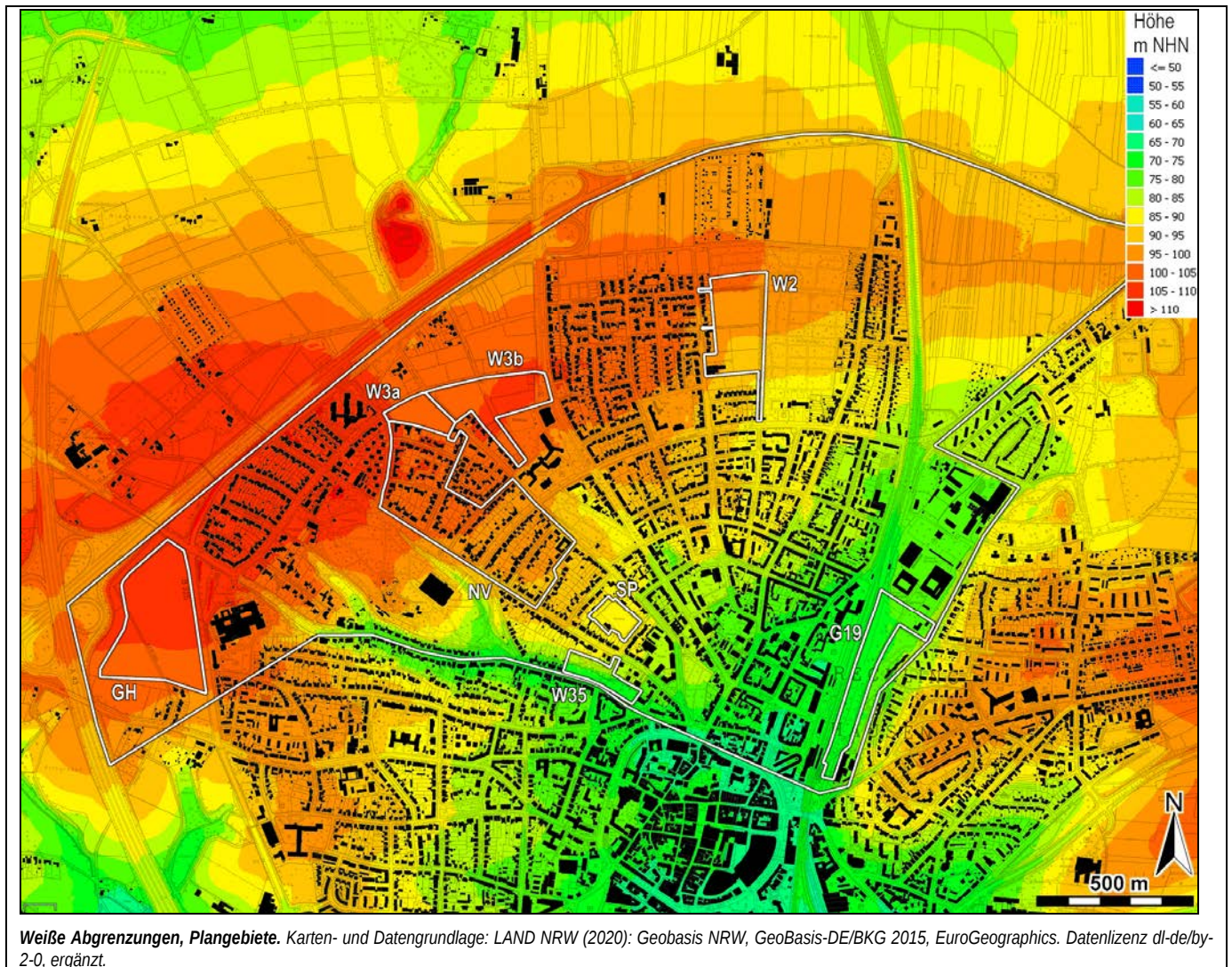


Abb. 1: Relief im Untersuchungsraum des Konzeptgebietes Recklinghausen Nord mit Plan- gebieten.



Gelbe Abgrenzungen, Plangebiete. Sommersituation 2015. Luftbildquelle: Stadt Recklinghausen, 2020, ergänzt.

Abb. 2: Luftbild zum Konzeptgebiet Recklinghausen Nord mit Plangebieten.

Das klimatische Wirkungsgefüge des Konzeptgebietes wurde im *Klimaanpassungskonzept für Recklinghausen* (KPLAN 2017) ausführlich beschrieben (**Abb. 3**) und beruhte seinerseits auf der *Klimaanalyse Stadt Recklinghausen* (RVR 2011) (**Abb. 4** und **Abb. 5**, S. 7).

Das Untersuchungsgebiet ist außerhalb des Siedlungsbereichs größtenteils als Freiland- oder Parkklima gekennzeichnet. Es bildet einen regional bedeutsamen Ausgleichsraum nördlich der Wärmeinsel der Recklinghäuser Innenstadt. Richtung Innenstadt nimmt der Versiegelungsgrad zu und die Bebauungsstruktur wird dichter. Insgesamt erfolgt von der Innenstadt in Richtung Stadtrand der typische Verlauf von Klimatopen vom Stadtklima über Stadtrandklima und Vorstadtklima bis in das unbebaute Park- und Freilandklima. Die Handlungskarte des Klimaanpassungskonzeptes der Stadt Recklinghausen (KPLAN 2017) stellt im Untersuchungsgebiet drei Frischluftschneisen und ein Kaltluftentstehungsgebiet dar (**Abb. 3**). Sie weist außerdem mehrere großflächige schützenswerte Grünflächen aus.

Die räumliche Ausdehnung der Ventilationsschneisen ist dabei in weiten Teilen nicht plausibel, sofern es den *bodennahen* Luftaustausch betrifft. In den deklarierten Schneisen liegen die dicht bewaldeten Areale Stadtgarten und Lohtorfriedhof (westliche Schneise), Alter Friedhof Beisinger Weg (mittlere Schneise) und Nordfriedhof (nördliche Schneise), jeweils umgeben von Bebauung. Da die Baumbestände i. d. R. Wuchshöhen zwischen 10 m und 20 m aufweisen und ausgeprägte Strömungsriegel darstellen (VDI 2003), dürfte dort in Bodennähe

nur eine rudimentäre Ventilation stattfinden. Eine effektive Ventilation einschließlich Kaltlufttransport wäre nur oberhalb der Kronendächer möglich.

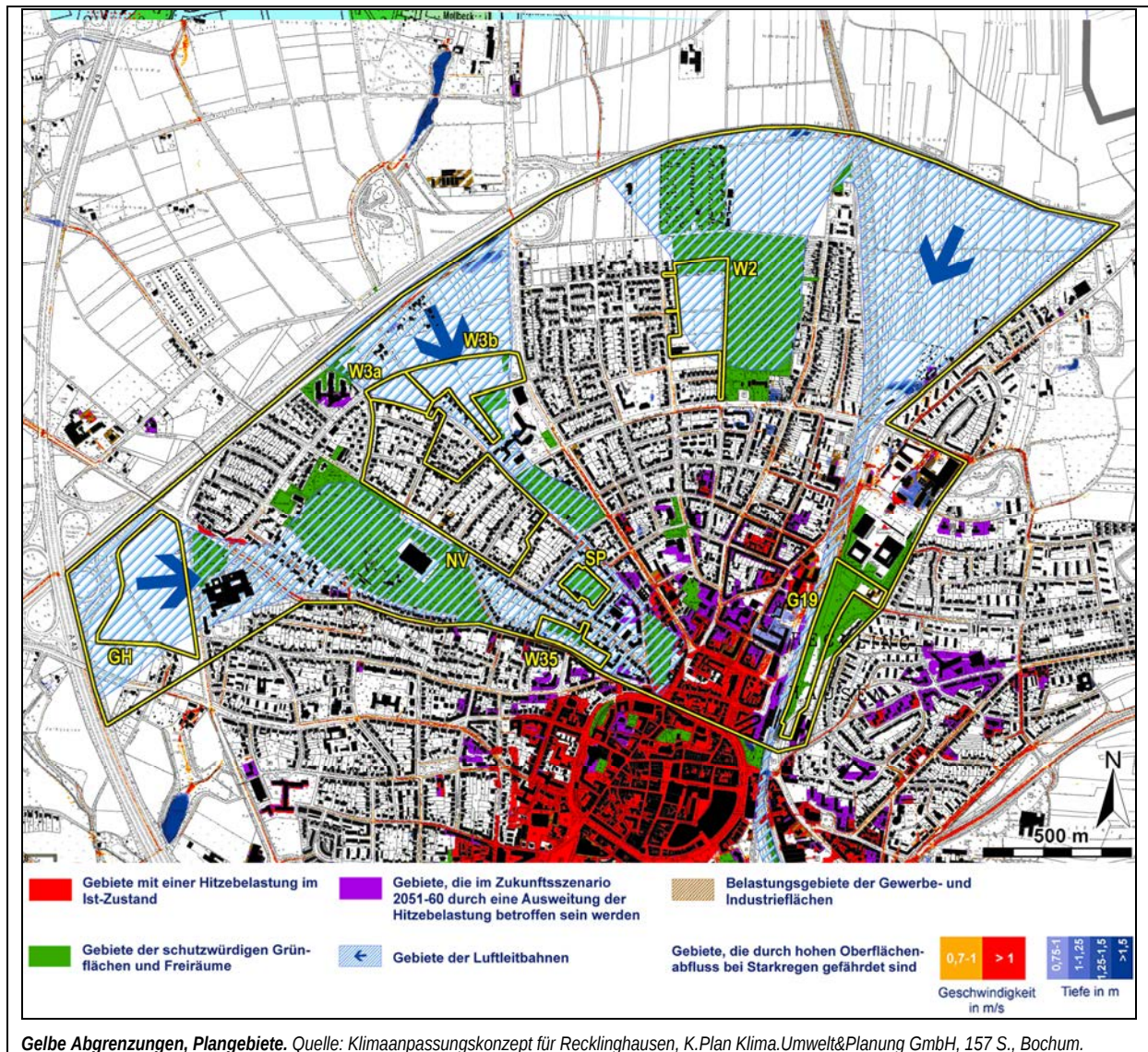


Abb. 3: Auszug aus der Handlungskarte Klimaanpassung Recklinghausen 2017.

Dieser Sachverhalt hat Konsequenzen für eine mögliche, an die Baumareale angrenzende, Bebauung: Da in den Baumarealen im Bodenniveau nur ein reduzierter Kaltlufttransport möglich ist, wäre die luv- oder leeseitige Ansiedlung von Bebauung ohne Auswirkungen auf die bodennahe Durchlüftung, wenn die Gebäude locker angeordnet und nicht höher als die Baumbestände sind (typischerweise also drei bis fünf Etagen entsprechend ca. 10 m bis 16 m). Ein Überströmen der Bebauung und des Baumbestandes wäre dann weiterhin möglich, sofern er bereits zuvor stattgefunden hat. Sollte jedoch die Kaltluft zuvor den Baumbestand aufgrund zu geringer Mächtigkeit nicht überströmt und sich vor diesem gestaut haben, würde auch eine angrenzende Bebauung ohne Folgen für die Durchlüftung bleiben.

[Fortsetzung Text auf S. 8.]

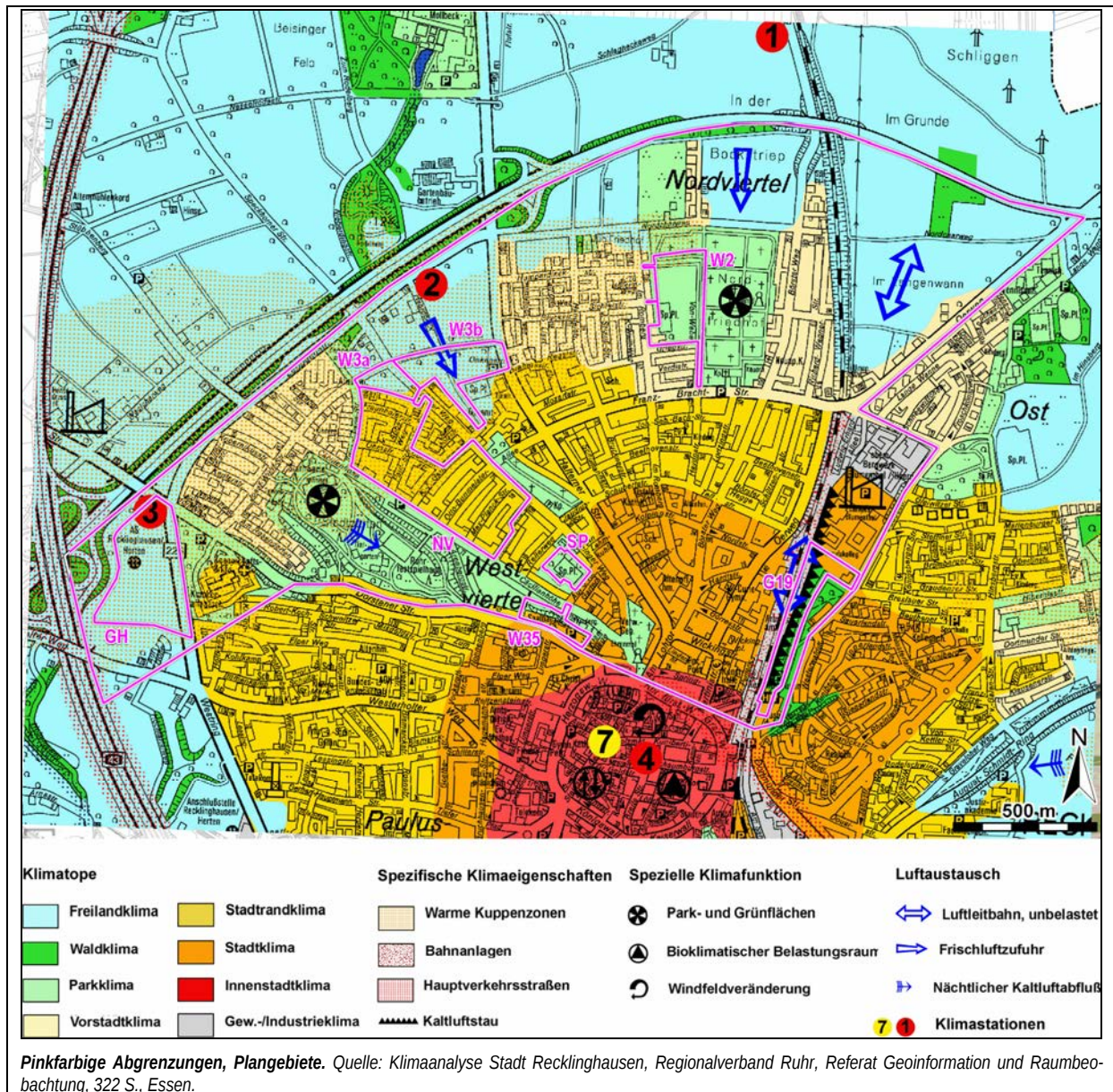


Abb. 4: Auszug aus der Klimafunktionskarte der Klimaanalyse Recklinghausen 2011.

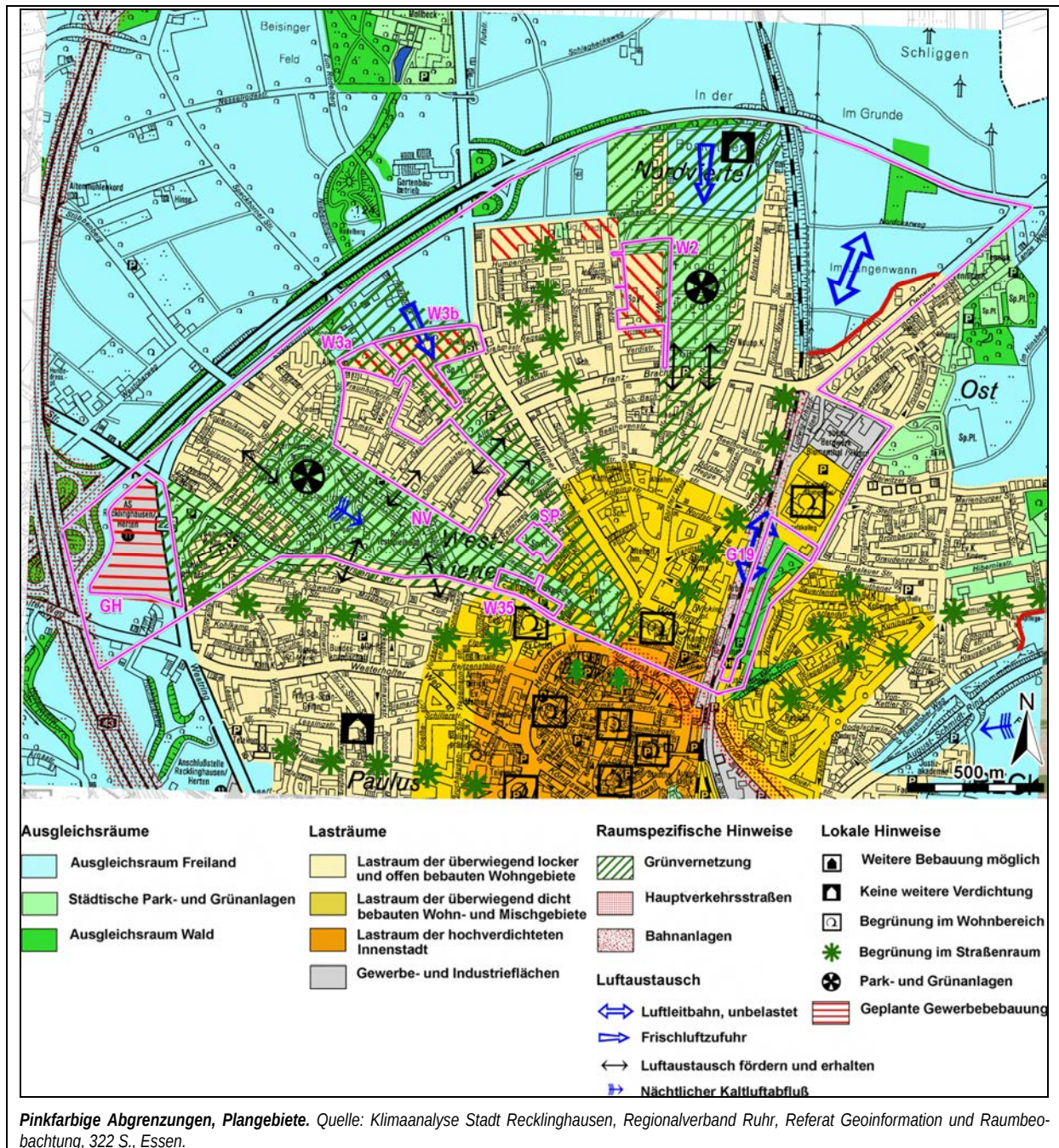


Abb. 5: Auszug aus der Planungshinweiskarte der Klimaanalyse Recklinghausen 2011.

Die Kaltluftschichthöhen, -fließgeschwindigkeiten und -volumenströme lassen sich mit dem in der Kaltlufttrichtlinie (VDI 2003) beschriebenen Ansatz von DEFANT und BRIGGS (Erläuterung siehe hier im Anhang A6, S. 87) empirisch abschätzen. Die dazu notwendige Kartierung der Kaltluftproduktionsflächen vom Typ Freiland und Wald zeigt eine deutliche Gebietskammerung (**Abb. 6**), die stark von Bebauung durchsetzt ist und daher ein bodennahes Vordringen von Kaltluft vom Freiland in den Siedlungskern erschwert.

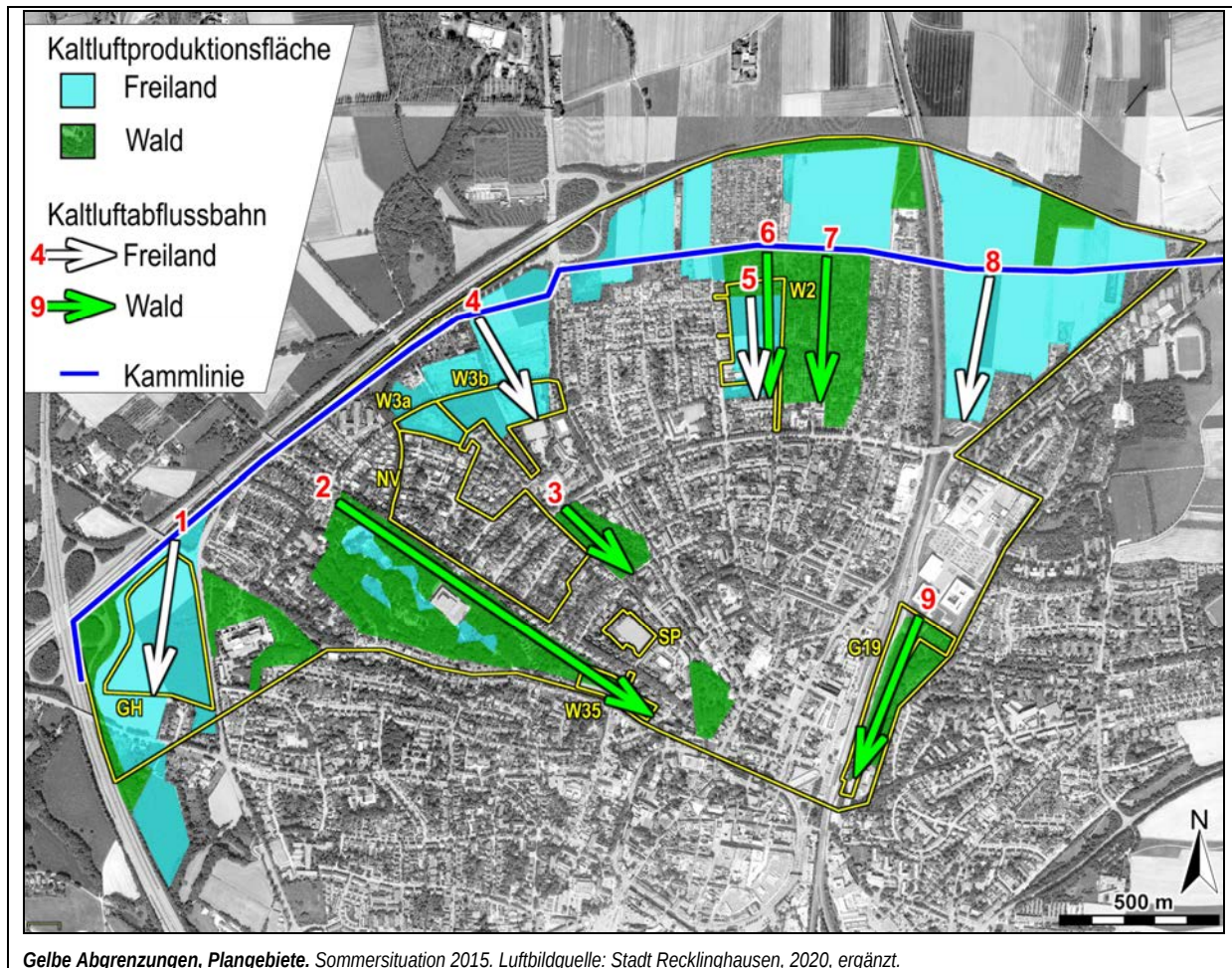


Abb. 6: Kaltluftproduktionsflächen und -fließstrecken im Konzeptgebiet Recklinghausen Nord.

Die in den Kaltluftproduktionsflächen liegenden Kaltluftabflussbahnen 1 bis 9 (vgl. Abb. 6), weisen bei einer angenommenen Kaltluftuntertemperatur von 7 K geschätzte Kaltluftschichthöhen von höchstens 4,3 m Höhe bei geschätzten Fließgeschwindigkeiten von höchstens 1,3 m/s auf (**Tab. 1**). Die Kaltluftströme sind daher wahrscheinlich zu schwach, um vom Umland bis in die Innenstadt vorzudringen. Fallweise wird das über einige, vom Umland in die Stadt reichende, Bahntrassen oder Ausfallstraßen möglich sein, wie z. B. die Untersuchung zum Plangebiet W35 an der Dorstener Straße gezeigt hat (SIMUPLAN 2019), zumal auch dort die Kaltlufteindringtiefe in die Bebauung auf < 200 m beschränkt war.

Die Relevanz der Kaltluft zur Belüftung der Bebauung dürfte daher eher für die direkt an den Kaltluftproduktionsflächen liegenden Baubereiche gegeben sein. Eine effiziente Kaltluftversorgung des Innenstadtbereichs wird vermutlich nicht weiträumig, sondern höchstens punktuell stattfinden.

Tab. 1: Abschätzung von Kaltlufteigenschaften nach DEFANT und BRIGGS im Konzeptgebiet Recklinghausen Nord.

Kaltluftfließstrecke Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Relief									
Höhe z oberer Punkt in m	109	106	94	104	100	100	99	95	76
Höhe z unterer Punkt in m	102	71	89	100	91	91	87	83	74
Höhenunterschied dz in m	7	35	5	4	9	9	12	12	2
Fließstrecke x in m	540	1.200	310	360	330	470	490	480	580
Hangneigung in %	1,3%	2,9%	1,6%	1,1%	2,7%	1,9%	2,4%	2,5%	0,3%
Hangneigung α in °	0,7	1,7	0,9	0,6	1,6	1,1	1,4	1,4	0,2
Klimatologie									
Flächennutzung	Wiese	Wald	Wald	Wiese	Wiese	Wiese/ Wald	Wald	Wiese	Wald
Reibungskonstante μ	0,002	0,030	0,030	0,002	0,002	0,015	0,030	0,002	0,030
Höhe h Kaltluft in m	1,1	4,3	0,7	0,7	1,1	1,3	1,5	1,5	0,5
Fließgeschwindigkeit u Kaltluft in m/s	1,3	1,0	0,3	0,9	1,9	0,6	0,5	2,1	0,1
Volumenstrom V in m ³ /(m ² s)	1,5	4,2	0,2	0,6	2,1	0,8	0,8	3,3	0,1
Volumenstrom V in m ³ /(m ² h)	5.221	15.072	814	2.255	7.612	2.779	3.026	11.719	206

3 Plangebiet W2 – Griegstraße

3.1 Ausgangslage

Die potenzielle Wohnbaufläche Griegstraße (W2) liegt im Ausgleichsgebiet des Recklinghäuser Nordens und besteht aus landwirtschaftlichen Freiflächen, die im Osten und Norden durch die Baumbestände des alten Friedhofs und im Westen und Süden durch die aufgelockerte Wohnbebauung begrenzt werden (**Abb. 7**). Aufgrund des Reliefs ist ein Vordringen von Kaltluftflüssen nach Süden Richtung Bebauung potenziell möglich (vgl. Abb. 3 und Abb. 4).

Im Rahmen der Klimaanalyse (RVR 2011) wurde daher die Planungsempfehlung gegeben, diese Flächen aufgrund ihrer Bedeutung für die Frischluftzufuhr Richtung Innenstadt von einer Bebauung freizulassen. Im Falle einer Bebauung soll die Ausrichtung der Baukörper die Frischluftzufuhr weiterhin ermöglichen (keine Riegelfunktion).

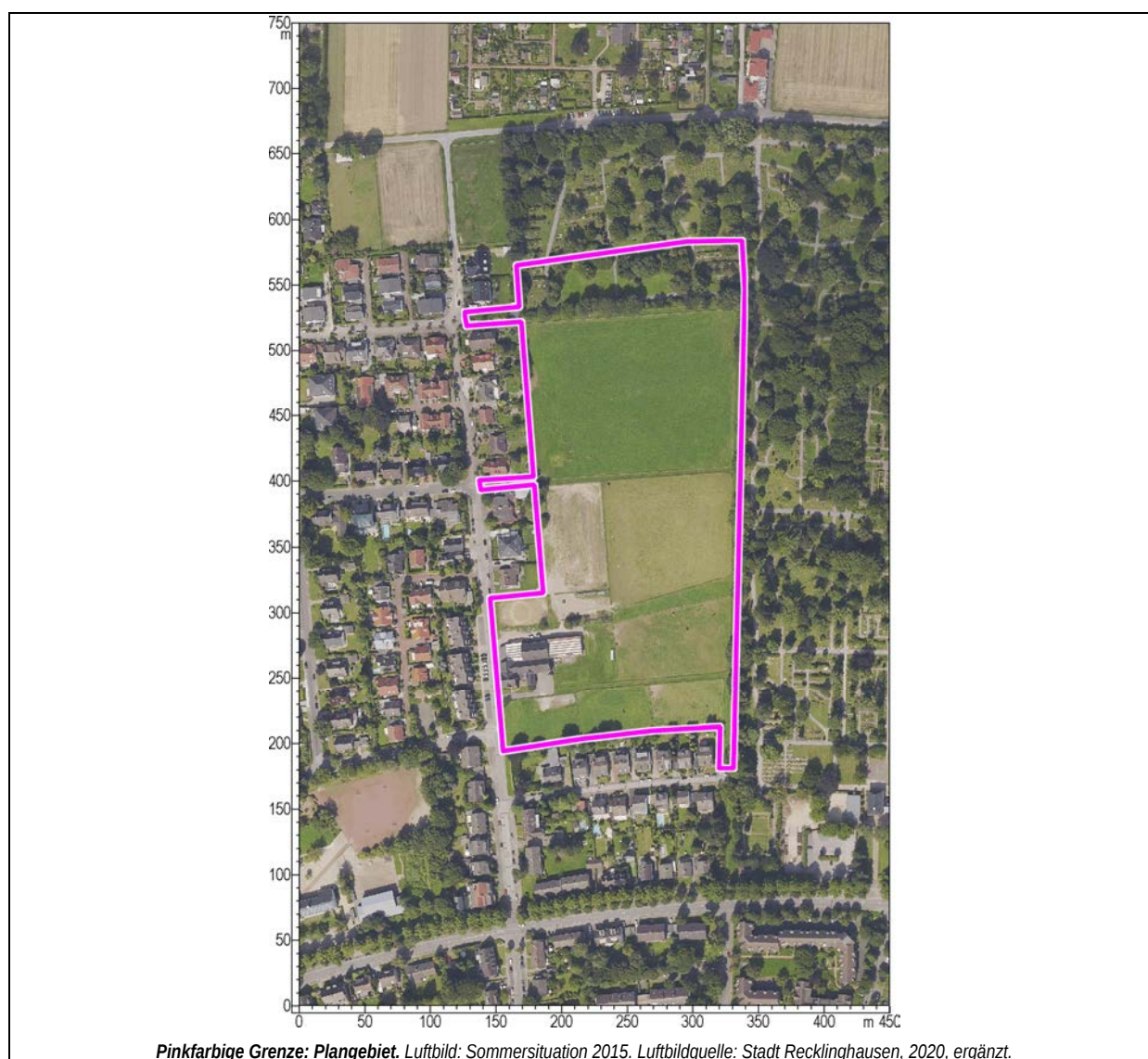


Abb. 7: Plangebiet W2: Simulationsgebiet für den Ist-Zustand.

Städtebaulich ist vorgesehen, unterschiedliche Wohnformen als zwei- bis dreigeschossige Einzel- und Doppelhausbebauung mit Höhen zwischen 7,5 m und 10 m zu realisieren. Es liegen zwei Planentwürfe vor (**Abb. 8**). Der erste Entwurf sieht 26 zweigeschossige Gebäude sowie an der Südseite drei dreigeschossige Gebäude vor, während ein von der Stadt klima-optimierter Entwurf 27 zweigeschossige Gebäude sowie an der Südseite vier dreigeschossige Gebäude vorsieht. Die Entwürfe unterscheiden sich primär in der Gebäudeanordnung und dem Begrünungsgrad. Im ersten Entwurf sind die Häuserzeilen in West-Ost-Richtung und damit quer zu einem potenziellen Kaltluftstrom ausgerichtet. Die Ausstattung mit Bäumen ist hier zunächst spärlich. Der klimaoptimierte Entwurf weist eine zu einem potenziellen Kaltluftstrom parallele Nord-Süd-Ausrichtung der Häuserzeilen und einen größeren Baumbestand auf. Beide Entwürfe enthalten eine Wasserfläche (Teich). Die Verkehrserschließung erfolgt durch zwei Stichstraßen seitens der Straße „Im Romberg“ sowie von Süden über den Ausbau der Von-Weber-Straße.

Die Planentwürfe sollen anhand von Mikrosimulationen zur Kaltluftsituation und ihrer Auswirkung auf das Human-Bioklima verglichen und Handlungsempfehlungen erarbeitet werden.



Abb. 8: Plangebiet W2: Simulationsgebiete für den ersten (links) und klimaoptimierten (rechts) Planentwurf.

Eine Untersuchung der Kaltluftprozesse mittels eines Kaltluftmodells ist hier nicht erforderlich. Kaltluftmodelle erlauben zwar die Berechnung von gravitativen Kaltluftvolumenströmen, wobei allerdings in Abhängigkeit der Landnutzung die Kaltluftproduktionsraten bereits vorgegeben werden. Im hier benutzten Stadtklimamodell ENVI-met hingegen müssen flächennutzungsspezifische Kaltluftproduktionsraten nicht vorab definiert werden, sondern werden durch die Modellphysik tatsächlich berechnet. ENVI-met kann daher für Kaltluftuntersuchungen benutzt werden, indem eine bereits nachgewiesene Kaltluftströmung als Initialatmosphäre verwendet wird. Die Planfläche wäre dann ihrerseits theoretisch in ein größeres Kaltluftproduktionsgebiet eingebettet. Der strahlungsnächtliche Energieaustausch zwischen Kaltluftproduktionsflächen und Atmosphäre findet weiterhin statt.

Die Funktionsweise des Modells ENVI-met wird im Anhang A1 (S. 77) beschrieben. Das Modellgebiet hat eine Flächengröße von 450 m x 750 m bei einer Gittergröße von 2,5 m (Tab. 2).

Für die Untersuchung wird als Witterungsszenario ein, für die vorliegende Fragestellung üblicher, typischer Tagesverlauf eines autochthonen heißen Sommertages einschließlich Tropennacht angenommen, der wolkenfrei, sonnenreich und austauscharm, d. h. von überregionalen Windfeldern unbeeinflusst, ist. Unter diesen Bedingungen ist die Wärmebelastung kritisch zu betrachten. Details zum Witterungsszenario sind in Anhang A2 (s. 78) beschrieben. Als Windrichtung wird gemäß Klimaanalyse (RVR 2011, vgl. Abb. 3 und Abb. 4.) ein potenzieller Kaltluftfluss aus der Richtung 350 Grad (Norden) angenommen.

Tab. 2: Modelleigenschaften des Plangebietes W2 im Klimamodell ENVI-met.

Modelleigenschaften				
Gebietsgröße (x, y, z) / m	450,	750,	31	= 34 ha
Gittergröße (x, y, z) / m	2,5,	2,5,	0,2 – 5	(Höhe z variabel: ab 10 m ü. Gr.: $z_n = z_{n-1} + 10\%$)
Gitteranzahl (x, y, z) / n	180,	300,	16	
Genauigkeit von Gebäude- und Baumhöhen / m	1,0			
Übergeordnete Windrichtung / Grad	350	(N)		Quelle: RVR 2011

Zur Erzeugung der digitalen Geländemodelle wurden für den Ist- und die Plan-Zustände die Böden, Oberflächen, Vegetation und Gebäude mit einer horizontalen Genauigkeit von 2,5 m und einer vertikalen Genauigkeit von 1,0 m erfasst, siehe Anhang A4 (S. 82).

3.2 Windfeld

Die Windfelder für die Ist- und die Plan-Zustände sind in **Abb. 9** und **Abb. 10** sowie deren Unterschiede in **Abb. 11** dargestellt. Die Anströmung erfolgt gemäß der Vorgaben mit Schwachwinden < 1 m/s aus Norden, d. h. vom oberen Kartenrand her.

Wie zu erkennen ist, hängt die **Durchlüftung** von der Anströmbarkeit ab.

Relativ gute Austauschverhältnisse mit ca. 0,6 m/s herrschen im **Ist-Zustand** erwartungsgemäß auf hindernisfreien Flächen wie z. B. Landwirtschaftsflächen vor. Im südlichen Gebietsbereich weisen die parallel zur Windrichtung verlaufenden Straßen Im Romberg und Haydnstraße darüber hinaus **Düseneffekte** auf, die zu den höchsten Windgeschwindigkeiten > 0,8 m/s im Untersuchungsraum führen.

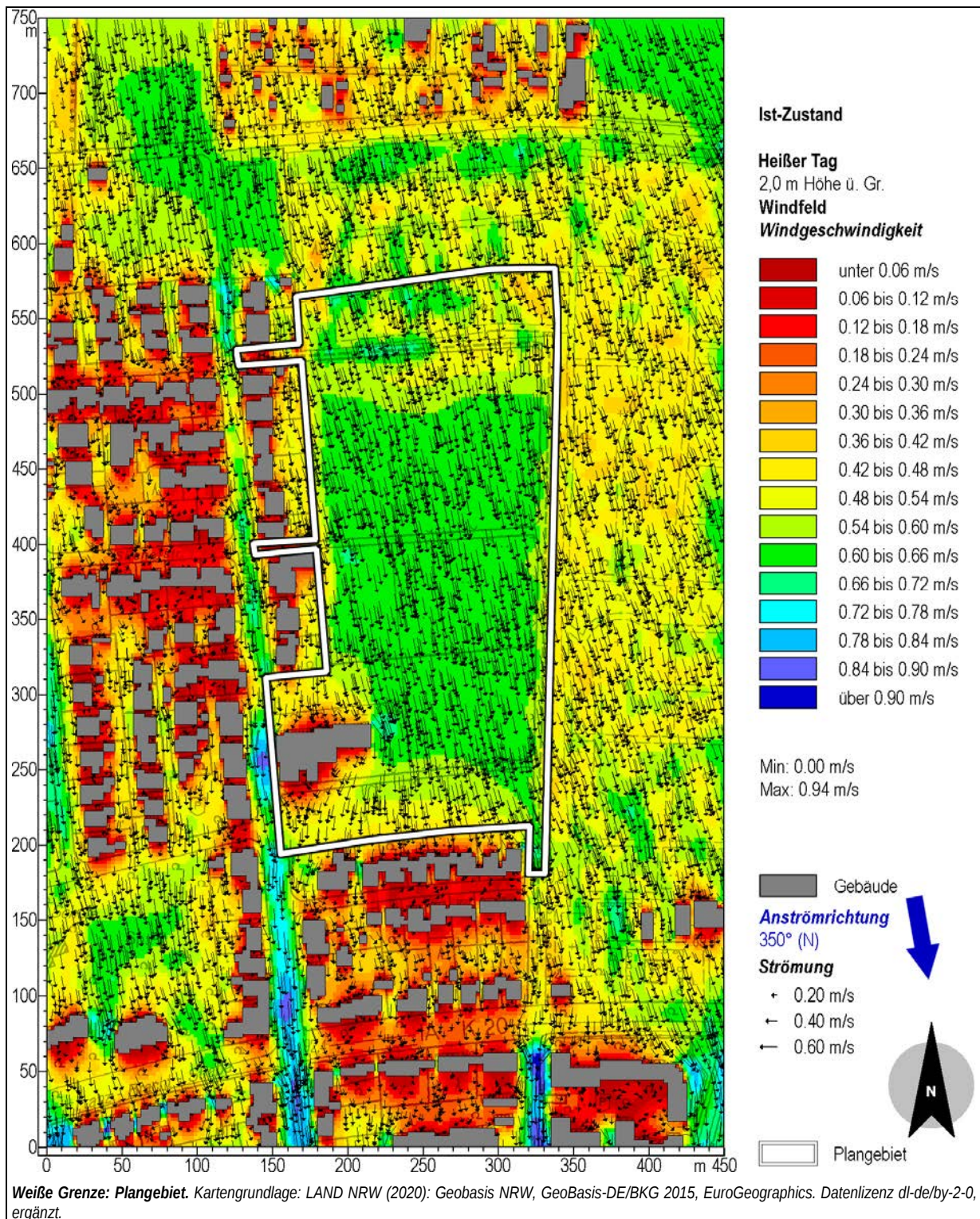
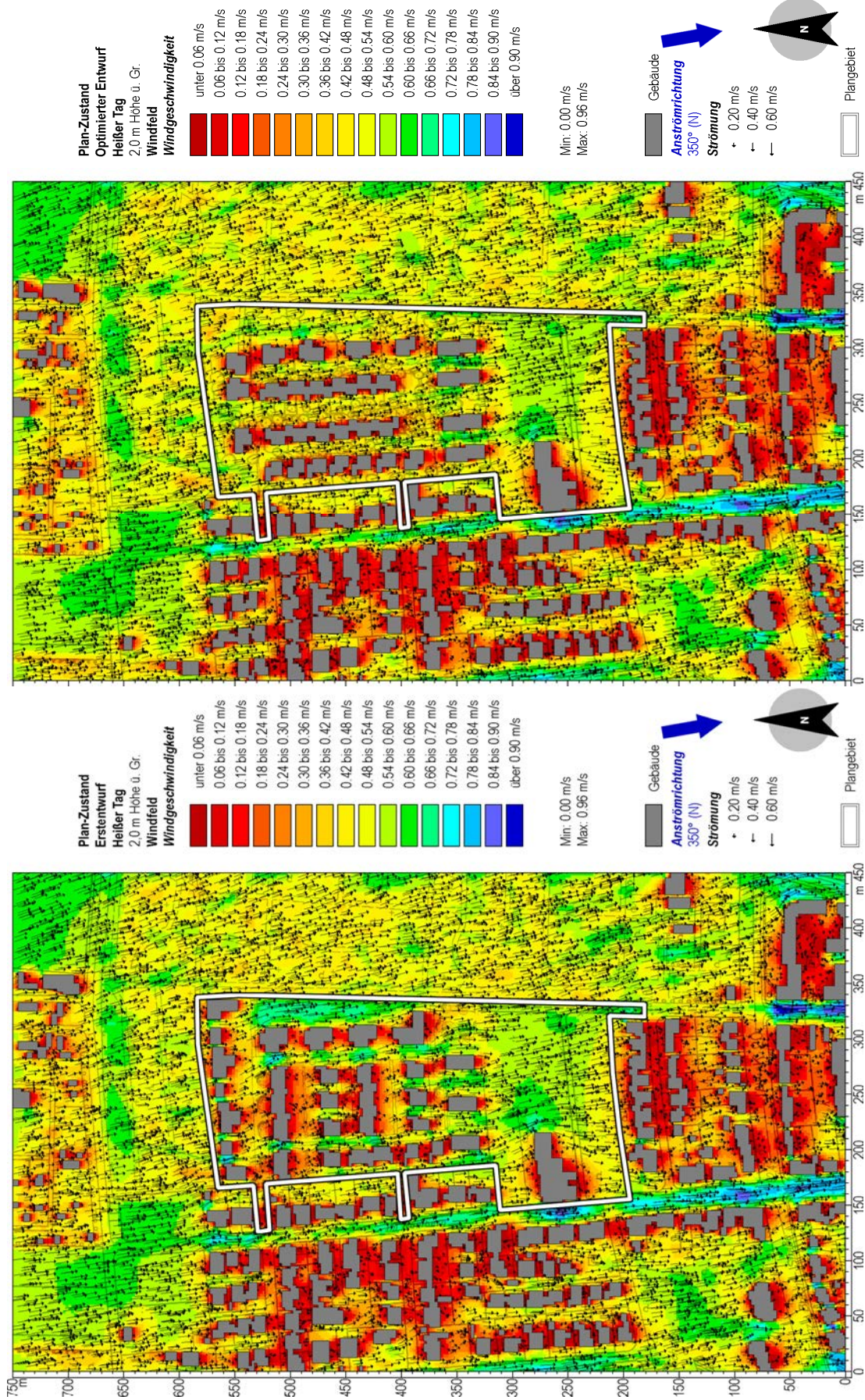


Abb. 9: Plangebiet W2: Windfeld in 2 m ü. Gr. eines heißen Tages für den Ist-Zustand.

Strömungshindernisse führen zu einer **Reduktion** der Windgeschwindigkeit im Bodenniveau. In den Wäldern und Gehölzen sowie kleineren Baumgruppen wird der Wind auf ca. 0,4 m/s abgebremst.

[Fortsetzung Text auf S. 16.]



Weißer Grenze: Plangebiet. Kartengrundlage: LAND NRW (2020), Geobasis NRW, GeoBasis-DE/BKG 2015, EuroGeographics. Datenlizenz dl-de/by-2-0, ergänzt.

Abb. 10: Plangebiet W2: Windfeld in 2 m ü. Gr. eines heißen Tages für den ersten (links) und klimaoptimierten (rechts) Plan-Zustand.



Blaue Grenze: Plangebiet Kartengrundlage: LAND NRW (2020); GeoBasis-DE/BKG 2015, EuroGeographics. Datenlizenz dl-de/by-2-0, ergänzt.

Abb. 11: Plangebiet W2: Differenzen der Windgeschwindigkeit in 2 m ü. Gr. eines heißen Tages für den ersten (links) und klimaaoptimierten (rechts) Plan-Zustand im Vergleich zum Ist-Zustand.

Im Umfeld von **Gebäuden** als massive Strömungshindernisse ist die Durchlüftung erwartungsgemäß mit $< 0,2$ m/s am schwächsten ausgeprägt. Insbesondere wenn die Gebäudeanordnung gegenüber der Anströmrichtung einen Strömungsriegel bildet, kommt in deren Windschatten die Durchlüftung faktisch zum Erliegen ($< 0,1$ m/s), z. B. Humperdinckstraße oder Silberstraße. Wenn die Gebäudeanordnung parallel zur Anströmrichtung ausgerichtet ist, wird der Austausch in den Straßen mit $> 0,4$ m/s etwas besser (z. B. Im Romberg).

Im **Plan-Zustand** stellen die neuen Gebäude und Bäume erwartungsgemäß Strömungshindernisse dar. Im direkten Gebäudeumfeld sowie insbesondere an deren Leeseite sind lokale Reduktionen der Windgeschwindigkeit um bis zu $0,5$ m/s zu beobachten. Hierbei handelt es sich um die leeseitigen, nach Süden ausgerichteten Störzonen (d. h. Windschatten) der einzelnen Gebäude. Mit zunehmender **Lagedichte** der neuen Gebäude nimmt die Reduktion des Austausches deutlich zu.

In dieser Hinsicht ist der erste Planentwurf ungünstiger als der klimaoptimierte Entwurf einzustufen. Im ersten Planentwurf bilden die hauptsächlich West-Ost-orientierten Häuserzeilen einen deutlichen Strömungsriegel gegenüber der nördlichen Anströmung. Beim optimierten Planentwurf hingegen sind die Häuserzeilen parallel zu Anströmung ausgerichtet, sodass zwischen den Häuserzeilen die Windgeschwindigkeitsreduktion deutlich geringer ausfällt.

An der Ostseite des ersten Entwurfs kommt hingegen ein marginaler Düseneffekt zur Geltung, der durch die nordöstlichen Gebäude hervorgerufen wird.

Auffällig bei allen Veränderungen ist deren **geringe räumliche Reichweite**, die auf wenige zehner Meter beschränkt ist. Eine Fernwirkung auf die bestehende Wohnbebauung in der Nachbarschaft ist nicht festzustellen.

3.3 Thermische Behaglichkeit am Tage

Die thermische Behaglichkeit wird anhand des Wärmebelastungsindex Physiologische Äquivalenttemperatur PET bewertet (Details siehe Anhang A3, S. 80).

Die thermischen Behaglichkeiten zur wärmsten Stunde des Tages (15 Uhr) für die Ist- und die Plan-Zustände sind in **Abb. 12** und **Abb. 13** sowie deren Unterschiede in **Abb. 14** dargestellt. In der Legende sind zu den PET-Temperaturen die verbalen Bezeichnungen der Behaglichkeitsklassen vermerkt.

Prinzipiell gilt, dass entsprechend der Vorgabe eines klaren heißen Tages im Allgemeinen über allen unverschatteten Freiflächen *heiße* Bedingungen herrschen, die sich entweder im Bereich sonnenexponierter Gebäude verstärken oder im Bereich von Wald-, Baum- oder Gebäudeschatten abschwächen.

Im **Ist-Zustand** werden auf den größeren, unverschatteten **Freiflächen** PET-Werte von ca. 44 °C bis 46 °C PET und damit bereits *heiße* Bedingungen erreicht. Hierzu zählen primär die Landwirtschaftsflächen, die nördlichen Kleingärten sowie größere Hausgärten. Trotz der durch Verdunstung kühleren Böden überwiegt hier die direkte Sonneneinstrahlung auf den ganzen menschlichen Körper, sodass die Gefahr von Sonnenstichen hier sehr hoch ist.

Ein weiterer **Anstieg der Wärmebelastung** auf bis zu 50 °C PET erfolgt an den südlichen und westlichen Fassaden sonnenexponierter **Gebäude**, die nach einstrahlungsbedingter Aufheizung die Wärme in die Umgebung abstrahlen. Bei einzelnen, freistehenden Gebäuden reicht die Wärmeabstrahlung nur wenige Meter weit. Mit zunehmender Lagedichte der Gebäude wirkt sich die Wärmestrahlung auch bis in die Hausgärten aus. Bei unmittelbar benachbarten Gebäuden überlagern sich die Wärmazonen der Gebäude, z. B. Silberstraße oder Verdistraße. Hier kommt es aufgrund zusätzlich unzureichender Durchlüftung (Riegelbildung) auch stellenweise zu Hitzestau mit Werten > 57 °C PET.

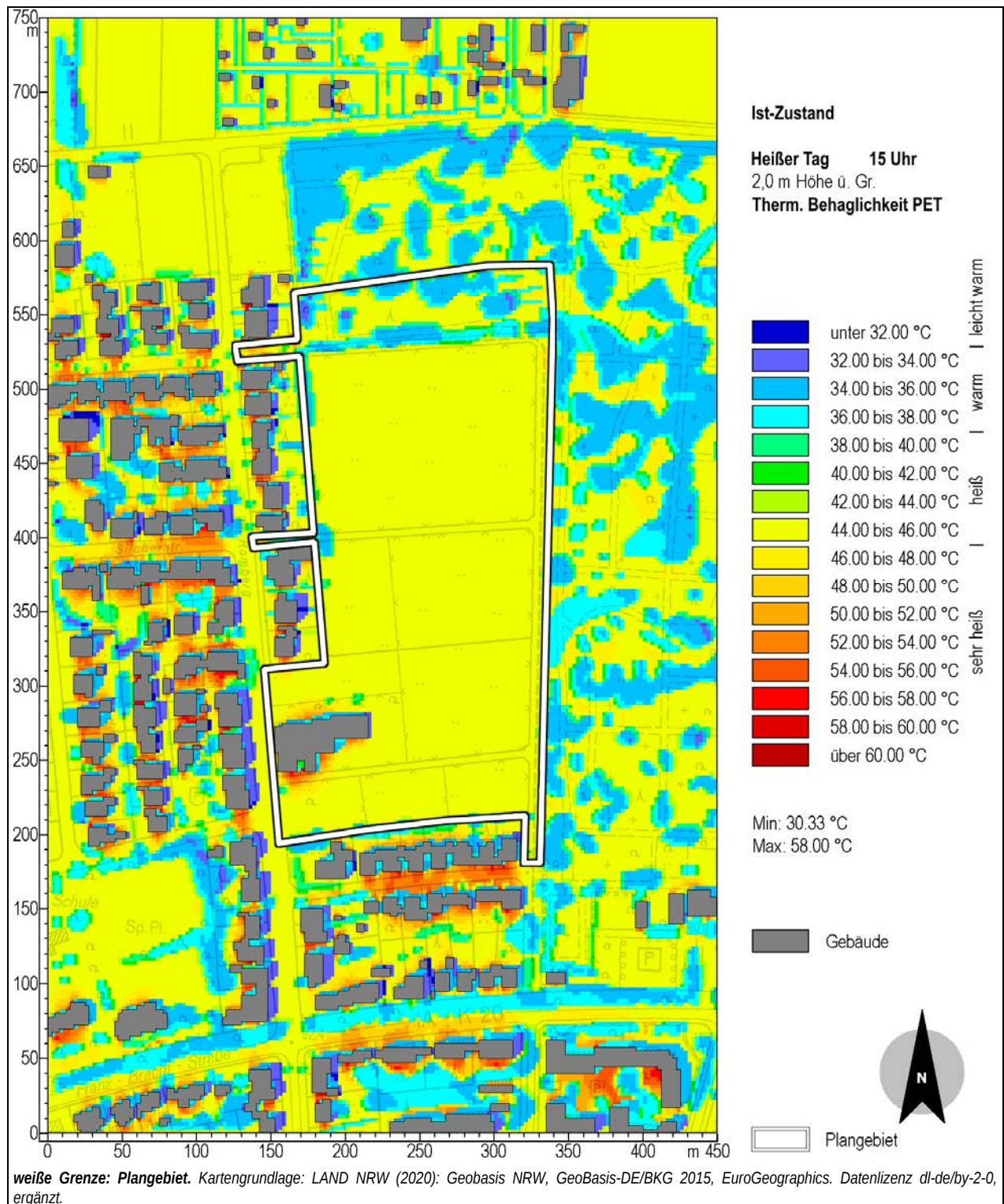
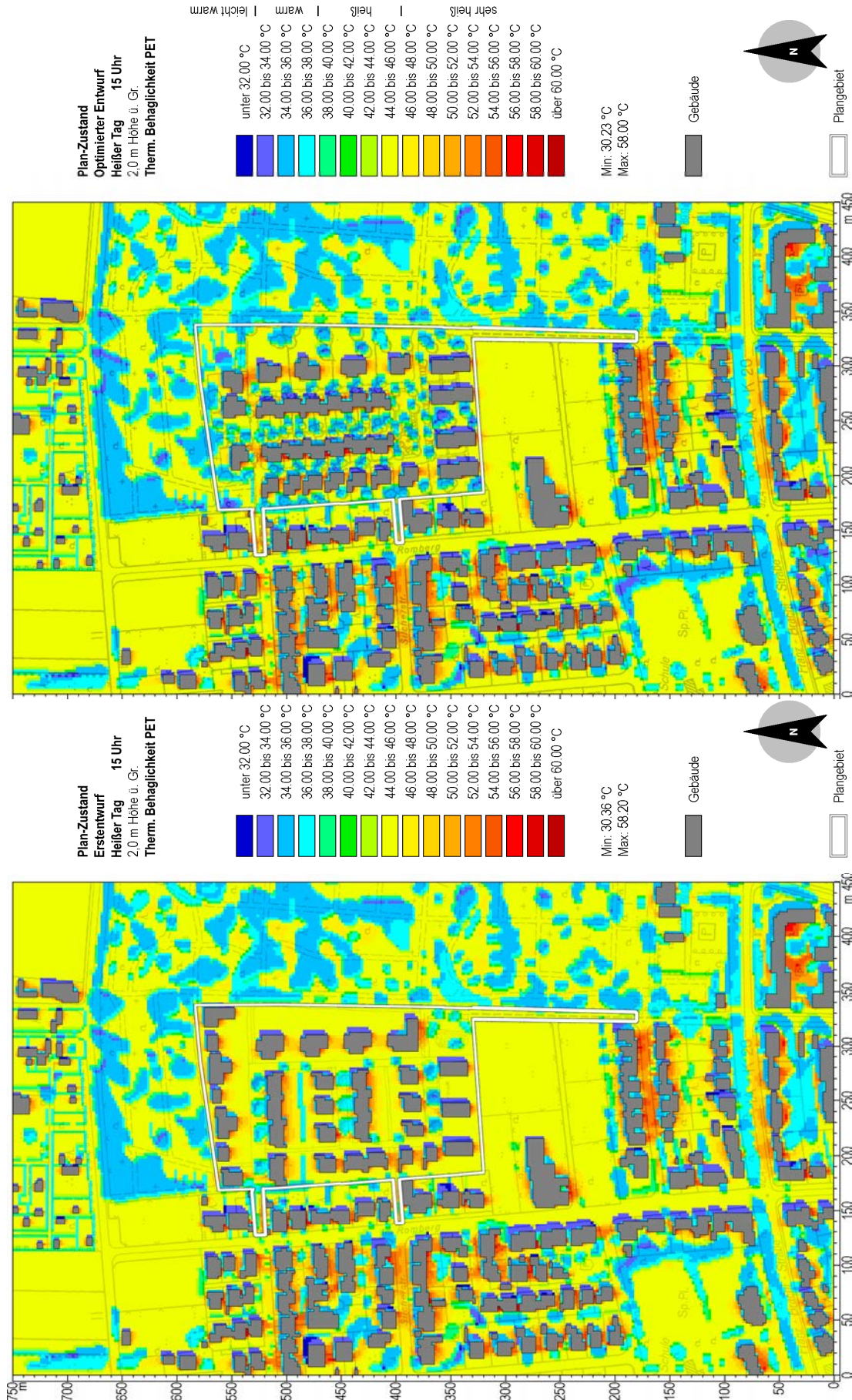


Abb. 12: Plangebiet W2: Thermische Behaglichkeit in 2 m ü. Gr. um 15 Uhr eines heißen Tages für den Ist-Zustand.

Deutlich **schwächere Wärmebelastungen** mit *warmen* Bedingungen finden sich in den Schattenzonen von Bäumen und Wäldern. Im Schatten von Gebäuden ist die Wärmebelastung am geringsten.

[Fortsetzung Text auf S. 20.]



Weißer Grenze: Plangebiet. Kartengrundlage: LAND NRW (2020), GeoBasis NRW, GeoBasis-DE/BKG 2015, EuroGeographics. Datenlizenz dl-de/by-2-0, ergänzt.

Abb. 13: Plangebiet W2: Thermische Behaglichkeit in 2 m ü. Gr. um 15 Uhr eines heißen Tages für den ersten (links) und klimaausgewerteten (rechts) Plan-Zustand.



Blaue Grenze: Plangebiet. Kartengrundlage: LAND NRW (2020); Geobasis NRW, GeoBasis-DE/BKG 2015, EuroGeographics. Datenlizenz dl-de/by-2-0, ergänzt.

Abb. 14: Plangebiet W2: Differenzen der thermischen Behaglichkeit in 2 m ü. Gr. für 15 Uhr eines heißen Tages für den ersten (links) und klimaoptimierten (rechts) Plan-Zustand im Vergleich zum Ist-Zustand.

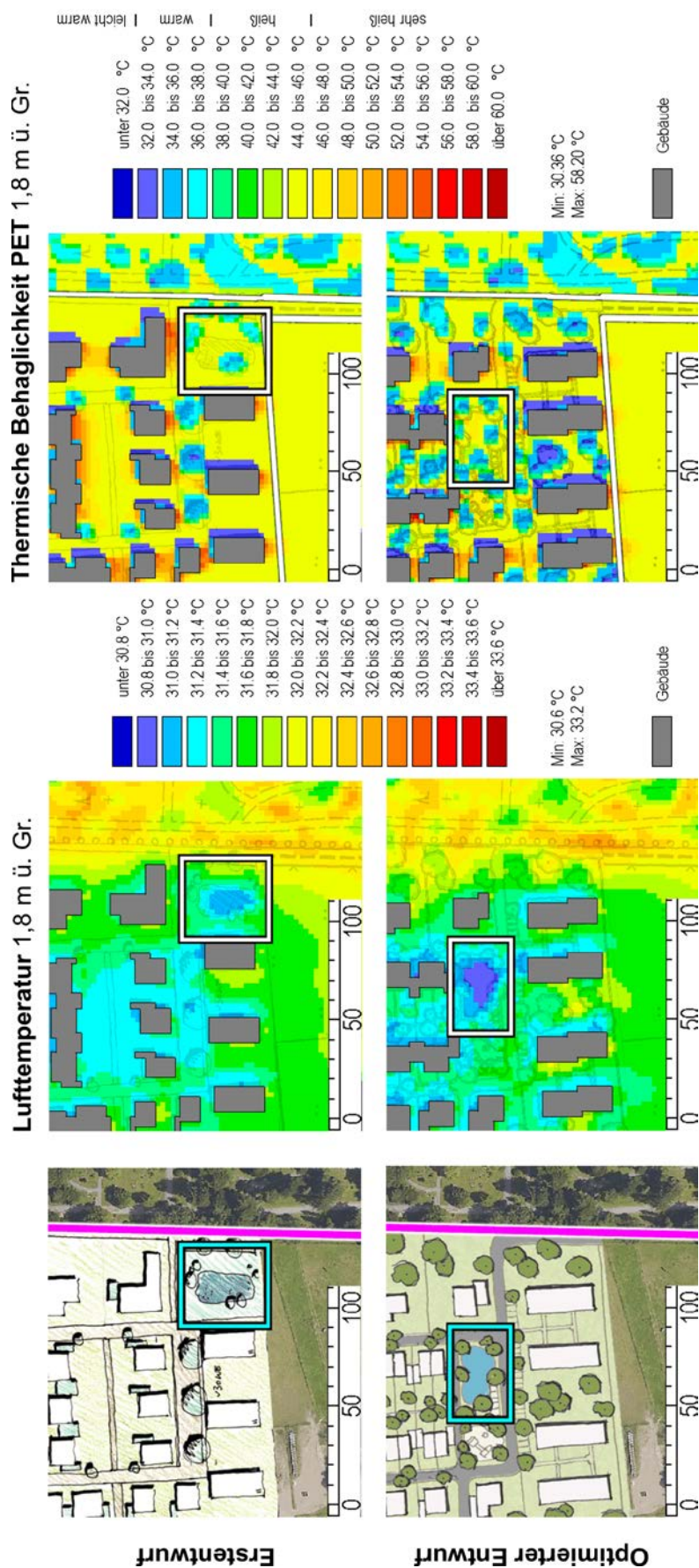
Die Auswirkungen der **Planentwürfe** sind auf die nächste Umgebung begrenzt. Die anliegenden Wohngebiete sind nicht betroffen.

Dabei gilt prinzipiell: An ehemals besonnten Stellen, an denen sich nun neue Gebäude oder Bäume befinden, verbessert sich durch deren Schattenzonen die thermische Situation.

Die neuen Gebäude und Bäume schaffen an ihren Nord- bis Nordostseiten **Verschattungszonen** mit der **günstigsten Belastungsstufe** (*warm*). Im ersten Planentwurf führt mangelnder Baumbesatz in Gebäudenähe zu Überwärmung der Süd- und Westfassaden. Zudem kommt es im Bereich des nördlichen Gebäuderiegels zu vermehrten Hitze-hotspots im Straßenraum. Der klimaoptimierte Entwurf weist aufgrund des höheren Baumbesatzes und den daraus resultierenden größeren Verschattungsflächen deutlich kühlere Verhältnisse auf. Auch die Hitze-hotspots im Straßenraum der nördlichen Straße sind deutlich reduziert. Im optimierten Entwurf sind die sonnenexponierten Fassaden der neuen Gebäude durch die neuen Bäume gut verschattet und damit gegen Aufheizung geschützt.

Wie beim Wind gilt auch hier, dass die Auswirkungen der Planentwürfe auf die nächste Umgebung beschränkt bleiben und die angrenzende Bestandsbebauung nicht beeinträchtigen.

Die geplanten **Teiche** bewirken eine schwache lokale Senkung der Lufttemperatur von ca. 1,2 K (**Abb. 15**), die jedoch keine Wirkung auf die thermische Behaglichkeit hat, da um diese Tageszeit die direkte Sonnenstrahlung die deutlich wirksamere Einflussgröße ist.



Kartengrundlage: LAND NRW (2020); Geobasis NRW, GeoBasis-DE/BKG 2015, EuroGeographics. Datenlizenz dl-de/by-2-0, ergänzt.

Abb. 15: Plangebiet W2: Klimatische Wirkung der Teiche in 2 m ü. Gr. für 5 Uhr eines heißen Tages für den ersten und klimaaoptimierten Plan-Zustand.

3.4 Nächtliche Lufttemperaturverhältnisse und thermische Behaglichkeit

Die Lufttemperaturen am Ende der Folgenacht eines heißen Tages um 5 Uhr sind für die Ist- und die Plan-Zustände in **Abb. 16** und **Abb. 17** sowie deren Unterschiede in **Abb. 18** dargestellt. Im gesamten Untersuchungsgebiet werden die Bedingungen einer **Tropennacht** erfüllt (Tiefsttemperatur $> 20\text{ °C}$).

Zunächst ist festzustellen, dass durch den, gemäß den meteorologischen Vorgaben, stetigen Zustrom warmer Luft in das Simulationsgebiet die Spannweite der Werte von $21,6\text{ °C}$ bis $22,8\text{ °C}$ ($= 1,2\text{ K}$) erwartungsgemäß gering ist. Dennoch treten flächennutzungsspezifische Unterschiede deutlich in Erscheinung.

In den bebauten und versiegelten Bereichen ist im **Ist-Zustand** eine Überwärmung $> 22,6\text{ °C}$ erkennbar, welche Teile der sog. „städtischen **Wärmeinsel**“ darstellen. Die Bau- und Versiegelungsmaterialien geben die am Tage durch Sonneneinstrahlung zugeführte und aufgespeicherte Wärme nachts im Vergleich zu unversiegelten Flächennutzungen nur verzögert und langsam an die Atmosphäre ab. Die Überwärmung ist entlang der meisten Straßen und den dort anliegenden Gebäuden erkennbar.

Im Bereich der Baumbestände (Friedhof) und größeren Hausgärten nimmt die Lufttemperatur bereits um ca. $0,5\text{ K}$ ab und erreicht auf den großen Freiflächen und im nördlichen Kleingarten die niedrigsten Werte, deren Minimum auf der zentral gelegenen Landwirtschaftsfläche erreicht wird ($21,6\text{ °C}$).

Für die **Plan-Zustände** ist in der näheren Umgebung der neuen Gebäude eine überwiegende Erwärmung zu beobachten, die im nördlichen Bereich unter dem Einfluss des Windes noch sehr gering ist, am südlichen Ende jedoch bis zu $0,9\text{ K}$ beträgt. Von dieser Stelle aus breitet sich die Luft als Warmluftfahne nach Süden bis den Bereich der Gebäude an der Verdistraße aus, dringt dann aber nicht weiter in die Bebauung vor.

Im ersten Entwurf ist innerhalb des Gebäudeensembles aufgrund der Riegelbildung das thermische Niveau etwas höher als im klimaoptimierten Entwurf, der besser durchströmt wird, sodass dort auch die Warmluftfahne schneller abklingt.

Der klimaoptimierte Entwurf zeigt im nördlichen Bereich gegenüber dem Ist-Zustand sogar marginal kühlere Lufttemperaturen an ($< -0,3\text{ K}$), die aus der kombinierenden Wirkung von der Verschattungskühlung der neuen Gebäude und Bäume am Tage, erhöhter nächtlicher Bodenauskühlung und veränderter Luftströmung resultiert.

[Fortsetzung Text auf S. 26.]

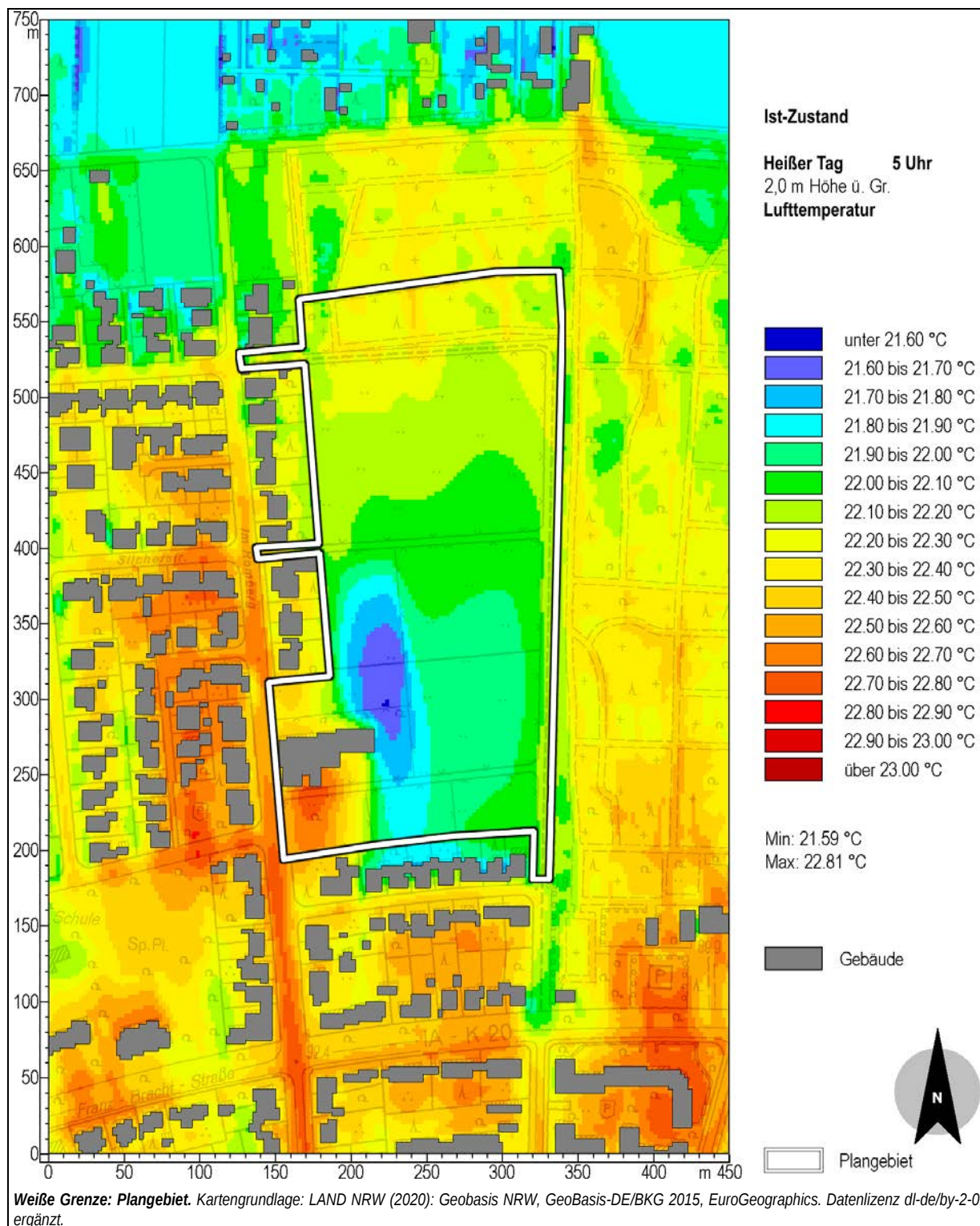
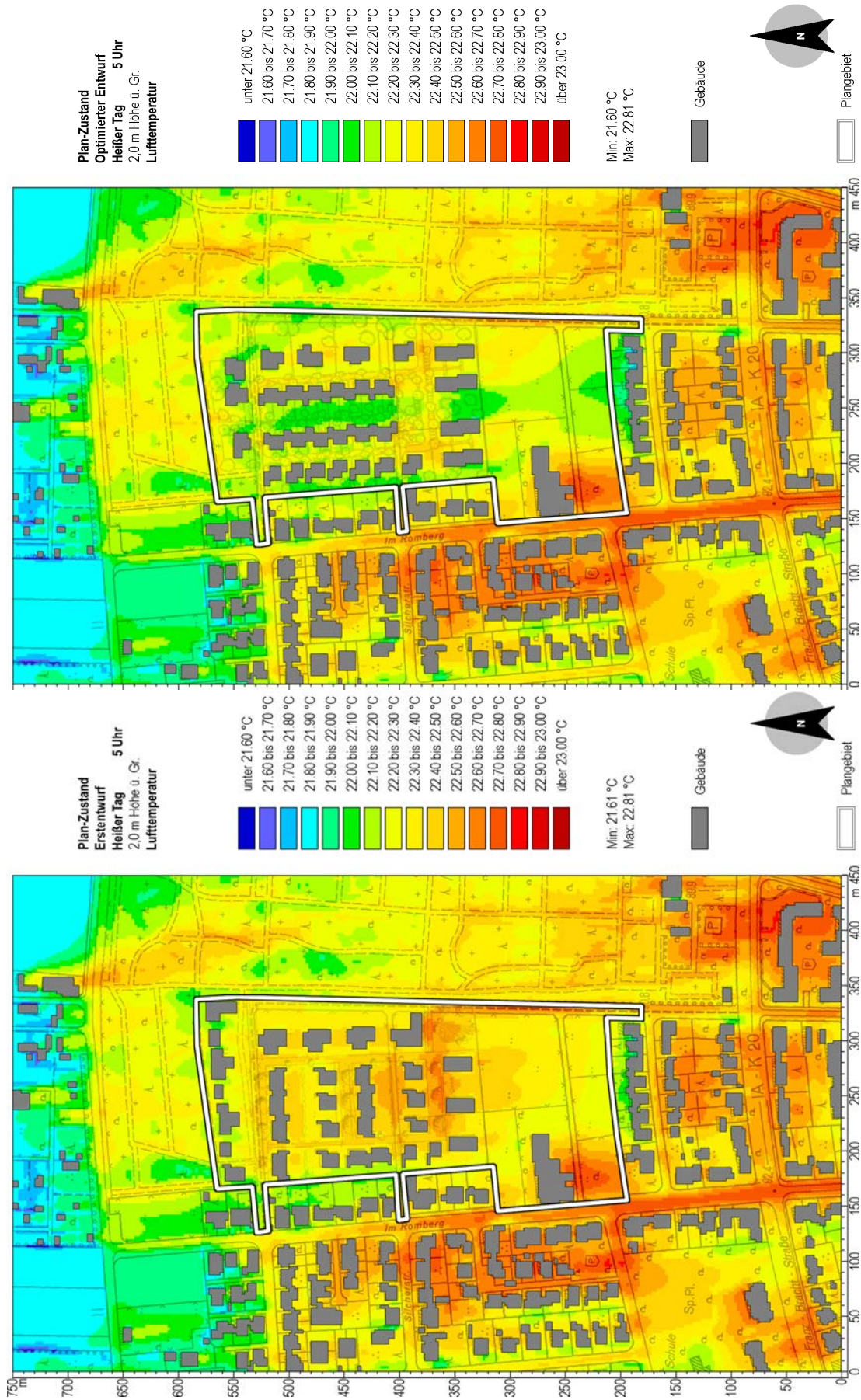


Abb. 16: Plangebiet W2: Lufttemperatur in 2 m ü. Gr. um 5 Uhr in der Folgenacht eines heißen Tages für den Ist-Zustand.



Weißer Grenze: Plangebiet. Kartengrundlage: LAND NRW (2020), Geobasis NRW, GeoBasis-DE/BKG 2015, EuroGeographics. Datenlizenz dl-de/by-2-0, ergänzt.

Abb. 17: Plangebiet W2: Lufttemperatur in 2 m ü. Gr. um 5 Uhr in der Folgenacht eines heißen Tages für den ersten (links) und klimaoptimierten (rechts) Plan-Zustand



Blaue Grenze: Plangebiet. Kartengrundlage: LAND NRW (2020); Geobasis NRW, GeoBasis-DE/BKG 2015, EuroGeographics. Datenlizenz dl-de/by-2-0, ergänzt.

Abb. 18: Plangebiet W2: Differenzen der Lufttemperatur in 2 m ü. Gr. für 5 Uhr in der Folgenacht eines heißen Tages für den ersten (links) und klimaoptimierten (rechts) Plan-Zustand im Vergleich zum Ist-Zustand.

Die thermischen Behaglichkeiten sind nachts bezüglich eines Aufenthalts im Freien unkritisch, wie sich bereits zu Beginn der nächtlichen Abkühlung um 23 Uhr zeigt.

Die thermischen Behaglichkeiten für die Ist- und die Plan-Zustände sind in **Abb. 19** und **Abb. 20** sowie deren Unterschiede in **Abb. 21** dargestellt. In der Legende sind zu den PET-Temperaturen die verbalen Bezeichnungen der Behaglichkeitsklassen vermerkt.

Im **Ist-Zustand** werden abgesehen von wenigen Hotspots mit *leicht warmen* Bedingungen ausschließlich *behagliche* Bedingungen beobachtet. Während die Landwirtschaftsflächen etwas niedrigere *behagliche* Bedingungen aufweisen, zeigen die Baumbestände etwas höhere *behagliche* Bedingungen. Ursache dieses bekannten Phänomens ist das „Stammraumklima“, bei dem die Baumkronen die Wärmeausstrahlung des Bodens in höhere Luftschichten verhindern, sodass es zum Wärmestau kommt.

Im Nahbereich vieler Gebäude, die nur langsam auskühlen, sind relativ höhere PET-Temperaturen mit *leicht warmer* Wirkung zu verzeichnen. Diese Hotspots befinden sich im versiegelten Straßenraum oder in allseits umbauten Innenhöfen.

Die **Plan-Zustände** zeigen stellenweise eine Erhöhung der PET von bis zu 3,2 K, die auf die Wärmestrahlung der neuen Gebäude zurückzuführen ist. Die Effekte sind jedoch insofern ohne Wirkung, als mit der Erwärmung keine Wechsel der Behaglichkeitsstufen verbunden sind. Die Unterschiede sind in physiologischer Hinsicht fast nicht wahrnehmbar, da für den Wechsel zwischen den einzelnen Behaglichkeitsstufen (hier: von *behaglich* zu *leicht kühl* oder zu *leicht warm*) mindestens 5 K anstatt der hier ermittelten maximalen 3,2 K erforderlich wären (vgl. PET-Skala in Tab. A 2, S. 81).

[Fortsetzung Text auf S. 30.]

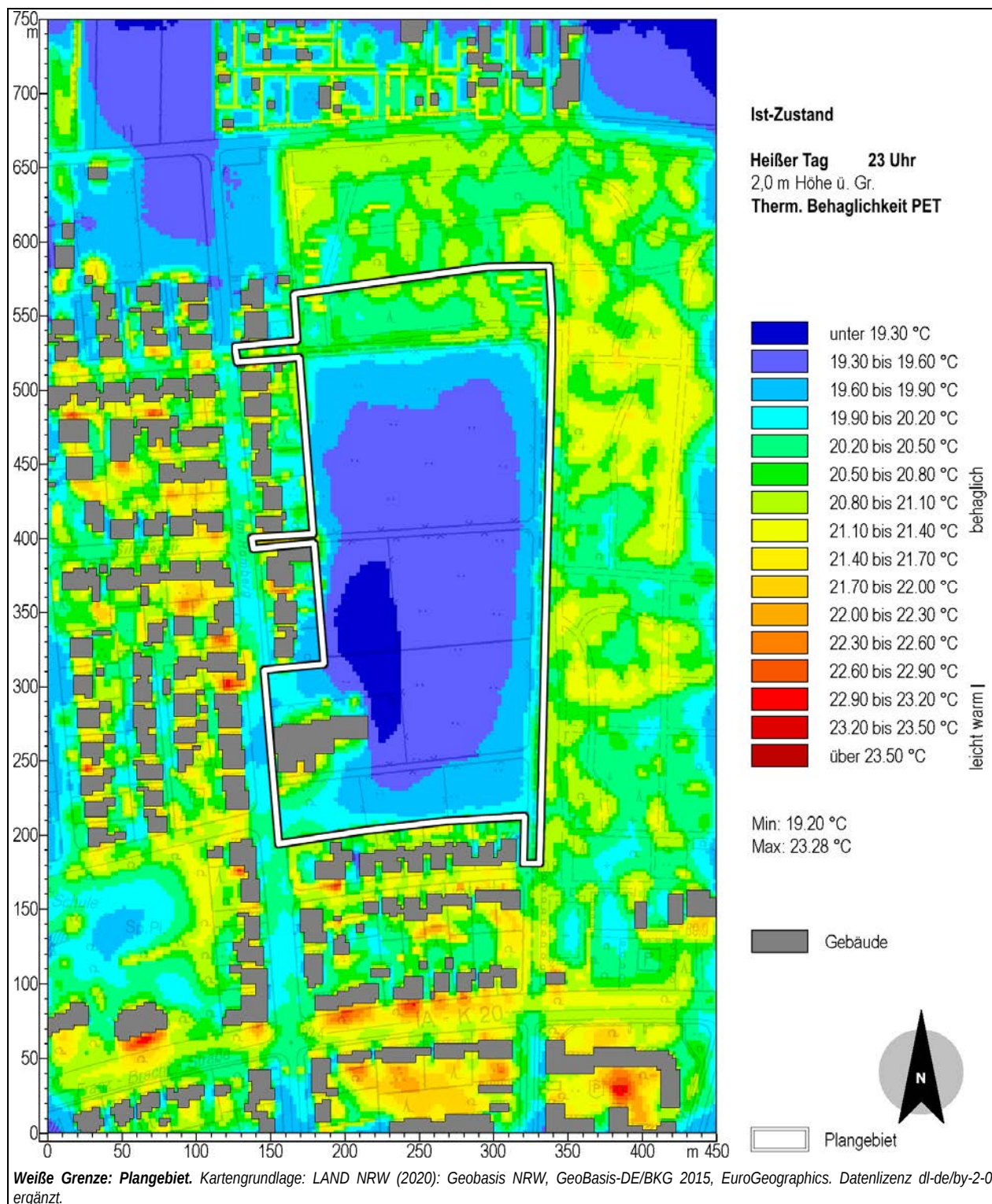
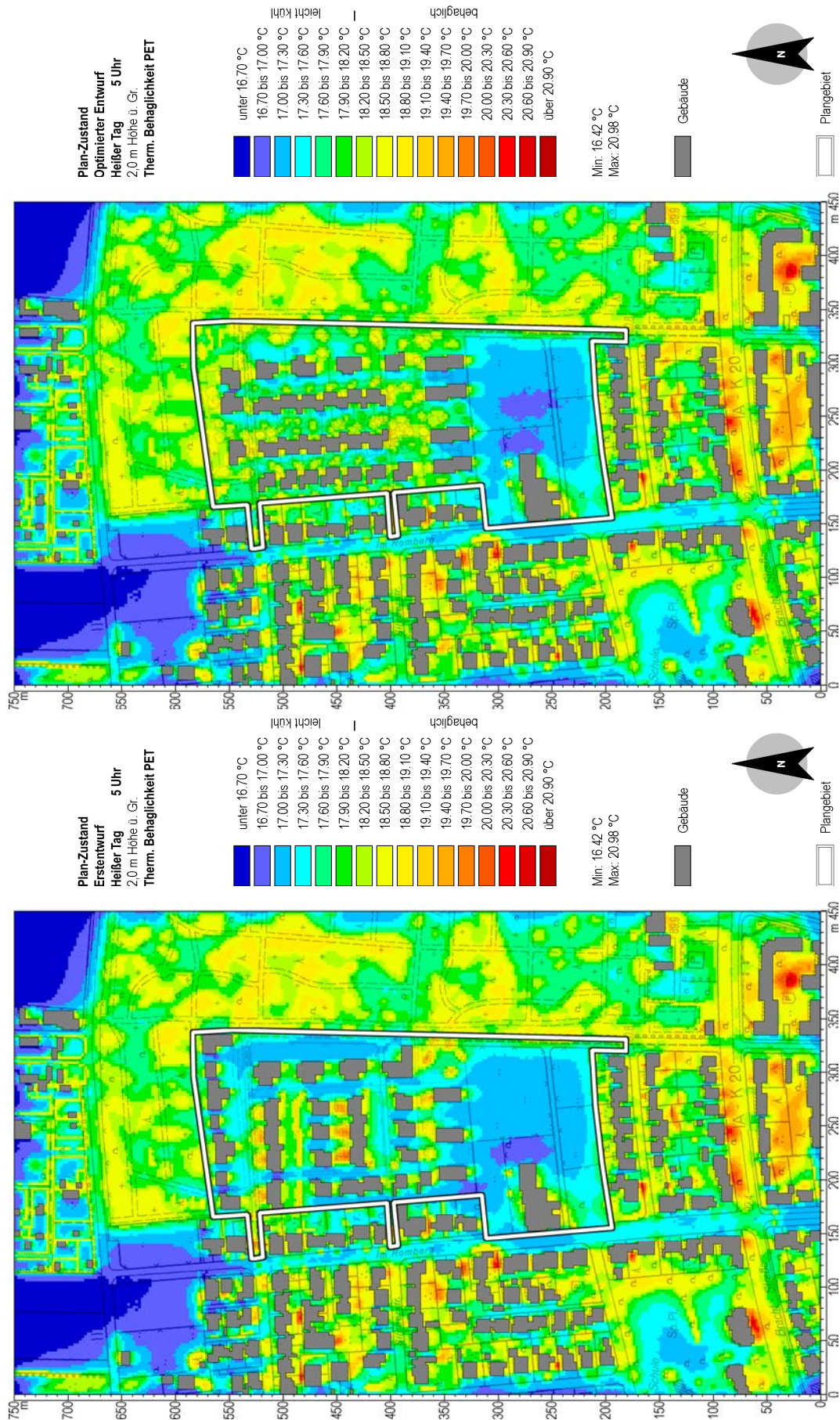


Abb. 19: Plangebiet W2: Thermische Behaglichkeit in 2 m ü. Gr. um 23 Uhr eines heißen Tages für den Ist-Zustand.



Weißer Grenze: Plangebiet. Kartengrundlage: LAND NRW (2020); Geobasis NRW, GeoBasis-DE/BKG 2015, EuroGeographics. Datenlizenz dl-de/by-2-0, ergänzt.

Abb. 20: Plangebiet W2: Thermische Behaglichkeit in 2 m ü. Gr. um 23 Uhr eines heißen Tages für den ersten (links) und klimaoptimierten (rechts) Plan-Zustand



Blaue Grenze: Plangebiet. Kartengrundlage: LAND NRW (2020); Geobasis NRW, GeoBasis-DE/BKG 2015, EuroGeographics. Datenlizenz dl-de/by-2-0, ergänzt.

Abb. 21: Plangebiet W2: Differenzen der thermischen Behaglichkeit in 2 m ü. Gr. für 23 Uhr eines heißen Tages für den ersten (links) und klimaoptimierten (rechts) Plan-Zustand im Vergleich zum Ist-Zustand.

Bezüglich der Starkregenbehandlung gibt die Stadt Recklinghausen folgende Hinweise:

Im südlichen Teil der zur Bebauung anstehenden Fläche werden sich bei Starkregen bis zu 25 cm tiefe Wasserflächen bilden, welche dann Richtung Süden abfließen und den besonders gefährdeten Innenstadtbereich belasten werden (Abb. 22). Im Zuge der weiteren Planungen sind innerhalb des Baugebietes entsprechende Rückhalteräume zu schaffen, um die Innenstadt und die Wallringe zu entlasten.

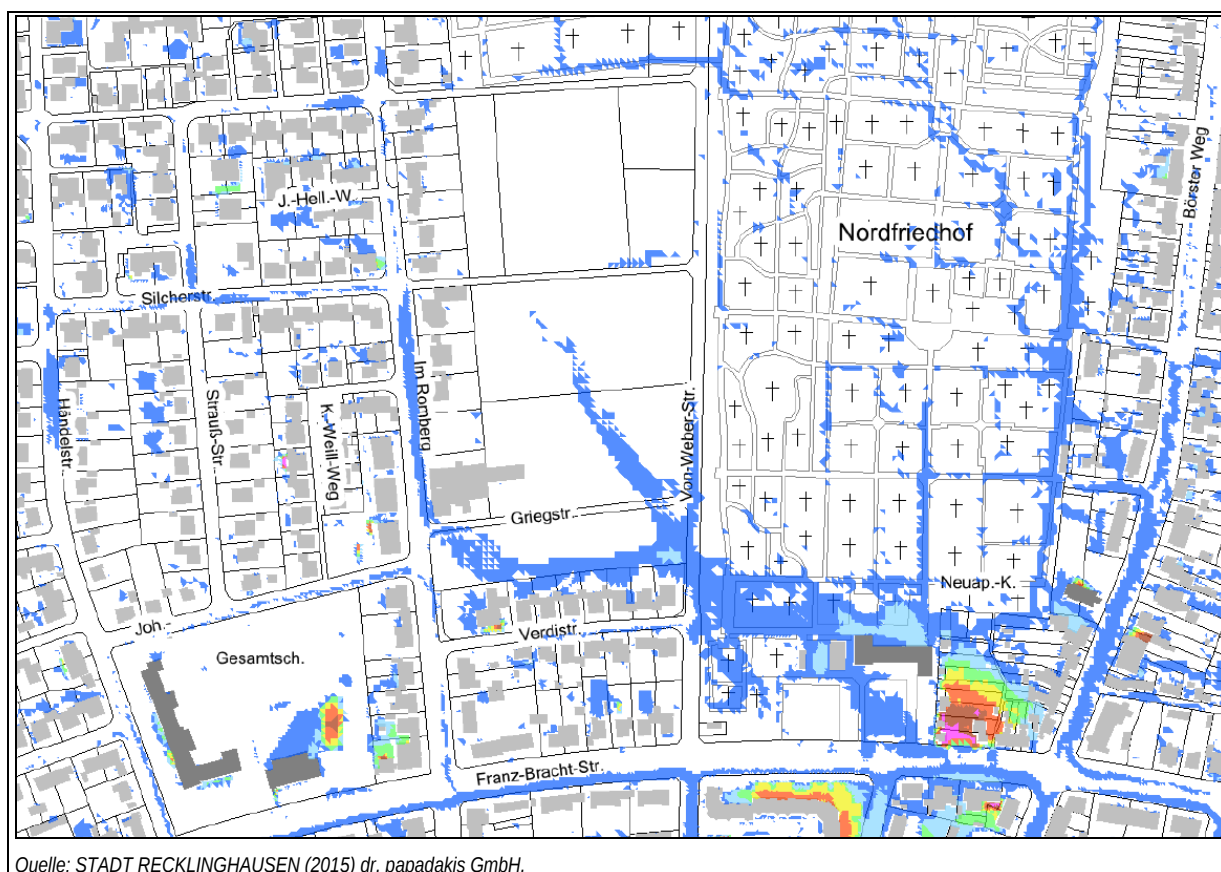


Abb. 22: Plangebiet W2: Auszug der Starkregengefahrenkarte.

3.5 Empfehlungen für die weitere Planung

Der optimierte Planentwurf ist als Grundlage für die weitere Planung zu bevorzugen. Die Lageorientierung der Gebäude ist zur effektiven Ventilation geeignet, kann aber verbessert werden. Gegen Überwärmung sollten umfangreiche Schutzmaßnahmen ergriffen werden.

Maßnahmenvorschläge:

Hinweis: Die geklammerten Kennziffern verweisen auf die Maßnahmennummern des *Kataloges der Maßnahmensteckbriefe zur Klimaanpassung* (KPLAN 2017) in Recklinghausen.

Primär:

1. Durchlüftungsverbesserung: **Abstand** zwischen Häuserzeilen weiter vergrößern (S1, S4, G3)
2. Durchlüftungsverbesserung: **Bäume** nur am **Rand** von Abstandsgrünflächen bzw. Gärten, **Lageorientierung** von Baumreihen entlang der **Kaltluftfließrichtung** (S1, S4)
3. Hitzeschutz: **Gebäudedämmung** nach GEG-/EnEV-2020-Standard, **helle Fassaden-** und auch **helle Dachfarben** (G4, G5)
4. Hitzeschutz: **Dachbegrünungen** (G1)
5. Hitzeschutz: Verkehrswege und -flächen oder Parkplätze mit **porösen** oder **hellen Oberflächen** (Rasengittersteine, heller Kies, heller poröser Asphalt) (Q9)
6. Luftreinhaltung: **keine holzbasierten** oder andere **staublastigen Feuerungsanlagen** (Heizungen, Kamine)
7. Luftreinhaltung: **keine Durchgangsstraßen**

Langfristig:

8. Hitzeschutz: **Verschattung** aller sonnenexponierten Süd- bis Westfassaden von **Neubauten** mit **großkronigen Bäumen** (Q4, G4, G6)
9. Hitzeschutz: bis die Bäume die notwendige Höhe/Größe erreicht haben: ergänzende **Fassadenbegrünungen** (G2)

Sekundär:

10. Verbesserung der verdunstungswirksamen Bodenwasserbevorratung durch die Anlage von unversiegelten Flächen, Mulden, Rigolen und anderen Wasserspeichern (Q11, Q13, Q14, Q15, G8)

Details zur Wirkung der Maßnahmen siehe Kapitel 9 (S. 64) oder KPLAN (2017).

4 Plangebiet W3 – Josef-Wulff-Straße

4.1 Ausgangslage

Die Wohnbauflächen Josef-Wulff-Straße (W3a und W3b) liegen im Ausgleichgebiet des Recklinghäuser Nordens. Es handelt sich um landwirtschaftliche Freiflächen, die zur Bebauung hin geneigt sind (**Abb. 23** oben). Ein Vordringen von potenziellen Kaltluftflüssen in die Bebauung ist daher wahrscheinlich. Im Rahmen der Klimaanalyse (RVR 2011) wurde daher die Planungsempfehlung gegeben, diese Flächen aufgrund ihrer Bedeutung für die Frischluftzufuhr Richtung Innenstadt von einer Bebauung freizulassen.

Der Planentwurf sieht Einzel- und Doppelhausbebauungen mit überwiegend zwei und vereinzelt drei Geschossen vor, entsprechend Höhen zwischen ca. 7,5 m und 10 m (**Abb. 23** unten). Die Häuserzeilen sind abgesehen vom Südstrang quer zu einer potenziellen Kaltluftströmung angeordnet und könnten diesbezüglich einen Riegel bilden. Entlang der Erschließungsstraßen sind Baumpflanzungen vorgesehen. Am östlichen Ende ist die Ansiedlung eines Nahversorgers mit einem großen Parkplatz vorgesehen.

Im Falle einer Bebauung soll die Ausrichtung der Baukörper die Frischluftzufuhr weiterhin ermöglichen (keine Riegelfunktion).

Hier sollen die Auswirkungen des Planentwurfs auf die Funktion der Luftleitbahn und auf das Bioklima untersucht werden.

Die Untersuchung wird mit dem Stadtklimamodell ENVI-met durchgeführt. Die Funktionsweise des Modells ENVI-met wird im Anhang A1 (S. 77) beschrieben. Das Modellgebiet hat eine Flächengröße von 927 m x 600 m bei einer Gittergröße von 3 m (**Tab. 3**).

Für die Untersuchung wird als Witterungsszenario ein, für die vorliegende Fragestellung üblicher, typischer Tagesverlauf eines autochthonen heißen Sommertages einschließlich Tropennacht angenommen, der wolkenfrei, sonnenreich und austauscharm, d. h. von überregionalen Windfeldern unbeeinflusst, ist. Unter diesen Bedingungen ist die Wärmebelastung kritisch zu betrachten. Details zum Witterungsszenario sind in Anhang A2 (s. 78) beschrieben. Als Windrichtung wird gemäß Klimaanalyse (RVR 2011, vgl. Abb. 3 und Abb. 4.) ein potenzieller Kaltluftfluss aus der Richtung 326 Grad (Nordwest) angenommen

Tab. 3: Modelleigenschaften des Plangebietes W3 im Klimamodell ENVI-met.

Modelleigenschaften				
Gebietsgröße (x, y, z) / m	927,	600,	42	= 56 ha
Gittergröße (x, y, z) / m	3,0,	3,0,	0,2 – 5	(Höhe z variabel: ab 10 m ü. Gr.: $z_n = z_{n-1} + 10\%$)
Gitteranzahl (x, y, z) / n	309,	200,	16	
Genauigkeit von Gebäude- und Baumhöhen / m	1,0			
Übergeordnete Windrichtung / Grad	326	(NW)		Quelle: RVR 2011

Zur Erzeugung der digitalen Geländemodelle wurden für den Ist- und die Plan-Zustände die Böden, Oberflächen, Vegetation und Gebäude mit einer horizontalen Genauigkeit von 2,5 m und einer vertikalen Genauigkeit von 1,0 m erfasst, siehe Anhang A5 (S. 85).



Abb. 23: Plangebiet W3: Simulationsgebiete für den Ist-Zustand (oben) und den Plan-Zustand (unten) (schematisch).

4.2 Windfeld

Die Windfelder für die Ist- und die Plan-Zustände sind in **Abb. 24** und **Abb. 25** sowie deren Unterschiede in **Abb. 26** dargestellt. Die Anströmung erfolgt gemäß der Vorgaben mit Schwachwinden < 1 m/s aus Nordwesten, d. h. vom oberen linken Kartenrand her.

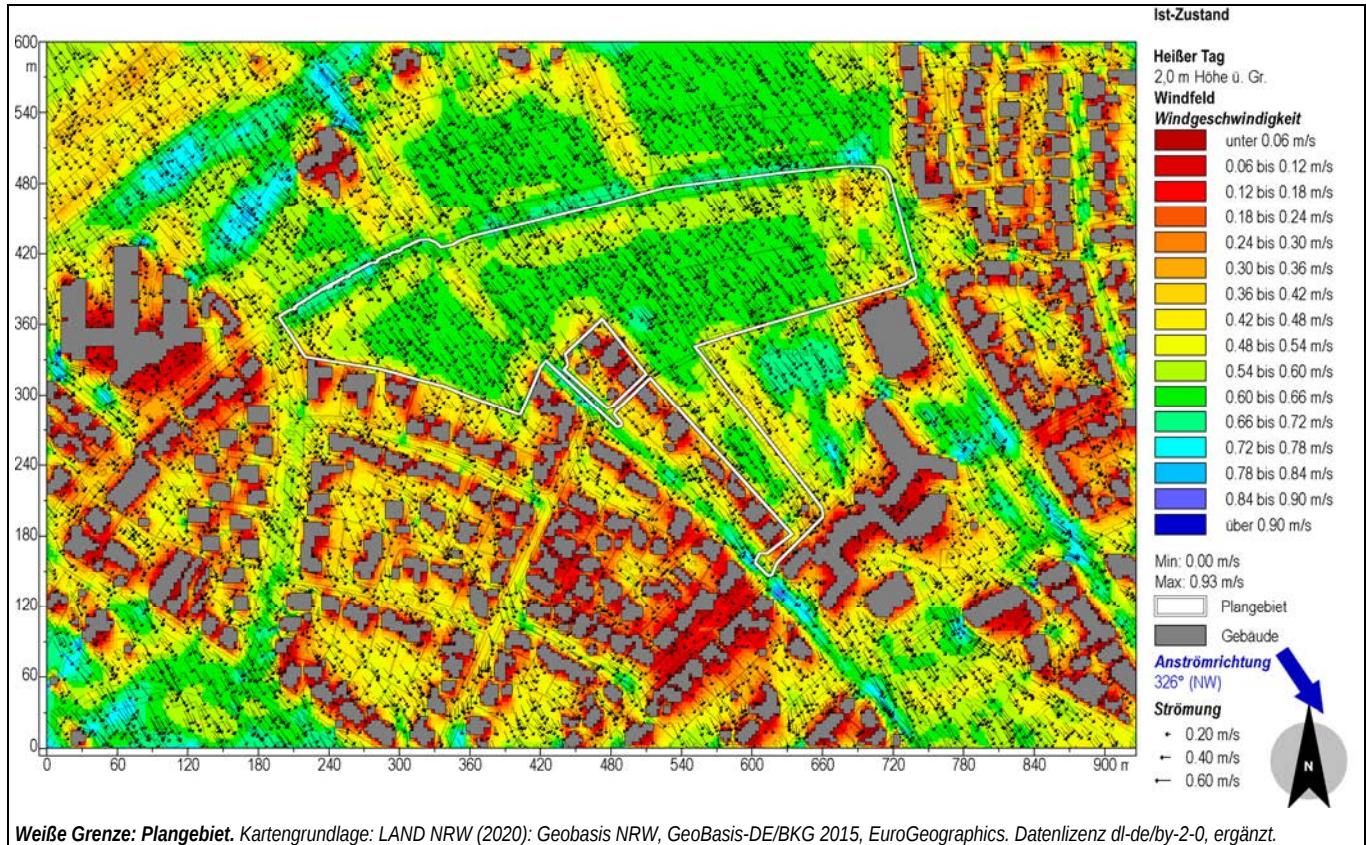


Abb. 24: Plangebiet W3: Windfeld in 2 m ü. Gr. eines heißen Tages für den Ist-Zustand.

Wie zu erkennen ist, hängt die **Durchlüftung** von der Anströmbarkeit ab.

Relativ gute Austauschverhältnisse mit ca. 0,6 m/s herrschen im **Ist-Zustand** erwartungsgemäß auf hindernisfreien Flächen wie z. B. Landwirtschaftsflächen vor. Im südlichöstlichen Gebietsbereich weisen die parallel zur Windrichtung verlaufenden Straßen Beisinger Weg und Halterner Straße darüber hinaus leichte **Düseneffekte** auf, die zu den höchsten Windgeschwindigkeiten > 0,7 m/s im Untersuchungsraum führen.

Strömungshindernisse führen zu einer **Reduktion** der Windgeschwindigkeit im Bodenniveau. In den Wäldern und Gehölzen sowie kleineren Baumgruppen und Alleen wird der Wind auf ca. 0,4 m/s abgebremst. Gleiches gilt für baumreiche Hausgärten.

Im Umfeld von **Gebäuden** als massive Strömungshindernisse ist die Durchlüftung erwartungsgemäß mit < 0,2 m/s am schwächsten ausgeprägt. Insbesondere wenn die Gebäudeanordnung gegenüber der Anströmrichtung einen Strömungsriegel bildet, kommt in deren Windschatten die Durchlüftung faktisch zum Erliegen (< 0,1 m/s), z. B. Gesamtschule, Gauß-Straße oder Seniorenresidenz an der Josef-Wulff-Straße. Wenn die Gebäudeanordnung parallel zur Anströmrichtung ausgerichtet ist, wird der Austausch in den Straßen mit > 0,4 m/s etwas besser (z. B. Beisinger Weg).

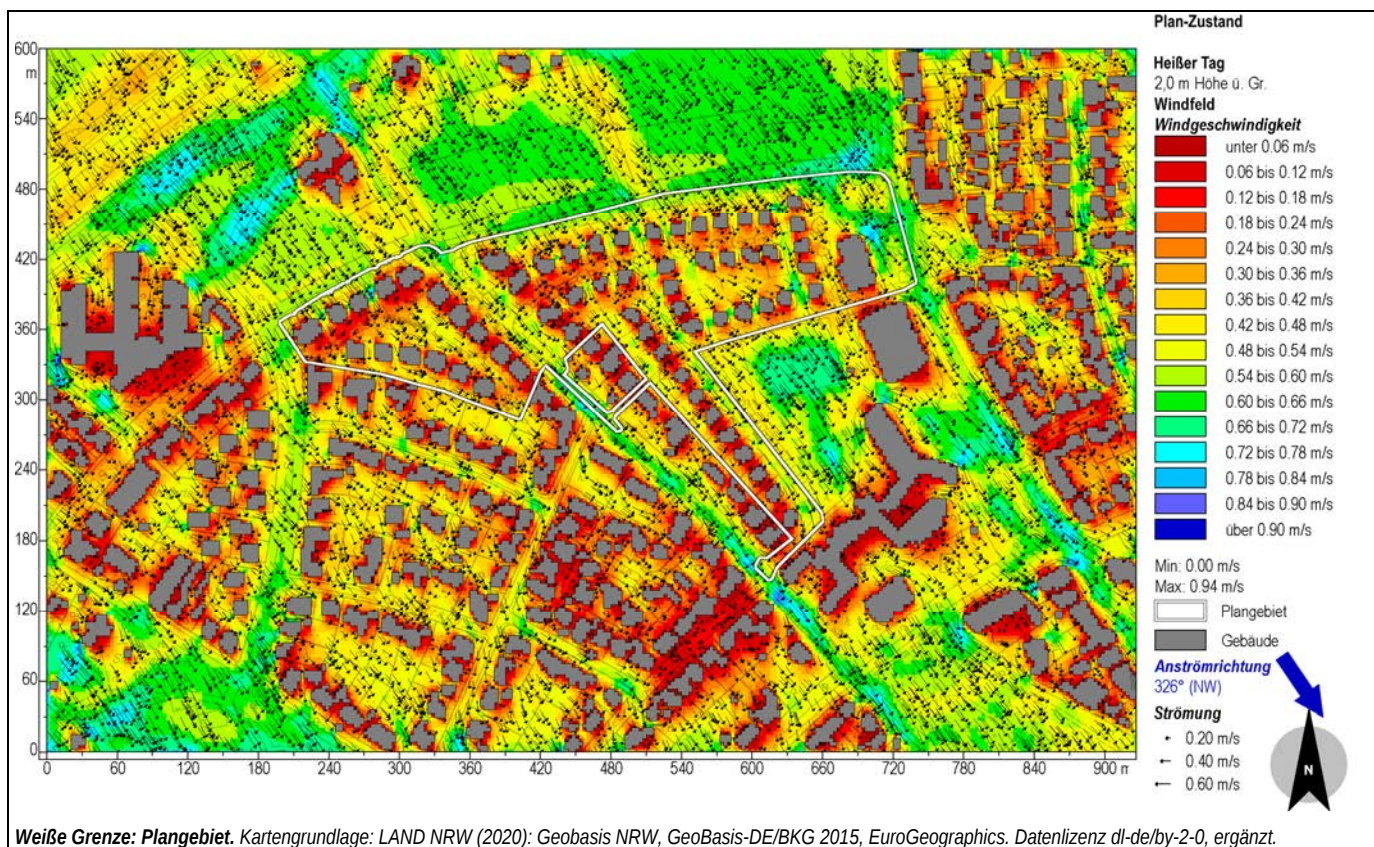


Abb. 25: Plangebiet W3: Windfeld in 2 m ü. Gr. eines heißen Tages für den Plan-Zustand.



Abb. 26: Plangebiet W3: Differenzen der Windgeschwindigkeit in 2 m ü. Gr. eines heißen Tages für den Plan-Zustand im Vergleich zum Ist-Zustand.

Im **Plan-Zustand** stellen die neuen Gebäude und Bäume erwartungsgemäß Strömungshindernisse dar. Im direkten Gebäudeumfeld sowie insbesondere an deren Leeseite sind lokale Reduktionen der Windgeschwindigkeit um bis zu 0,5 m/s zu beobachten. Hierbei handelt es sich um die leeseitigen, nach Süden ausgerichteten Störzonen (d. h. Windschatten) der einzelnen Gebäude. Mit zunehmender **Lagedichte** der neuen Gebäude nimmt die Reduktion des Austausches deutlich zu. Hierbei wirken die von West nach Ost verlaufenden Häuserzeilen im nördlichen Bereich als Strömungsriegel, die weitflächige Windschatten erzeugen. Die Gebäude im Südstrang sind entlang der Anströmrichtung orientiert. Hier ist lediglich auf der schmalen Spur der Häuserzeile die Durchlüftung zwischen den Gebäuden ausgesetzt. Der Windschatten dehnt sich jedoch nicht nach Westen oder Osten aus.

Auffällig bei den Veränderungen ist deren **geringe räumliche Reichweite**, die auf wenige zehner Meter beschränkt ist. Eine Fernwirkung auf die bestehende Wohnbebauung in der Nachbarschaft ist nicht festzustellen.

4.3 Thermische Behaglichkeit am Tage

Die thermische Behaglichkeit wird anhand des Wärmebelastungsindex Physiologischen Äquivalenttemperatur PET bewertet (Details siehe Anhang A3, S. 80)

Die thermischen Behaglichkeiten zur wärmsten Stunde des Tages (15 Uhr) für die Ist- und die Plan-Zustände sind in **Abb. 27** und **Abb. 28** sowie deren Unterschiede in **Abb. 29** dargestellt. In der Legende sind zu den PET-Temperaturen die verbalen Bezeichnungen der Behaglichkeitsklassen vermerkt.

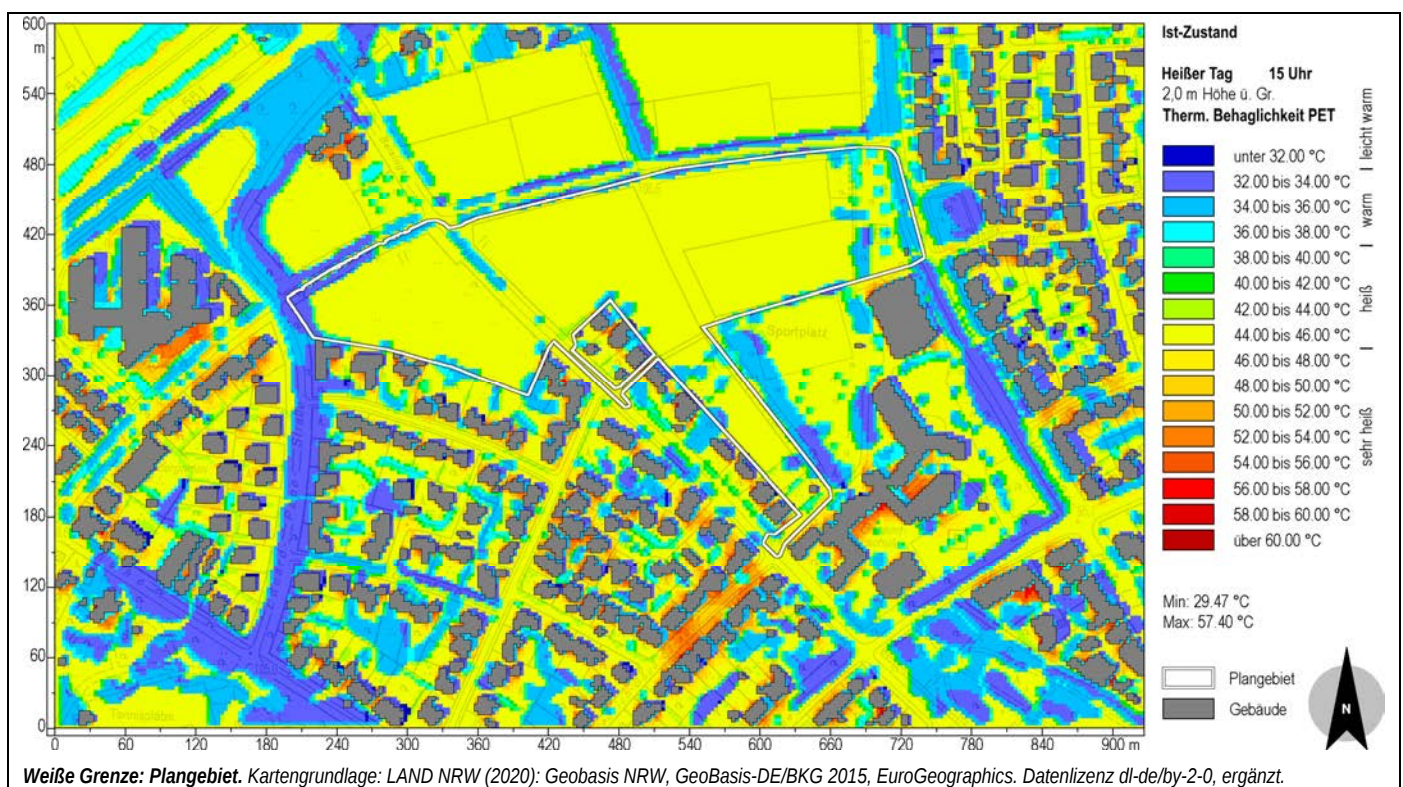


Abb. 27: Plangebiet W3: Thermische Behaglichkeit in 2 m ü. Gr. um 15 Uhr eines heißen Tages für den Ist-Zustand.

Prinzipiell gilt, dass entsprechend der Vorgabe eines klaren heißen Tages im Allgemeinen über allen unverschatteten Freiflächen *heiße* Bedingungen herrschen, die sich entweder im Bereich sonnenexponierter Gebäude verstärken oder im Bereich von Wald-, Baum- oder Gebäudeschatten abschwächen.

Im **Ist-Zustand** werden auf den größeren, unverschatteten **Freiflächen** PET-Werte von ca. 44 °C bis 46 °C PET und damit bereits *heiße* Bedingungen erreicht. Hierzu zählen primär die Landwirtschaftsflächen, der Schulhof sowie größere Hausgärten. Trotz der durch Verdunstung kühleren Böden überwiegt hier die direkte Sonneneinstrahlung auf den ganzen menschlichen Körper, sodass die Gefahr von Sonnenstichen hier sehr hoch ist.

Ein weiterer **Anstieg der Wärmebelastung** auf bis zu 50 °C PET erfolgt an den südlichen und westlichen Fassaden sonnenexponierter **Gebäude**, die nach einstrahlungsbedingter Aufheizung die Wärme in die Umgebung abstrahlen. Bei einzelnen, freistehenden Gebäuden reicht die Wärmeabstrahlung nur wenige Meter weit. Mit zunehmender Lagedichte der Gebäude wirkt sich die Wärmestrahlung auch bis in die Hausgärten aus. In versiegelten Straßen mit Randbebauung, die direkt zur Sonne ausgerichtet sind und daher vollständig besonnt werden, kommt es in Verbindung mit unzureichender Durchlüftung (Riegelbildung) stellenweise zu Hitzestau mit Werten > 54 °C PET (z. B. Gauß-Straße).

Deutlich **schwächere Wärmebelastungen** mit *warmen* Bedingungen finden sich in den Schattenzonen von Bäumen und Wäldern, z. B. Allee Eduard-Pape-Straße, Stadtgarten oder alter Friedhof. Im Schatten von Gebäuden ist die Wärmebelastung am geringsten.

Die Auswirkungen des **Planentwurfs** sind auf die nächste Umgebung begrenzt. Die anliegenden Wohngebiete sind nicht betroffen.

Dabei gilt prinzipiell: An ehemals besonnten Stellen, an denen sich nun neue Gebäude oder Bäume befinden, verbessert sich durch deren Schattenzonen die thermische Situation. Umgekehrt nimmt an den Stellen, die ehemals mit Bäumen bestanden waren und nun in der Sonne liegen, die thermische Belastung zu (z. B. neuer Nahversorgerparkplatz).

Die neuen Gebäude und Bäume schaffen an ihren Nord- bis Nordostseiten **Verschattungszonen** mit einer **günstigeren Belastungsstufe** (*warm*). Stellenweise mangelnder Baumbesatz in der nördlichen West-Ost-Erschließungsstraße führt in Gebäudenähe zu Überwärmung der Süd- und Westfassaden.

Wie beim Wind gilt auch hier, dass die Auswirkungen des Planentwurfs auf die nächste Umgebung beschränkt bleiben und die angrenzende Bestandsbebauung nicht beeinträchtigen.

[Fortsetzung Text auf S. 39.]

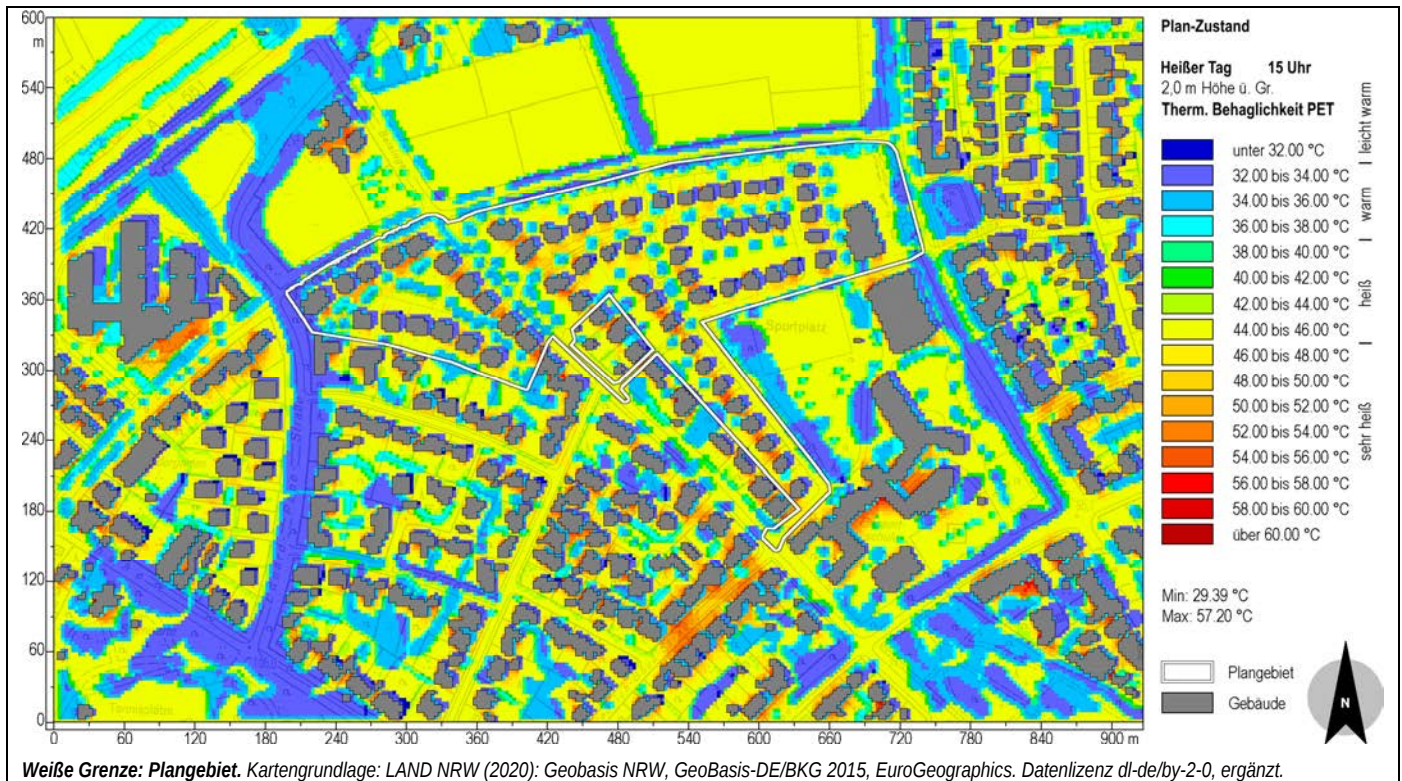


Abb. 28: Plangebiet W3: Thermische Behaglichkeit in 2 m ü. Gr. um 15 Uhr eines heißen Tages für den Plan-Zustand.



Abb. 29: Plangebiet W3: Differenzen der thermischen Behaglichkeit in 2 m ü. Gr. um 15 Uhr eines heißen Tages für den Plan-Zustand im Vergleich zum Ist-Zustand.

4.4 Nächtliche Lufttemperaturverhältnisse und thermische Behaglichkeit

Die Lufttemperaturen am Ende der Folgenacht eines heißen Tages um 5 Uhr sind für die Ist- und die Plan-Zustände in **Abb. 30** und **Abb. 31** sowie deren Unterschiede in **Abb. 32** dargestellt. Im gesamten Gebiet werden die Bedingungen einer **Tropennacht** erfüllt (Tiefsttemperatur > 20 °C).



Abb. 30: Plangebiet W3: Lufttemperatur in 2 m ü. Gr. um 5 Uhr eines heißen Tages für den Ist-Zustand.

Zunächst ist festzustellen, dass durch den, gemäß den meteorologischen Vorgaben, stetigen Zustrom warmer Luft in das Simulationsgebiet die Spannweite der Werte von 21,6 °C bis 22,8 °C (= 1,2 K) erwartungsgemäß gering ist. Dennoch treten flächennutzungsspezifische Unterschiede deutlich in Erscheinung.

In den bebauten und versiegelten Bereichen ist im **Ist-Zustand** eine Überwärmung > 22,6 °C erkennbar, welche Teile der sog. „städtischen **Wärmeinsel**“ darstellen. Die Überwärmung ist entlang der meisten Straßen und den dort anliegenden Gebäuden erkennbar. Besonders zeigt sich die Überwärmung auf dem Schulhof, der Gauß-Straße und dem Bereich südlich der Seniorenresidenz. Die Bau- und Versiegelungsmaterialien geben die am Tage durch Sonneneinstrahlung zugeführte und aufgespeicherte Wärme nachts im Vergleich zu unversiegelten Flächennutzungen nur verzögert und langsam an die Atmosphäre ab.

Im Bereich der Baumbestände (Friedhof) und größeren Hausgärten nimmt die Lufttemperatur bereits um ca. 0,5 K ab, und erreicht auf den großen Freiflächen die niedrigsten Werte, deren Minimum auf der zentral gelegenen Landwirtschaftsfläche erreicht wird (21,6 °C).

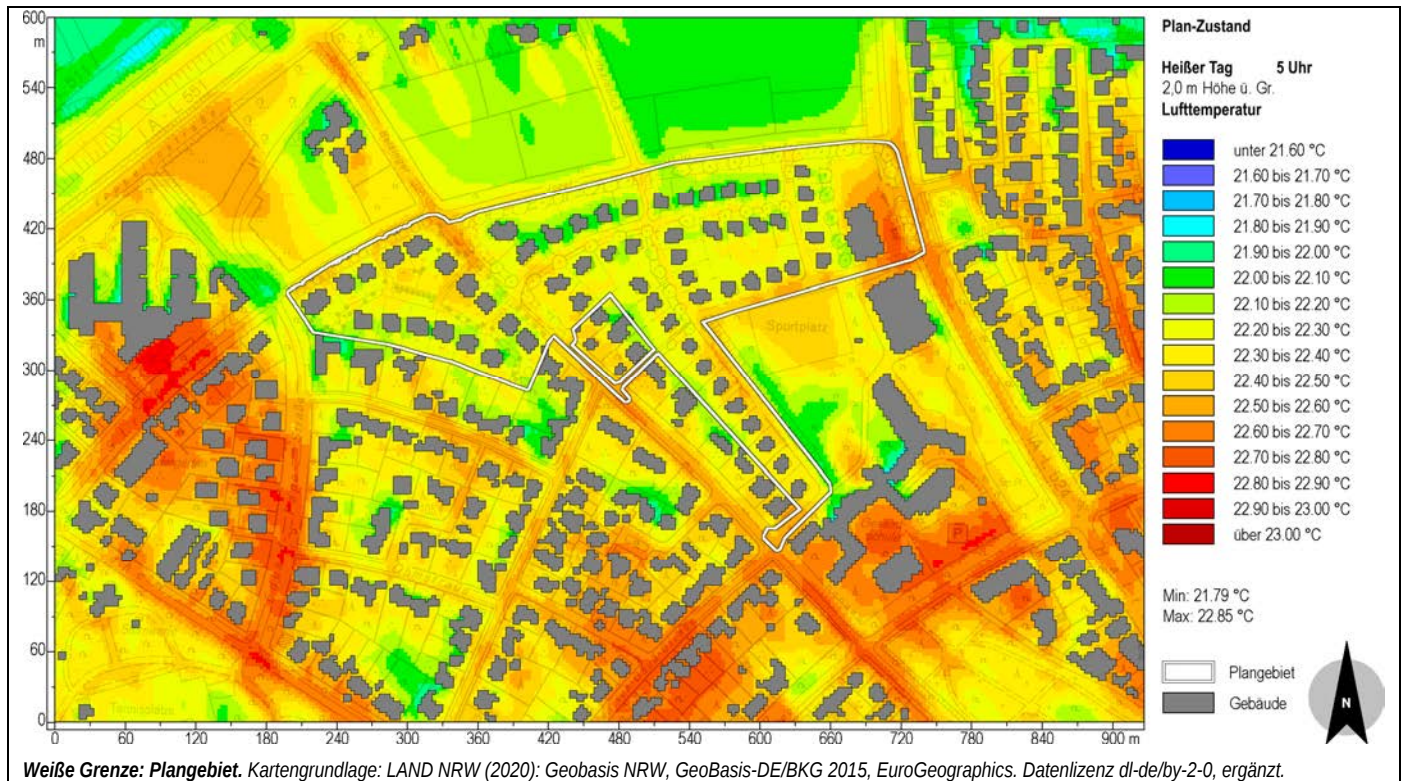


Abb. 31: Plangebiet W3: Lufttemperatur in 2 m ü. Gr. um 5 Uhr eines heißen Tages für den Plan-Zustand.



Abb. 32: Plangebiet W3: Differenzen der Lufttemperatur in 2 m ü. Gr. um 5 Uhr eines heißen Tages für den Plan-Zustand im Vergleich zum Ist-Zustand.

Für den **Plan-Zustand** ist in der näheren Umgebung der neuen Gebäude eine überwiegende leichte Erwärmung zu beobachten, die im nördlichen Bereich unter dem Einfluss des Windes noch sehr gering ist, am südlichen Ende jedoch bis zu 0,7 K beträgt. Von dieser Stelle aus breitet sich die Luft als Warmluftfahne nach Süden bis den Bereich der Schule aus, dringt dann aber nicht weiter in die Bebauung vor.

Die thermischen Behaglichkeiten sind nachts bezüglich eines Aufenthalts im Freien unkritisch, wie sich bereits zu Beginn der nächtlichen Abkühlung um 23 Uhr zeigt.

Die thermischen Behaglichkeiten für die Ist- und die Plan-Zustände sind in **Abb. 33** und **Abb. 34** sowie deren Unterschiede in **Abb. 35** dargestellt. In der Legende sind zu den PET-Temperaturen die verbalen Bezeichnungen der Behaglichkeitsklassen vermerkt.

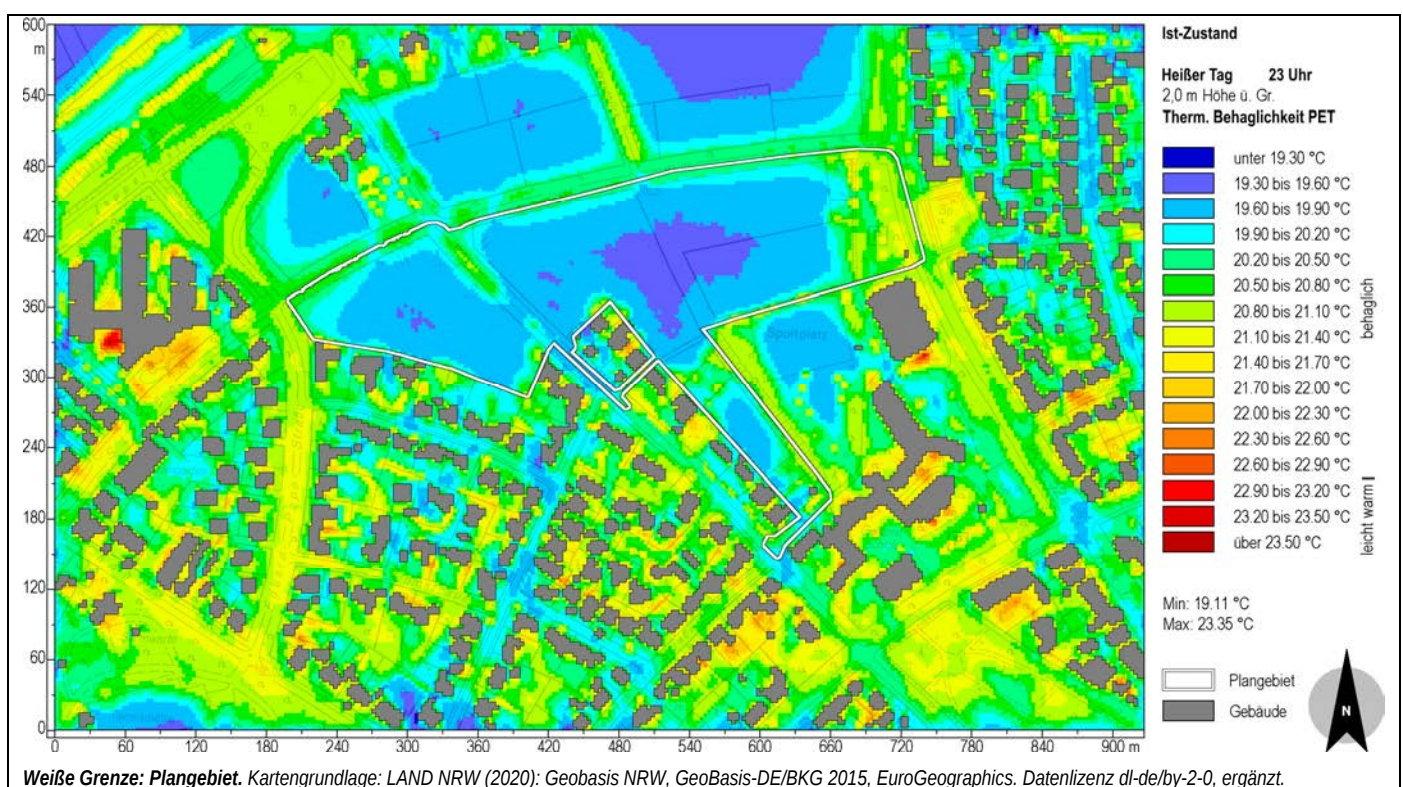


Abb. 33: Plangebiet W3: Thermische Behaglichkeit in 2 m ü. Gr. um 23 Uhr eines heißen Tages für den Ist-Zustand.

Im **Ist-Zustand** werden abgesehen von wenigen Hotspots mit *leicht warmen* Bedingungen ausschließlich *behagliche* Bedingungen beobachtet. Während die Landwirtschaftsflächen etwas niedrigere *behagliche* Bedingungen aufweisen, zeigen die Baumbestände etwas höhere *behagliche* Bedingungen. Ursache dieses bekannten Phänomens ist das „Stammraumklima“, bei dem die Baumkronen die Wärmeausstrahlung des Bodens in höhere Luftschichten verhindern, sodass es zum Wärmestau kommt.

Im Nahbereich vieler Gebäude, die nur langsam auskühlen, sind relativ höhere PET-Temperaturen mit *leicht warmer* Wirkung zu verzeichnen. Diese Hotspots befinden sich im versiegelten Straßenraum oder in windabgeschirmten Innenhöfen (z. B. Seniorenresidenz).

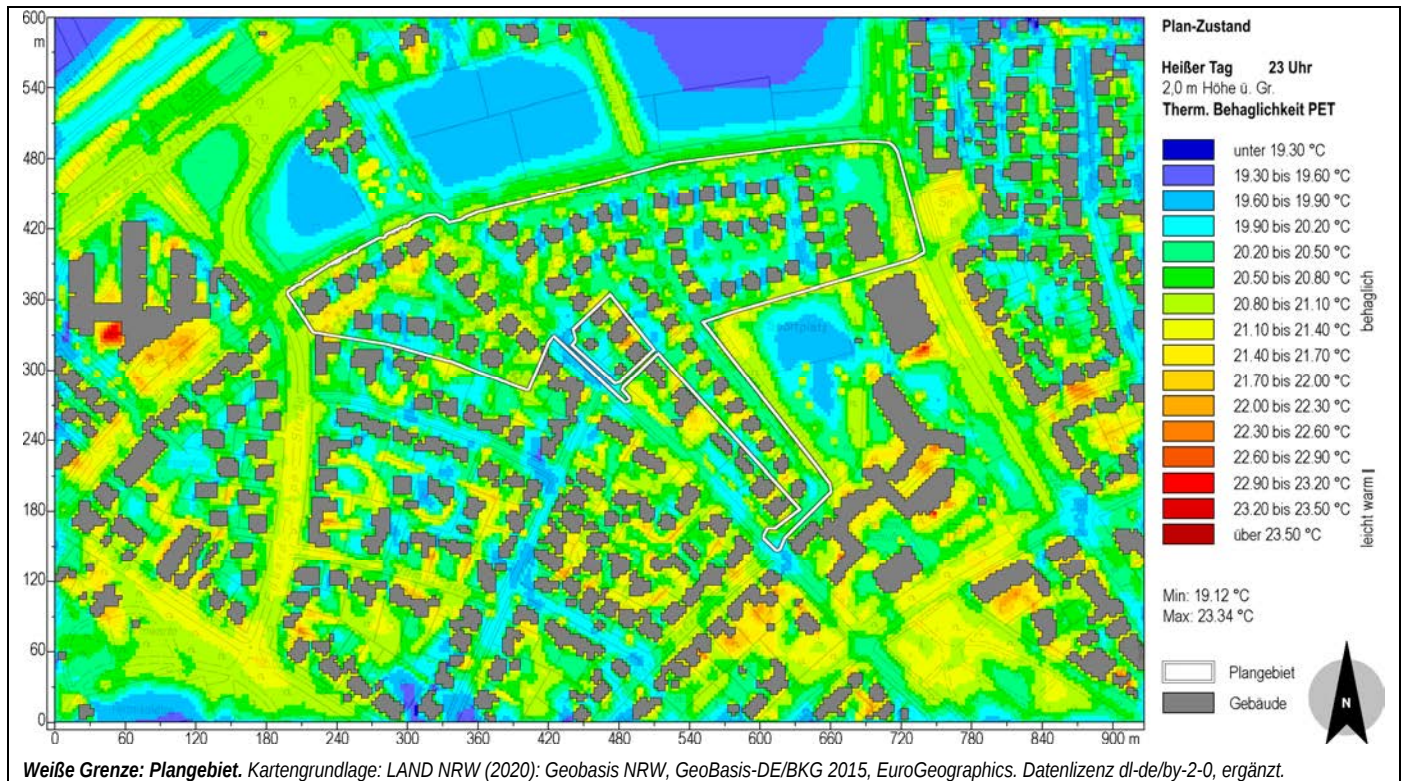


Abb. 34: Plangebiet W3: Thermische Behaglichkeit in 2 m ü. Gr. um 23 Uhr eines heißen Tages für den Plan-Zustand.

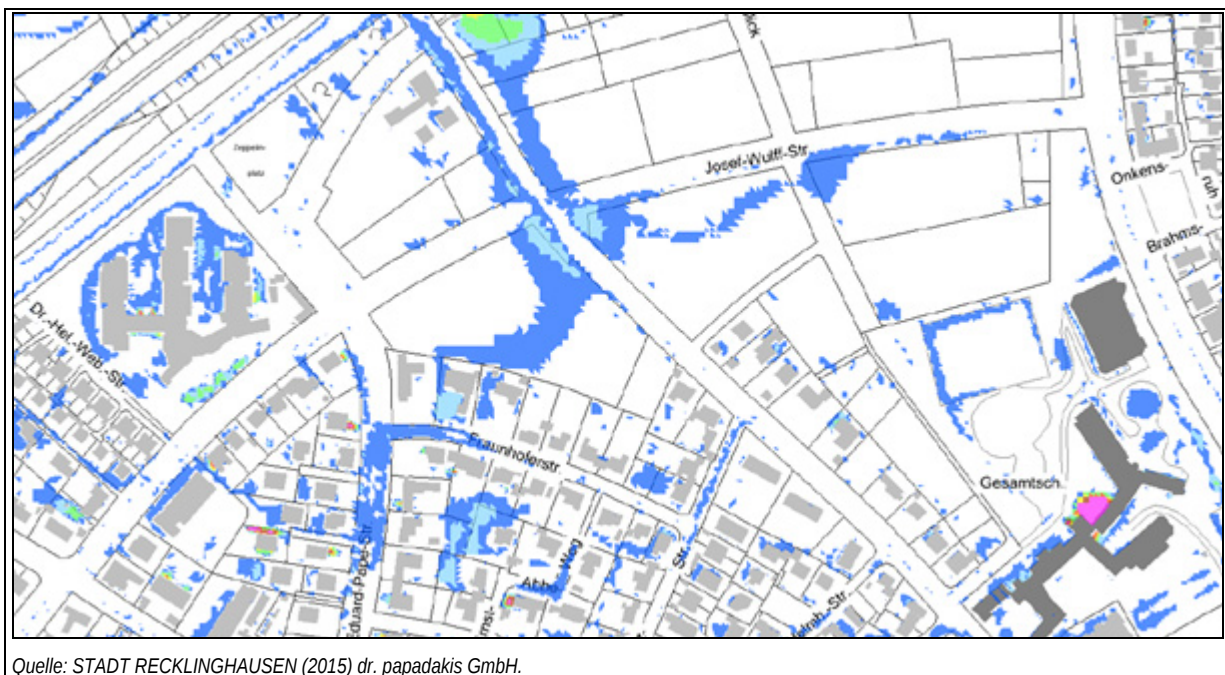


Abb. 35: Plangebiet W3: Differenzen der thermischen Behaglichkeit in 2 m ü. Gr. um 23 Uhr eines heißen Tages für den Plan-Zustand im Vergleich zum Ist-Zustand.

Der **Plan-Zustand** zeigt stellenweise eine Erhöhung der PET von bis zu 3,2 K, die auf die Wärmestrahlung der neuen Gebäude zurückzuführen ist. Die Effekte sind jedoch insofern ohne Wirkung, als mit der Erwärmung keine Wechsel der Behaglichkeitsstufen verbunden sind. Die Unterschiede sind in physiologischer Hinsicht fast nicht wahrnehmbar, da für den Wechsel zwischen den einzelnen Behaglichkeitsstufen (hier: von *behaglich* zu *leicht kühl* oder zu *leicht warm*) mindestens 5 K anstatt der hier ermittelten maximalen 3,2 K erforderlich wären (vgl. PET-Skala in Tab. A 2, S. 81).

Bezüglich der Starkregenbehandlung gibt die Stadt Recklinghausen folgende Hinweise:

Im nördlichen Teil der zur Bebauung anstehenden Fläche werden sich bei Starkregen bis zu 25 cm tiefe, in Teilen auch bis zu 50 cm tiefe Wasserflächen bilden (Abb. 36). Aufgrund des nach Norden hin abfallenden Geländes belasten diese Wässer nicht den Innenstadtbereich mit seinen gefährdeten Wallringen. Um die neue Bebauung zu schützen und den Abfluss nach Norden weiterhin zu ermöglichen, sind innerhalb des Baugebietes Wege / Gräben zu schaffen, bzw. diese Wasserwege zu steuern. Gleichzeitig beabsichtigt die Stadt langfristig die Regenwasserabkopplung des Neubaugebietes der Eduard-Pape-Straße, der Bebauung der Dr.-Helene-Weber-Straße und der Seniorenresidenz an der Josef-Wulff-Straße, jeweils über neu zu schaffende Gräben Richtung Mollbeck-Teiche. Beide Ableitungssysteme können und sollten in Höhe der Zeppelinstraße zusammengeführt werden.



Quelle: STADT RECKLINGHAUSEN (2015) dr. papadakis GmbH.

Abb. 36: Plangebiet W3: Auszug der Starkregengefahrenkarte.

4.5 Empfehlungen für die weitere Planung

Da eine Wirkung des Plangebietes auf die Nachbarschaft nicht gegeben ist, stellt sich als größtes Problem die gebietsinterne regelbedingte Durchlüftungsreduktion durch die von West nach Ost orientierten Häuserzeilen dar. Eine Bebauung mit weniger Durchlüftungsreduktion ist dennoch möglich, wenn die Lageausrichtung der neuen Gebäude und Bäume angepasst wird. Einen Vorschlag dazu enthält das unverbindliche Anordnungsschema in **Abb. 37**, wo die Baufelder in parallel zur Anströmrichtung orientieren Streifen angelegt wer-

den, die mindesten 30 m auseinander liegen. Bäume sollten als Reihen in gleicher Ausrichtung angelegt werden, idealerweise in Nähe der Süd- und Westfassaden von Gebäuden.

Gegen Überwärmung sollten umfangreiche Schutzmaßnahmen ergriffen werden.



Abb. 37: Plangebiet W3: Empfehlung zur Lageorientierung von Gebäuden und Bäumen (schematisch).

Maßnahmenvorschläge:

Hinweis: Die geklammerten Kennziffern verweisen auf die Maßnahmennummern des *Kataloges der Maßnahmensteckbriefe zur Klimaanpassung* (KPLAN 2017) in Recklinghausen.

Primär:

1. Durchlüftungsverbesserung: **Lageorientierung** von Häuserzeilen entlang der **Kaltluftfließrichtung** (S1, S4, G3)
2. Durchlüftungsverbesserung: ausreichender **Abstand** zwischen Häuserzeilen (mindestens 30 m) (S1, S4, G3)
3. Durchlüftungsverbesserung: **Bäume** nur am **Rand** von Abstandsgrünflächen, **Lageorientierung** von Baumreihen entlang der **Kaltluftfließrichtung** (S1, S4)
4. Hitzeschutz: **Gebäudedämmung** nach GEG-/EnEV-2020-Standard, **helle Fassaden-** und auch **helle Dachfarben** (G4, G5)
5. Hitzeschutz: **Dachbegrünungen** (G1)

6. Hitzeschutz: Verkehrswege und -flächen oder Parkplätze mit **porösen** oder **hellen Oberflächen** (Rasengittersteine, heller Kies, heller poröser Asphalt) (Q9)
7. Luftreinhaltung: **keine holzbasierten** oder andere **staublastigen Feuerungsanlagen** (Heizungen, Kamine)
8. Luftreinhaltung: **keine Durchgangsstraßen**

Langfristig:

11. Hitzeschutz: **Verschattung** aller sonnenexponierten Süd- bis Westfassaden von **Neubauten** mit **großkronigen Bäumen** (Q4, G4, G6)
12. Hitzeschutz: bis die Bäume die notwendige Höhe/Größe erreicht haben: ergänzende **Fassadenbegrünungen** (G2)

Sekundär:

13. Verbesserung der verdunstungswirksamen Bodenwasserbevorratung durch die Anlage von unversiegelten Flächen, Mulden, Rigolen und anderen Wasserspeichern (Q11, Q13, Q14, Q15, G8)

Details zur Wirkung der Maßnahmen siehe Kapitel 9 (S. 64) oder KPLAN (2017).

5 Plangebiet GH – Sonderstandort Gesundheitswirtschaft *Landwehr*

5.1 Ausgangslage

Der Sonderstandort Gesundheitswirtschaft (GH) in der Liegenschaft Landwehr wird dem Freilandklimatop zugeordnet. Die Kuppenlage bedingt eine relativ geringe Abkühlung in den Nachtstunden. Sie ist bei windschwachen Hochdruckwetterlagen in den Sommermonaten deutlich wärmer als ihr Umfeld. Es herrscht insgesamt ein reliefbedingter Wärmeinseleffekt, allerdings mit einer günstigen Belüftungssituation. Bei windschwachen Strahlungswetterlagen ist laut Klimaanalyse (RVR 2011) vermutlich ein Abfließen der auf der Ackerfläche gebildeten Kaltluftmassen in Richtung der südöstlichen Wohnsiedlung möglich, sodass es dort zu einer Abkühlung der Luftmassen kommen könnte. Bei westlicher Anströmung soll das Areal zur Belüftung des Krankenhausgeländes beitragen. Durch die Nähe zur Autobahn werden auch belastete Luftmassen transportiert. In der Klimaanpassungskarte (KPLAN 2017) ist die Fläche als Entstehungsfläche einer Luftleitbahn gekennzeichnet.

Für das Plangebiet sind die zu erwartenden Auswirkungen einer Bebauung bzw. großflächigen Versiegelung auf der Fläche und den angrenzenden Gebieten im Vergleich zum Status-Quo unter Berücksichtigung der lufthygienischen Situation des Standortes zu erfassen und zu beschreiben sowie die Aktualität der standortbezogenen Aussagen der Klimaanalyse des RVR (2012) zu bewerten.

5.2 Klimatische Analyse

Aufgrund der höhenexponierten Lage, der Baumfreiheit und der Weitläufigkeit des Freilandareals (350 m x 600 m) werden die Austauschverhältnisse als sehr gut eingestuft, auch wenn die jahresmittlere Windgeschwindigkeit in der Klimaanalyse mit 1,9 m/s in 4 m ü. Gr. angegeben wird (RVR 2011). Laut Klimaatlas NRW (LANUV 2020) hingegen herrschen hier innerhalb des Stadtgebietes die höchsten mittleren langjährigen Windgeschwindigkeiten von 4,1 ms in 10 m ü. Gr. vor (**Abb. 38**). Diese Angabe ist plausibel.

Aufgrund fehlender Verschattungselemente wird an den Tagstunden klarer heißer Tage die Wärmebelastung höchste Belastungsstufen erreichen, da hier die direkte Sonneneinstrahlung allzeit auf den ganzen menschlichen Körper trifft, sodass die Gefahr von Sonnenstichen hier sehr hoch ist. Selbst kühlere Lufttemperaturen würden die Wärmebelastung nicht schwächen.

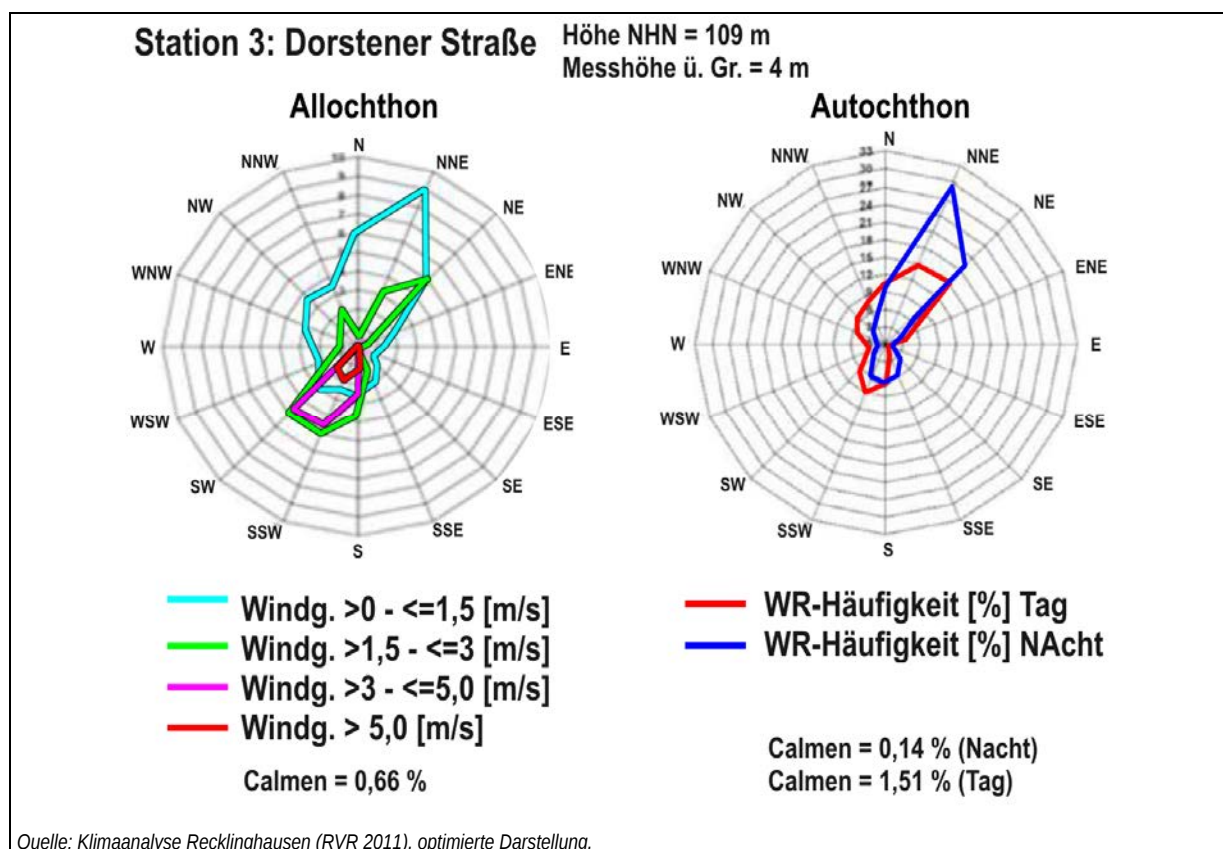
In Strahlungsnächten liegt das Areal in der warmen Kuppenlage. Dennoch hat die Freifläche allein aufgrund ihrer Flächengröße das Potenzial zu Kaltluftbildung, die aus dem ausgeprägten Relief abfließen kann.

Die Aussage der Klimaanalyse, dass insbesondere bei westlicher Anströmung der östliche Siedlungsbereich einschließlich Krankenhaus gut durchlüftet, aber gleichzeitig durch die Verkehrsemissionen der Autobahn und Landesstraße beeinträchtigt wird, verliert insofern an Relevanz, als diese Anströmrichtung sowohl bei allochthoner als auch autochthoner Witterung äußerst selten auftritt (**Abb. 39**). Stattdessen dominieren südwestliche und nordöstliche Winde. Da insbesondere in Strahlungsnächten die Nordostwinde dominieren, erscheint daher auch der im Klimaanpassungskonzept (KPLAN 2017) deklarierte westliche Kaltluftzufluss (vgl. Abb. 3, S. 5) nicht plausibel. In Verbindung mit dem lokalen Relief (**Abb. 40**) ist ein nördlicher Kaltluftabfluss wahrscheinlicher. Als potenzieller Wirkraum mit sensibler Nutzung gilt dann lediglich die südlich gelegene Kleinsiedlung Auf der Höhe / Hochlartalweg.



Quelle: LANUV NRW (2020): Klimaatlas NRW, Herausgeber: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW unter Verwendung von Daten des Deutschen Wetterdienstes und Land NRW.

Abb. 38: Plangebiet GH: Mittlere Windverhältnisse in 10 m. ü. Gr. im Konzeptgebiet.



Quelle: Klimaanalyse Recklinghausen (RVR 2011), optimierte Darstellung.

Abb. 39: Plangebiet GH: Windverhältnisse in 4 m ü. Gr. im Plangebiet GH während allochthoner und autochthoner Witterung.

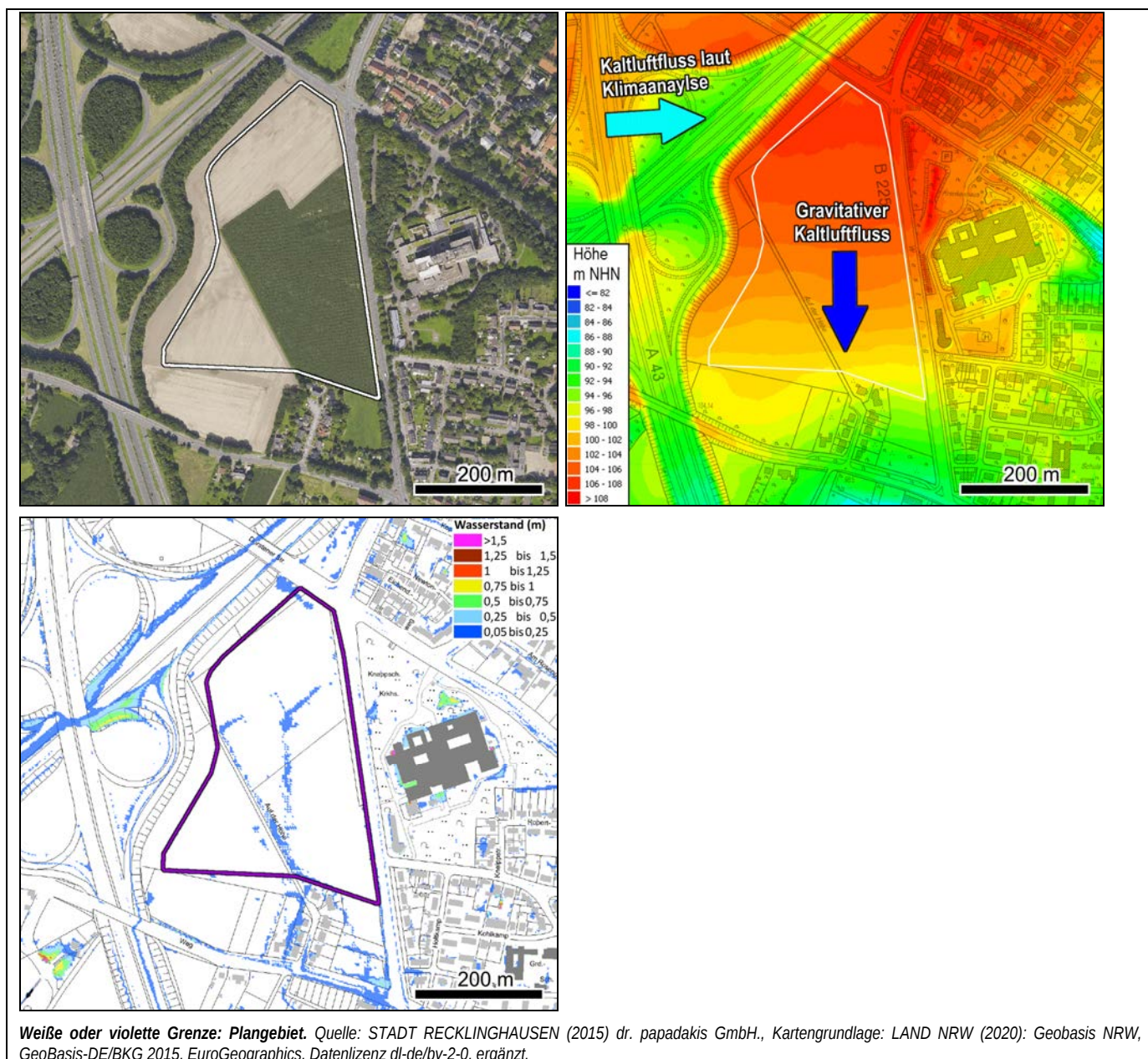


Abb. 40: Plangebiet GH: Landnutzung (o.l.), Relief und Kaltluftflüsse (o.r.) sowie Starkregensituation (u.l.).

Bezüglich der Luftqualität liefert der Luftreinhalteplan *Ruhrgebiet 2011 – Teilplan Nord* (BZ MÜNSTER 2011) keine Hinweise auf eine örtliche Spurenstoffproblematik, wobei darauf hinzuweisen ist, dass die dortige Datenlage mehr als zehn Jahre alt ist und daher nicht mehr aktuell sein dürfte. Das Emissionskataster Luft NRW (LANUV NRW 2020) weist für das nicht mehr aktuelle Jahr 2013 lediglich die Autobahn als starke Spurenstoffquelle für Stickoxide und Feinstäube aus. In Anbetracht der hauptsächlich südwestlichen und nordöstlichen Anströmrichtungen wird für das Plangebiet und die östliche Siedlung die Zusatzbelastung mit diesen Spurenstoffen eher gering eingeschätzt.

Bezüglich einer Starkregengefährdung weist das Plangebiet relativ eng abgegrenzte Senken mit geringen Stauhöhen < 0,5 m auf, die nach Süden in die Kleinsiedlung Auf der Höhe / Hochlartalweg entwässern.

5.3 Empfehlungen für die Planung

Da eine direkte klimatische Wirkung auf die östliche Siedlung einschließlich Krankenhaus nicht gegeben ist, konzentriert sich die klimagerechte Gestaltung einer potenziellen Bebauung auf die Wirkung innerhalb des Gebietes.

Aufgrund der südwestlichen und nordöstlichen Hauptwindrichtungen und den wichtigen strahlungs nächtlichen nördlichen Kaltluftflüssen empfiehlt sich eine an diesen Richtungen parallel angeordnete Bauwerkanordnung (**Abb. 41**). Nach diesem unverbindlichen Anordnungsschema sollten die Baufelder in Nord-Süd-Richtung angeordnet werden und dabei einen Mindestabstand von 30 m für eine effektive Durchlüftung haben. Bäume sollten als Reihen in gleicher Ausrichtung angelegt werden, idealerweise in Nähe der Süd- und Westfassaden von Gebäuden.

Die Höhe der neuen Gebäude spielt eine untergeordnete Rolle, solange die Anordnung zur Windrichtung befolgt und die angrenzende Bebauung nicht übermäßig verschattet wird.



Abb. 41: Plangebiet GH: Empfehlungen zur Lageorientierung von Gebäuden und Bäumen (schematisch).

Eine großflächige Versiegelung würde die lokale Produktion von Kaltluft vermutlich unterbinden. Davon beeinträchtigt wäre die südliche Kleinsiedlung Auf der Höhe / Hochlartalweg, nicht jedoch der östliche Siedlungsbereich.

Ob eine Großversiegelung zur Erhöhung des thermischen Niveaus beitragen wird, hängt von deren Ausgestaltung ab. Gegenüber dem Ist-Zustand werden durch die Ansiedlung von neuen Gebäuden und Bäumen Schattenzonen geschaffen, in denen die Wärmebelastung

auf jeden Fall deutlich niedriger sein wird. Der Aufheizung von Gebäuden kann durch geeignete Maßnahmen (s. u.) vorgebeugt werden. Größere Flächen sollten durch Bäume verschattet werden (z. B. bei Parkplätzen oder anderen Verkehrsflächen). Größere Grünflächen sollten mit Bäumen im Verteilungsmuster des Savannentyps ausgestattet werden.

Ferner können poröse, verdunstungsaktive Oberflächen wie Rasengittersteine, Fugenpflaster oder heller Kies sowie helle und poröse Asphaltarten einer Aufheizung entgegen wirken.

Eine offene Versickerung des Niederschlages sowie deren Speicherung in Mulden oder Rigolen sind zu favorisieren, um eine Lufttemperatur senkende Verdunstung zu gewährleisten.

Hinsichtlich des Starkregenschutzes müssten die Senken aufgefüllt werden. Gleichzeitig sind Wasserumleitungswege anzulegen, die optimalerweise nach Süden und westlich der Kleinsiedlung Auf der Höhe / Hochlartalweg abfließen. Da der Boden laut Aussage der Stadt Recklinghausen nur begrenzt versickerungsfähig ist, sollten bei der Neugestaltung des Areals ferner Regenwasser stauende und Abfluss verzögernde Maßnahmen wie z. B. Rückhaltebecken, Rigolen oder flächenhafte Dachbegrünungen zum Einsatz kommen.

Bezüglich der Luftqualität sollte das westliche Gehölz erhalten bleiben.

Gegen Überwärmung im Gebäudeumfeld sollten umfangreiche Schutzmaßnahmen ergriffen werden.

Maßnahmenvorschläge:

Hinweis: Die geklammerten Kennziffern verweisen auf die Maßnahmennummern des *Kataloges der Maßnahmensteckbriefe zur Klimaanpassung* (KPLAN 2017) in Recklinghausen.

Primär:

1. Durchlüftung: **Lageorientierung** von Häuserzeilen entlang der **Kaltluftfließrichtung** (S1, S4)
2. Durchlüftung: ausreichender **Abstand** zwischen Häuserzeilen (mindestens 30 m) (S1, S4, G3)
3. Durchlüftung: **Bäume** nur am **Rand** von Abstandsgrünflächen, **Lageorientierung** von Baumreihen entlang der **Kaltluftfließrichtung** (S1, S4)
4. Hitzeschutz: **Gebäudedämmung** nach GEG-/EnEV-2020-Standard, **helle Fassaden-** und auch **helle Dachfarben** (G4, G5)
5. Hitzeschutz: **Dachbegrünungen** (G1)
6. Hitzeschutz: Verkehrswege und -flächen oder Parkplätze mit **porösen** oder **hellen Oberflächen** (Rasengittersteine, heller Kies, heller poröser Asphalt) (Q9)
7. Luftreinhaltung: **keine immissionsintensive Nutzung, keine holzbasierten** oder andere **staublastigen Feuerungsanlagen** (Heizungen, Kamine)
8. Luftreinhaltung: **keine Durchgangsstraßen**

Langfristig:

14. Hitzeschutz: **Verschattung** aller sonnenexponierten Süd- bis Westfassaden von **Neubauten** mit **großkronigen Bäumen** (Q4, G4, G6)
15. Hitzeschutz: bis die Bäume die notwendige Höhe/Größe erreicht haben: ergänzende **Fassadenbegrünungen** (G2)

Sekundär:

16. Verbesserung der verdunstungswirksamen Bodenwasserbevorratung durch die Anlage von unversiegelten Flächen, Mulden, Rigolen und anderen Wasserspeichern (Q11, Q13, Q14, Q15, G8)

Details zur Wirkung der Maßnahmen siehe Kapitel 9 (S. 64) oder KPLAN (2017).

6 G19 – Gewerbepotenzialfläche *Ludwig-Erhard-Allee*

6.1 Ausgangslage

Die Potenzialfläche Gewerbe G19 (**Abb. 42**) soll im Zuge der Änderung des Flächennutzungsplanes Nr. 9 „Ossenbergweg“ eine geänderte Flächendarstellung bekommen. Bisher war sie als Fläche für gemischte Baufläche dargestellt. Zukünftig wird sie als gewerbliche Baufläche dargestellt werden.

Der nach § 2 Abs. 4 BauGB erstellte Umweltbericht kommt zu der Einschätzung, dass die Änderungen des Flächennutzungsplanes für die reale Situation einen erheblichen Eingriff in das Schutzgut Klima und Luft darstellt. Eine Bebauung in diesem Bereich bedeutet den Verlust von wertvollen Grün- und Waldstrukturen und bringt erhöhte Versiegelungsgrade mit sich. Dies könnte negative Auswirkungen auf die Luftleitbahn entlang der Bahnlinie haben und soll im Klimagutachten verbal-argumentativ beurteilt werden, um eine Planungsempfehlung auszusprechen.

Im Umweltbericht wird als eine alternative Planungsmöglichkeit die Darstellung als Waldfläche im Flächennutzungsplan genannt. Das Straßenbegleitgrün für die in den letzten Jahren in dem Gebiet neu entstandene Ludwig-Erhard-Allee ist in Planung.

6.2 Klimatische Analyse

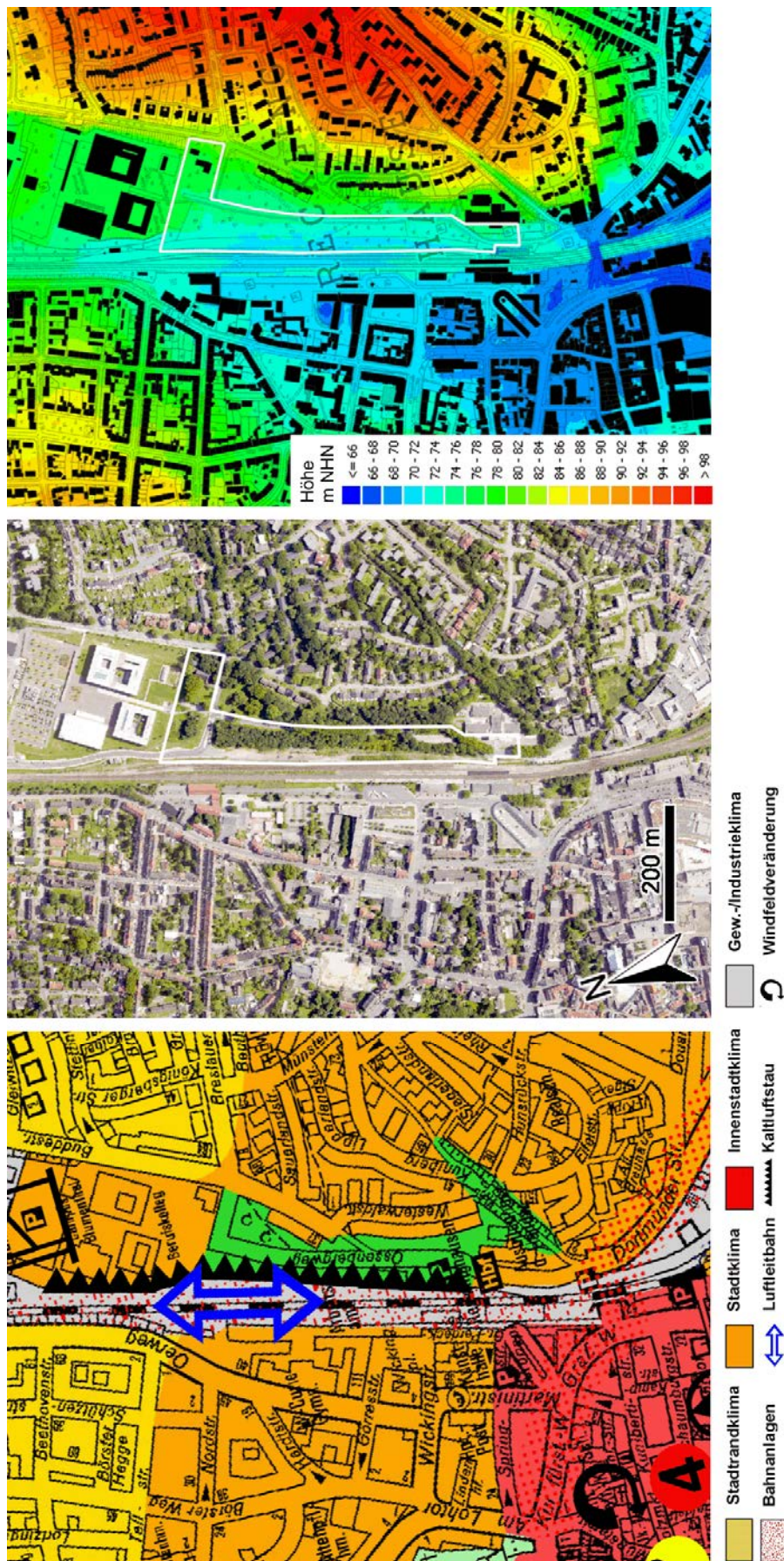
Die Klimaanalyse (RVR 2011) trifft zur Ventilationsfunktion der Bahntrasse widersprüchliche Aussagen:

Einerseits soll die Bahntrasse eine wichtige Luftleitfunktion besitzen (s. Klimaanalyse S. 156), über die frische und kühlere Luftmassen aus den Ausgleichsräumen v. a. nördlich von Recklinghausen bis in die Randbereiche des Stadtzentrums gelangen und dort die bioklimatische Situation begünstigen sollen (S. 166). Gleichzeitig soll die Bahntrasse die Klimate der Innenstadt und der östlich angrenzenden Bebauung trennen (S. 150). Oberstes Ziel soll daher der Schutz und Erhalt der Luftleitbahn sein (S. 166).

Andererseits ist angeblich aufgrund der geringen Breite der Bahntrasse und des Vorhandenseins von Bahndämmen an einigen Stellen die Wirksamkeit in die angrenzenden Flächen hinein zum Teil eingeschränkt (S. 150), bzw. eine Fernwirkung bis in die Fußgängerzone aufgrund der dichten Randbebauung weitgehend ausgeschlossen (S. 160). Zudem sollen der erhöhte Bahndamm sowie die dichte Bepflanzung im östlichen Abschnitt der Bahntrasse eine Frischluftzufuhr nach Osten weitgehend verhindern (S. 166).

Die topografische Analyse des Reliefs und der Flächennutzung (**Abb. 42**) bestätigt die Nichtfunktion der Bahntrasse. Während die Innenstadt durch Gebäudefronten gegen Kaltluftzuflüsse abgeriegelt ist, würde die östliche, überwiegend auf einer Anhöhe gelegene Wohnsiedlung auch bei Fehlen des Plangebietswaldes abgesehen von den unteren Hanglagen nicht über die Bahntrasse ventiliert werden, da die Kaltluft nicht die Hänge hinauffließen kann. Ferner ist in der Klimafunktionskarte die Ostseite der Bahntrasse als Kaltluftstaubereich dargestellt, nicht jedoch die Westseite, wo jedoch der Staubereich aufgrund der Häuserfront und des weiter nach Westen abfallenden Geländes noch offensichtlicher wäre. Ein Bahndamm als mögliches Stauelement ist in Reliefkarte ebenfalls nicht erkennbar.

Es handelt sich bei der Bahntrasse somit um eine Frischluftbahn ohne Wirkgebiete von sensibler Nutzung.



Weisse Grenze: Plangebiet. Quellen: RVR 2011, Luftbildquelle: Stadt Recklinghausen, 2020, Geobasis NRW, GeoBasis-DE/BKG 2015, EuroGeographics. Datenlizenz dl-de/by-2.0.

Abb. 42: Plangebiet G19: Klimatope und Relief.

Diese Befunde bedeuten für das Plangebiet, dass der dortige Wald als Bestandteil des Randes der Bahntrasse zwar zur dortigen Luftverbesserung beitragen kann, allerdings ebenfalls ohne Fernwirkung in die angrenzenden Bebauungsstrukturen. Das bedeutet, dass der Wald des Plangebietes zur Erfüllung seiner klimatischen Wohlfahrtsfunktion aktiv aufgesucht werden müsste. Inwiefern diese Funktion von planerischer Relevanz ist, hängt von den Anwohnern ab und wäre noch abzuwägen.

Bezüglich der Starkregenbehandlung gibt die Stadt Recklinghausen folgende Hinweise:

Laut Starkregengefahrenkarte werden sich hier im Ereignisfall Wasserstände bis zu 1,0 m Tiefe bilden (Abb. 43). Das digitale Geländemodell, auf dem die Berechnung basiert, konnte die Ludwig-Erhard-Allee jedoch nicht abbilden, da der Bau erst später erfolgte. Es ist daher sehr wahrscheinlich, dass sich die tatsächlichen Wasserstände anders (und vermutlich auch negativer) darstellen. Hier ist vor weiteren Betrachtungen die Starkregenkarte in jedem Fall mit den neuen Geländehöhen und Berechnungen zu ergänzen. Die Ergebnisse sind in der weiteren Bebauungsplanung zu berücksichtigen.

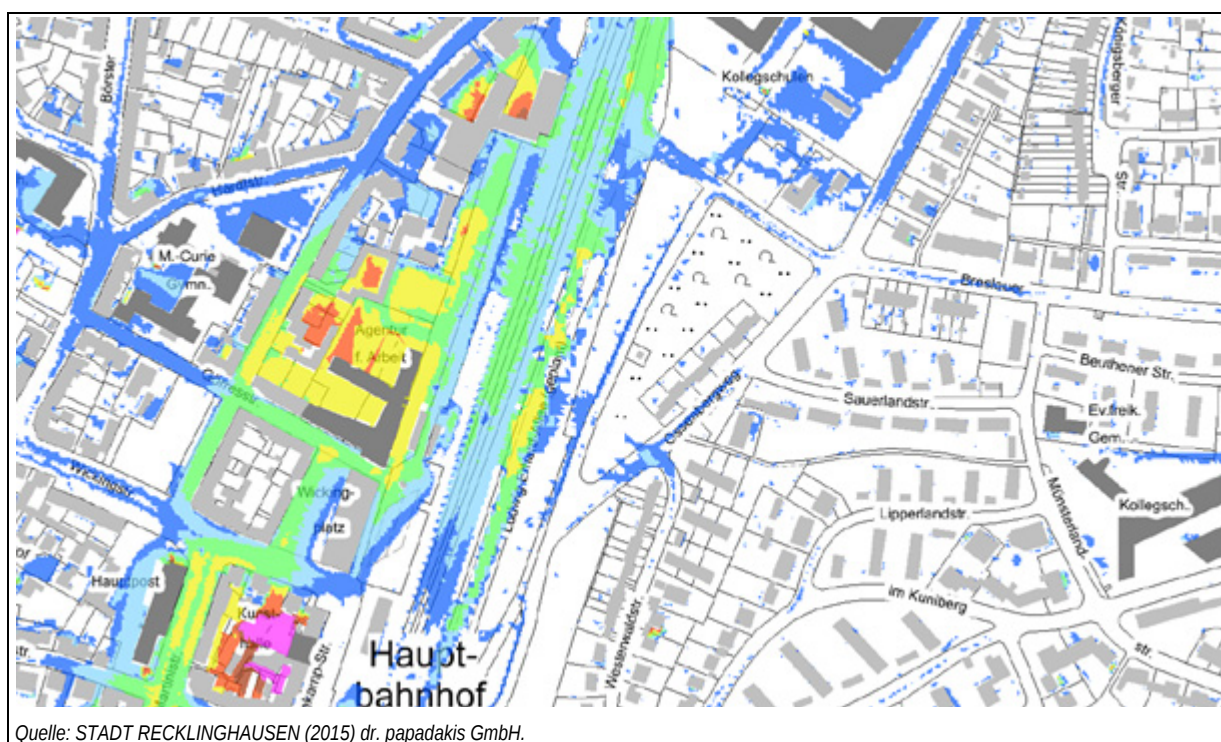


Abb. 43: Plangebiet G19: Auszug der Starkregengefahrenkarte.

6.3 Empfehlungen für die weitere Planung

Sofern auf die ausschließlich lokale Erholungsfunktion des Waldes im Plangebiet verzichtet werden kann, ist eine Bebauung ohne Beeinträchtigung der heutigen Ventilationsfunktion der Bahntrasse möglich. Hierzu können die Strömungsriegel bildenden Bäume des Waldes durch vergleichbar hohe Gebäude ersetzt werden. Bei einer geschätzten Baumhöhe von ca. 13 m bis 16 m entspricht das ungefähr vier bis fünf Geschossen.

Gegen Überwärmung im Gebäudeumfeld sollten umfangreiche Schutzmaßnahmen ergriffen werden.

Maßnahmenvorschläge:

Hinweis: Die geklammerten Kennziffern verweisen auf die Maßnahmennummern des *Kataloges der Maßnahmensteckbriefe zur Klimaanpassung* (KPLAN 2017) in Recklinghausen.

Primär:

1. Durchlüftung: **Lageorientierung** der Häuserzeile entlang der **Bahntrasse** (S1)
2. Durchlüftung: **Bäume** nur am **Rand der** Häuserzeile (S1)
3. Hitzeschutz: **Gebäudedämmung** nach GEG-/EnEV-2020-Standard, **helle Fassaden-** und auch **helle Dachfarben** (G4, G5)
4. Hitzeschutz: **Dachbegrünungen** (G1)
5. Hitzeschutz: Verkehrswege und -flächen oder Parkplätze mit **porösen** oder **hellen Oberflächen** (Rasengittersteine, heller Kies, heller poröser Asphalt) (Q9)
6. Luftreinhaltung: **keine immissionsintensive Nutzung, keine holzbasierten** oder andere **staublastigen Feuerungsanlagen** (Heizungen, Kamine)
7. Luftreinhaltung: **keine Durchgangsstraßen**

Langfristig:

17. Hitzeschutz: **Verschattung** aller sonnenexponierten Süd- bis Westfassaden von **Neubauten** mit **großkronigen Bäumen** (Q4, G4, G6)
18. Hitzeschutz: bis die Bäume die notwendige Höhe/Größe erreicht haben: ergänzende **Fassadenbegrünungen** (G2)

Sekundär:

19. Verbesserung der verdunstungswirksamen Bodenwasserbevorratung durch die Anlage von unversiegelten Flächen, Mulden, Rigolen und anderen Wasserspeichern (Q11, Q13, Q14, Q15, G8)

Details zur Wirkung der Maßnahmen siehe Kapitel 9 (S. 64) oder KPLAN (2017).

7 Plangebiet NV + SP – Nachverdichtungsgebiete Cäcilienhöhe/ Beisinger Weg (NV) und Sportplatz Cäcilienhöhe (SP)

7.1 Ausgangslage

Der für eine Nachverdichtung für den Wohnungsbau in Frage kommende Bereich im Bereich Cäcilienhöhe/Beisinger Weg (NV) ist zwischen den Wohnpotenzialflächen Beisinger Weg, Dorstener Straße und Cäcilienhöhe zu verorten (**Abb. 44**). Er wird umgrenzt von der Cäcilienhöhe, Beisinger Weg, Heinrich-Hertz-Straße und Eduard-Pape-Straße. Ausgenommen ist der Geltungsbereich des Bebauungsplanes Nr. 19/1 – Helmholtzstraße. Dieses Gebiet ist bereits nachverdichtet.



Blaue Grenze: Plangebiet. Gelber Rahmen: Ausschnitt aus der Modellierung des Plangebietes W3, siehe Abb. 45.

Luftbild: Stadt Recklinghausen, 2020, Datenquelle: Geobasis NRW, GeoBasis-DE/BKG 2015, EuroGeographics. Datenlizenz dl-de/by-2-0.

Abb. 44: Plangebiete NV + SP: Bestehende Gebäude- und Vegetationsstruktur (oben) und potenzielle Nachverdichtung (unten).

Der Siedlungsbereich ist durch Wohnnutzung, überwiegend in Ein- und Zweifamilienhäusern mit großen Gartengrundstücken, geprägt. Entlang der Cäcilienhöhe gibt es auch einzelne Mehrfamilienhäuser. Die städtebauliche Dichte ist relativ gering. Der Eindruck einer gewissen Großzügigkeit macht heute die besondere Qualität des Viertels aus. Gleichzeitig kann auf den einzelnen, relativ großen Grundstücken potenziell eine Nachverdichtung erfolgen. Die Entwicklung des Bereichs soll gesteuert werden, z. B. durch punktuelle Nachverdichtung. Ziel ist es die vorhandenen Qualitäten zu erhalten und zeitgemäß nachhaltig zu entwickeln (Bestandssicherung).

Südlich angrenzend an diesen Bereich liegt der ehemalige Sportplatz *Cäcilienhöhe* (S) an der Straße „Auf dem Kleinen Garten“. Es handelt sich um einen Ascheplatz. Auch diese Fläche kommt dann für eine mögliche Nachverdichtung in Betracht.

Es sollen auf Grundlage der zur Verfügung stehenden Unterlagen zum Stadtklima von Recklinghausen Aussagen zu Klimafunktionen (Hitze/Starkregen) und Planungshinweisen erarbeitet werden.

7.2 Klimatische Analyse

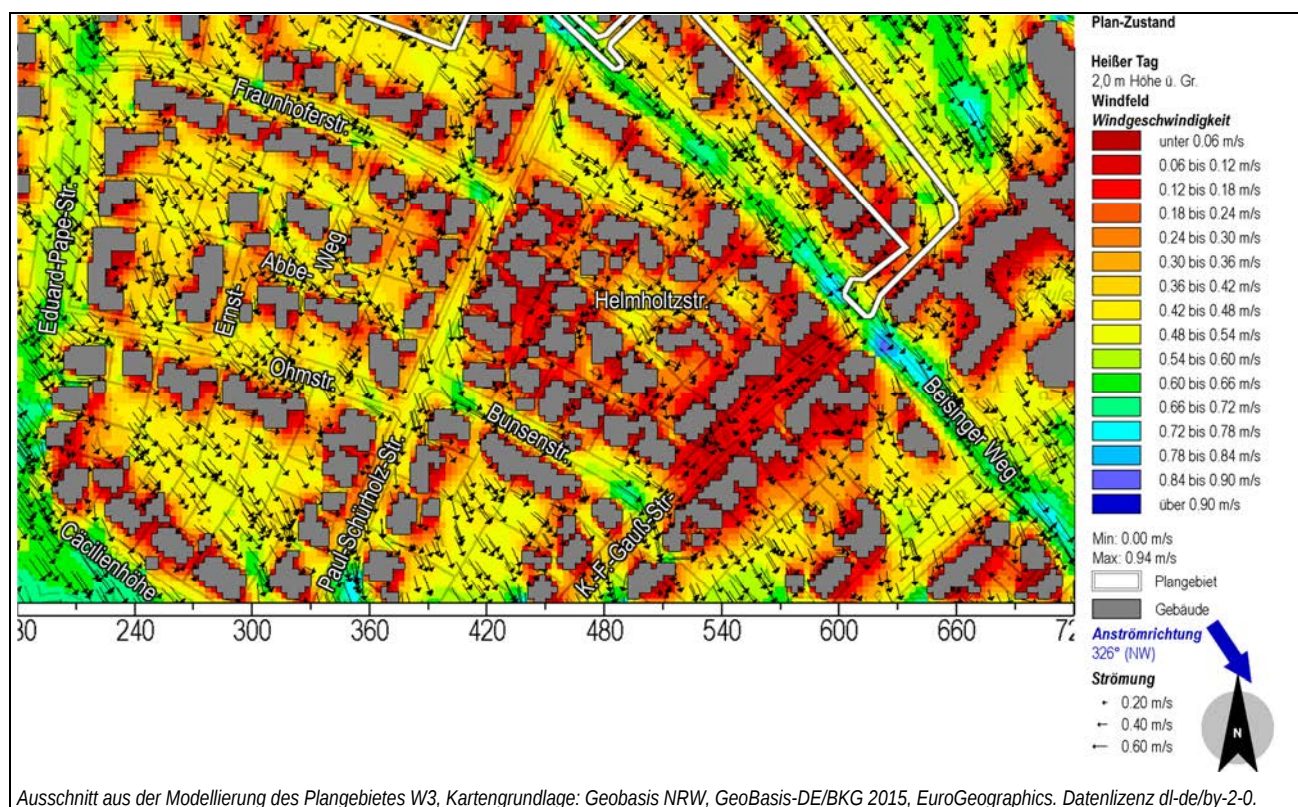
Der Plangebietsbereich zeichnet sich durch großzügig durchgrünte Wohnbebauung aus Einfamilienhäusern, Doppelhäusern und einigen Mehrfamilienhäusern aus, die größtenteils sehr große Gärten mit einem hohen Baumanteil aufweisen. Bis auf die an den Straßen gelegenen Häuser sind die Gärten weitgehend frei von Bebauung. Klimatisch handelt es sich laut Klimaanalyse (RVR 2011) um ein klimatisch günstiges Stadtrandklimatop mit nur schwacher Überwärmungsneigung, ausreichendem Luftaustausch und meist gutem thermischen Komfort. Die Modellrechnungen für das Plangebiet W3 zeigen im Randbereich Ausschnitte des hiesigen Planbereichs und bestätigen die relativ gute Durchlüftung (**Abb. 45**) und den durch Baumschatten bedingten, guten thermischen Komfort (**Abb. 46**), z. B. im Areal zwischen Fraunhoferstraße, Paul-Schürholz-Straße, Cäcilienhöhe und Eduard-Pape-Straße.

Gleichzeitig zeigen die Darstellungen anhand des Areals Helmholtzstraße die klimatischen Grenzen einer übermäßigen Nachverdichtung auf. Da die Gebäude hier i. d. R. weniger als 10 Meter bis teilweise nur sechs Meter auseinander liegen, kommt erstens die Durchlüftung vollständig zum Erliegen, und zweitens nimmt der Hitzestau zwischen den Häusern im Vergleich zur Nachbarschaft deutlich zu.

Um die Nachteile einer Überverdichtung zu vermeiden, sollten daher im Plangebiet im Falle einer zusätzlichen Bebauung minimale Abstände zwischen den Häusern eingehalten werden. Die Häuser am Ernst-Abbe-Weg können als Beispiel für eine gelungene Nachverdichtung dienen. Bei Gebäudeabständen von ca. 20 m bleiben die positiven Eigenschaften des Stadtrandklimas erhalten.

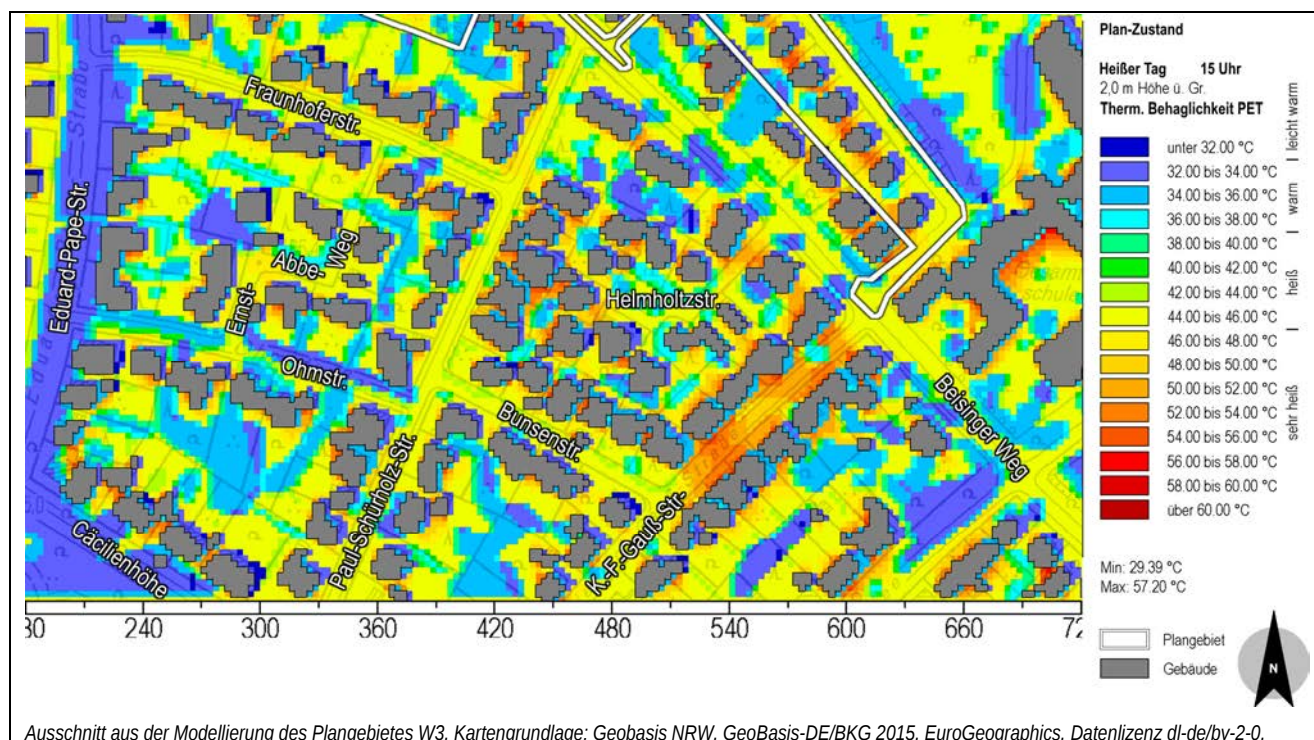
Daher wurde für die Gartenblöcke zunächst ein äußerer, 20 m breiter Saum definiert, der die eigentlichen Nachverdichtungsgebiete räumlich eingrenzt (**Abb. 44** unten, gelbe Zonen). Unter Zugrundelegung von hier typischen Gebäudegrundrissen zwischen ca. 15 m x 10 m bis ca. 20 m x 15 m ergeben sich die in der Abbildung ebenfalls dargestellten Nachverdichtungsstandorte (pink). Das gleiche Prinzip wurde auch für den Sportplatz angewendet. Dadurch ergibt sich dort das größte Nachverdichtungspotenzial von bis zu 11 Gebäuden.

Die neuen Gebäude in den Gärten würden dort i. d. R. alten und hohen Baumbestand ersetzen. Hinsichtlich der Durchlüftung wäre das kein Problem, wenn die neuen Gebäude nicht höher wären als der Strömungsriegel bildende Baumbestand sowie die umliegende Bebauung, d. h. maximal drei bis vereinzelt vier Geschosse bzw. ca. 10 m bis ca. 13 m Höhe.



Ausschnitt aus der Modellierung des Plangebietes W3, Kartengrundlage: Geobasis NRW, GeoBasis-DE/BKG 2015, EuroGeographics. Datenlizenz dl-de/by-2.0.

Abb. 45: Plangebiet NV (Ausschnitt): Windfeld eines heißen Tages.



Ausschnitt aus der Modellierung des Plangebietes W3, Kartengrundlage: Geobasis NRW, GeoBasis-DE/BKG 2015, EuroGeographics. Datenlizenz dl-de/by-2.0.

Abb. 46: Plangebiet NV (Ausschnitt): Thermische Behaglichkeit eines heißen Tages.

Problematisch könnte die Aufheizungstendenz der neuen Gebäude werden, wenn diese nicht konsequent wärmegeschützt werden, siehe nachfolgendes Unterkapitel.

Bezüglich einer Starkregengefährdung weist das Plangebiet nur wenige abflusslose Senken mit geringen Stauhöhen $< 0,5$ m auf (**Abb. 47**). Markante größere Fließwege bzw. Abflussbahnen sind nicht vorhanden. Handlungsbedarf besteht daher nur für die Nachverdichtungsstandorte an den im Bild gekennzeichneten Positionen A und B, wo die Senken vor einer Bebauung aufgefüllt werden sollten.

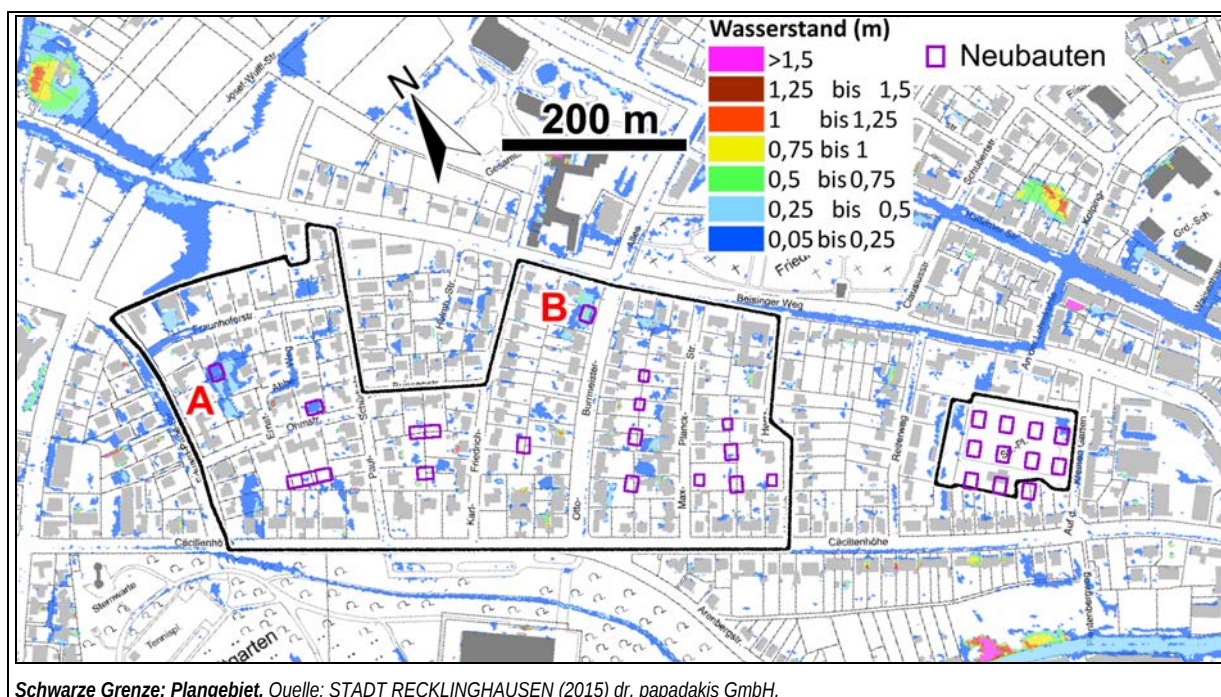


Abb. 47: Plangebiete NV + SP: Auszug der Starkregengefahrenkarte.

Die Stadt Recklinghausen weist darauf hin, dass das Auffüllen der Senken zu einer zusätzlichen Belastung der Unterlieger führen könnte, insbesondere bei den besonders gefährdeten Wallringen. Daher sollten andere Lösungen der Retention realisiert werden, welche das Wasser im Baugebiet zurückhalten können. Dabei sollen insbesondere die Planungen zur Regenwasserabkopplung des Stadtgartens berücksichtigt werden: Die künftigen Retentionsräume des Hohlweges sind darauf ausgelegt, langfristig die gesamten versiegelten Flächen (künftige und bestehende) der Gebiete zwischen Cäcilienhöhe und Beisinger Weg aufzunehmen.

7.3 Empfehlungen für die weitere Planung

Maßnahmenvorschläge:

Hinweis: Die geklammerten Kennziffern verweisen auf die Maßnahmennummern des *Kataloges der Maßnahmensteckbriefe zur Klimaanpassung* (KPLAN 2017) in Recklinghausen.

Primär:

1. Durchlüftung und Hitzeschutz: **Abstand** zu Bestandgebäuden und zwischen Neubebäuden von mindestens 20 Metern (G3)
2. Durchlüftung: **Lageorientierung** von Häuserzeilen auf Sportplatz entlang der **Kaltluftfließrichtung** (G3)
3. Hitzeschutz: **Gebäudedämmung** nach GEG-/EnEV-2020-Standard, **helle Fassaden-** und auch **helle Dachfarben** (G4, G5)
4. Hitzeschutz: **Dachbegrünungen** (G1)
5. Hitzeschutz: Verkehrswege und -flächen oder Parkplätze mit **porösen** oder **hellen Oberflächen** (Rasengittersteine, heller Kies, heller poröser Asphalt) (Q9)
6. Starkregenschutz: gefährdete Senken bei Neubauen einebnen oder aufschütten
7. Luftreinhaltung: **keine immissionsintensive Nutzung, keine holzbasierten** oder andere **staublastigen Feuerungsanlagen** (Heizungen, Kamine)
8. Luftreinhaltung: **keine Durchgangsstraßen**

Langfristig:

20. Hitzeschutz: **Verschattung** aller sonnenexponierten Süd- bis Westfassaden von **Neubauten** mit **großkronigen Bäumen** (Q4, G4, G6)
21. Hitzeschutz: bis die Bäume die notwendige Höhe/Größe erreicht haben: ergänzende **Fassadenbegrünungen** (G2)

Sekundär:

22. Verbesserung der verdunstungswirksamen Bodenwasserbevorratung durch die Anlage von unversiegelten Flächen, Mulden, Rigolen und anderen Wasserspeichern (Q11, Q13, Q14, Q15, G8)

Details zur Wirkung der Maßnahmen siehe Kapitel 9 (S. 64) oder KPLAN (2017).

8 Ergebnissynthese

Die in der Klimaanalyse Recklinghausen (RVR 2011) und im Klimaanpassungskonzept (KPLAN 2017) dargelegten Ventilationsfunktionsflächen des nördlichen Stadtgebietes haben bei näherer Betrachtung zwar lokal Gültigkeit, allerdings ist nicht davon auszugehen, dass bei ausschließlich **lokalen** Kaltluftprozessen ein *durchgehender* bodennaher Kaltlufttransport vom Umland bis zum Stadtkern stattfindet.

Ursache der fehlenden Ventilationsfunktion für *lokale, bodennahe* Winde ist die Gebietskammerung des nördlichen Stadtbereichs. Es besteht aus einem dichten Mosaik aus dominierender gleichförmiger geringgeschossiger Wohnbebauung, einigen Wäldern und Parks sowie peripheren Freilandflächen bei gleichzeitigem Fehlen markanter hoher Strömungshindernisse wie z. B. Hochaussiedlungen oder Hochbauten von Großindustrien. Strömungsmechanisch bilden daher die Siedlungsbereiche und Wälder des Konzeptgebietes eine weitgehend uniforme und gleichhohe Hindernisschicht.

Allerdings fehlen auch markante Ventilationsbahnen von mindestens mehreren zehner Metern Breite, die durchgehend vom Umland bis an den Siedlungskern heranreichen und damit die bodennahe Ventilation begünstigen würden. Hier haben die schmalen Ausfallstraßen (z. B. Dorstener Straße) oder die schmale Bahntrasse nur eine begrenzte klimatische Wirkung.

Die im Untersuchungsraum liegenden Freiflächen sind bezogen auf *lokale* Kaltluftprozesse relativ klein, sodass mit nur schwachen lokalen Kaltluftströmen zu rechnen ist, deren vertikale Mächtigkeit zu niedrig ist, um bodennah weit in die Bebauung oder Wälder und Parks einzudringen. Dieses haben auch die hiesigen Ergebnisse für die Plangebiete W2 und W3a+b gezeigt. Auch die Untersuchung „Dorstener Straße“ (SIMUPLAN 2019) zeigte bei geringem Kaltluftzufluss über die schmale Ausfallstraße Dorstener Straße und über den Stadtgarten nur eine begrenzte Reichweite des Kaltluftflusses ohne Fernwirkung für den weiträumigeren Siedlungsbereich.

Die Relevanz der *lokalen* Kaltluft zur Belüftung der Bebauung dürfte daher eher für die an die lokalen Kaltluftproduktionsflächen direkt angrenzenden Bebauungen gegeben sein. Eine effiziente Kaltluftversorgung des Innenstadtbereichs wird vermutlich nicht weiträumig, sondern höchstens punktuell stattfinden.

Eine effektive Ventilation größerer Gebietsbereiche wäre nur beim Zustrom **regionaler** Kaltluft oder während allochthoner Witterung möglich, wo die Windfelder ausreichend hohe Geschwindigkeiten und vertikale Mächtigkeiten haben, um entweder im Bodenniveau tiefer als die lokale Kaltluft in die Bebauung einzudringen oder über die Bebauung, Wälder und Parks hinwegzuströmen, sofern diese nicht allzu hoch sind.

Im diesem Sinne sollten die in den o. g. Arbeiten deklarierten Ventilationsflächen verstanden werden.

Unter diesen Bedingungen ist die **Relevanz lokaler Kaltluftprozesse** jedoch sehr **gering**, weil die stetig von außen zugeführte Kaltluft die lokale Kaltluft ersetzen kann und die Kaltluftversorgung lokal gewährleistet.

Diese Befunde bedeuten für die hier untersuchten fünf **Plangebiete**, dass durch die Gebietskammerung die einzelnen Planflächen

- günstigstenfalls klimatisch nur auf die eigene unmittelbare Nachbarschaft wirken,
- keine klimatische Wechselwirkung untereinander aufweisen,
- keine klimatische Wirkung auf größere Gebietsbereiche einschließlich Innenstadtbereich haben.

Die meisten Plangebiete und ihre nähere Umgebung weisen ein für Siedlungsräume sehr gutes Bioklima der Stadtrand- und Vorstadtklimatope auf. Die Ansiedlung von Wohnbebauung in den Plangebieten

- W2 – Griegstraße
- W3a + W3b – Josef-Wulff-Straße
- NV + SP – Cäcilienhöhe/Beisinger Weg und Sportplatz Cäcilienhöhe

dürfte klimatisch daher kein Problem darstellen, da die Nutzungsstruktur identisch ist. Jedoch sollten folgende Aspekte bei der Planung berücksichtigt werden¹:

- Häuser sollten **zeilenförmig** parallel zur **Windrichtung** der Kaltluftströme ausgerichtet werden (S1, S4, G3).
- **Gebäudehöhen** sollten die Höhe der Bestandbebauung und Baumbestände nicht überschreiten.
- **Gebäudeabstände** sollten großzügig bemessen sein (Empfehlung mindestens 30 m bei Neubaugebieten bzw. 20 m in Nachverdichtungsgebieten, vgl. auch Negativbeispiel Helmholtzstraße in Kapitel 7.2) (S1, G3).
- Gebäude sollten konsequent gegen **Aufheizung** geschützt werden (G4, G5).
- Es sollte ein hoher **Baumanteil** angestrebt werden.

Diese Bedingungen gelten prinzipiell auch für die Plangebiete G19 (Gewerbepotenzialfläche) und den Sonderstandort Gesundheitswirtschaft (GH).

Folgende Aspekte sollten ferner berücksichtigt werden:

- Durchlüftungsverbesserung: **Bäume** nur am **Rand** von Abstandsgrünflächen, **Lageorientierung** von Baumreihen entlang der **Kaltluftfließrichtung** (S1, S4, G3)
- Hitzeschutz: **Gebäudedämmung** nach GEG-/EnEV-2020-Standard, **helle Fassaden**- und auch **helle Dachfarben** (G4, G5)
- Hitzeschutz: **Dachbegrünungen** (G1)
- Hitzeschutz: Verkehrswege und -flächen oder Parkplätze mit **porösen** oder **hellen Oberflächen** (Rasengittersteine, heller Kies, heller poröser Asphalt) (Q9)
- Luftreinhaltung: **keine holzbasierten** oder andere **staublastigen Feuerungsanlagen** (Heizungen, Kamine)
- Luftreinhaltung: **Keine Durchgangsstraßen**

Langfristig:

- Hitzeschutz: **Verschattung** aller sonnenexponierten Süd- bis Westfassaden von **Neubauten mit großkronigen Bäumen** (Q4, G4, G6)

¹ Die geklammerten Kennziffern verweisen auf die Maßnahmennummern des *Kataloges der Maßnahmensteckbriefe zur Klimaanpassung* (KPLAN 2017) in Recklinghausen.

- Hitzeschutz: bis die Bäume die notwendige Höhe/Größe erreicht haben: ergänzende **Fassadenbegrünungen** (G2)

Weitere Maßnahmen:

- Verbesserung der verdunstungswirksamen Bodenwasserbevorratung durch die Anlage von unversiegelten Flächen, Mulden, Rigolen und anderen Wasserspeichern (Q11, Q13, Q14, Q15, G8)

Details zur Wirkung der Maßnahmen siehe folgendes Kapitel 9 oder KPLAN (2017).

Bei allen hier untersuchten Planvorhaben ist eine maßvolle Bebauung aus klimatisch-lufthygienischer Sicht unkritisch, wenn die jeweiligen Maßnahmenempfehlungen befolgt werden.

9 Allgemeine Empfehlungen zu Anpassungsmaßnahmen

Für klimagerechte Quartiergestaltungen gibt es zahlreiche Maßnahmenvorschläge für unterschiedliche räumliche Maßstabsebenen, die zur Minderung des Hitzestresses in der Stadt in Hinblick auf den Klimawandel sowie zur Verbesserung der Durchlüftungsverhältnisse besonders geeignet sind und im Rahmen einer detaillierten Anpassungsuntersuchung für das Ruhrgebiet im „Handbuch Stadtklima“ (MUNLV 2010) empfohlen wurden. Diese Maßnahmen sind auch im *Katalog der Maßnahmensteckbriefe zur Klimaanpassung* (KPLAN 2017) für Recklinghausen beschrieben.

9.1 Übersicht

Eine Maßnahmenübersicht enthält nachstehende Liste sowie **Tab. 4**. Einige Maßnahmenanwendungen sind in **Abb. 48** exemplarisch skizziert.

Hinweis: Die geklammerten Kennziffern verweisen auf die Maßnahmennummern des *Kataloges der Maßnahmensteckbriefe zur Klimaanpassung* (KPLAN 2017) in Recklinghausen.

Bauwerksanordnung

- Eine zu den jeweiligen **Hauptwindrichtungen parallele Gebäudeausrichtung** ist zu empfehlen, um die Durchlüftung und damit den Wärmeabtransport zu verbessern (S1, S4).
- Entlang der jeweiligen Anströmrichtungen sollten einige **Belüftungskorridore** von mindestens 20 Meter Breite in Form von Grünflächen des Savannentyps freigehalten werden (S1, S3, S4, Q4, Q6).
- Die Bildung quer zur Windrichtung liegender Gebäude (**Strömungsriegel**) ist zu vermeiden (S1, S4, G3).
- Bei Blockrandbebauung oder geschlossenen Innenhöfen kann die Belüftung durch breite und mehrgeschossige Gebäudedurchlässe verbessert werden.

Fassaden

- Großflächige **sonnenexponierte Fassaden** (Südost- Süd- und Südwestfassaden) sollten durch Bäume oder Fassadenbegrünung verschattet werden, um Gebäude vor **Aufheizung** zu schützen (Q4, Q7, G2, G4).
(Für Nordfassaden ist dies aufgrund fehlender Sonneneinstrahlung nicht zwingend erforderlich.)
- Bei der Fassadengestaltung sind **helle Farbtöne** zu bevorzugen, um Überwärmungseffekte zu vermeiden. Gleiches gilt für **Dächer**.
- In **engen Straßenräumen** sind Fassadenbegrünungen gegenüber Baumpflanzungen aus Gründen der Belüftung zu bevorzugen (G2).
- Neubauten: Schatten spendende **Arkadengänge** in sonnenexponierten Fassaden.

Dächer

- Für flache oder gering geneigte Dächer sollten **Dachbegrünungen** (G1) favorisiert werden. Gründe:
 - Verbesserung des Gebäudeinnenklimas
 - Förderung der Regenrückhaltung
 - Verbesserung des Lokalklimas durch Verdunstungseffekte
(nachrangig bei hohen Gebäuden)
 - Schaffung eines Biotops
 - Aktive intensive Nutzung (einschl. Hecken/Stauden/Bäumen) als Dachgarten
- Normale Dächer sollten eine **helle Farbe** haben, um Überwärmungseffekte zu vermeiden.

Tab. 4: Übersicht über städtebauliche Handlungsmaßnahmen zur klimatischen und klimawandelgerechten Optimierung von Bauvorhaben (aus MUNLV 2010, verändert).

Hinweis: Die H- und E-Kennziffern verweisen auf die detaillierten Maßnahmeneläuterungen im „Handbuch Stadtklima“ (MUNLV 2010).

Maßnahme	Schutzziel				
	Abkühlung Außenbereich	Abkühlung Gebäude	Verbesserung Durchlüftung	Verbesserung Luftqualität	Abwehr Niederschlagsüberschwemmung
Gebäudeoptimierung					
H8 Dachbegrünung	nur bei Flachbauten	insb. Obergeschosse			
H10 Fassadenbegrünung			wenn als Baumaßsatz		
H14 Hauswandverschattung, Wärmedämmung					
H15 Helle Fassadenfarben					
H18 Verschattungselemente an Gebäuden					
H15 Geeignete Baumaterialien verwenden					
Quartiergestaltung					
städttebauliche Infrastruktur					
H5 Freiflächen erhalten, schaffen, Flächen entsiegeln			wenn wenig Bäume	wenn viele Bäume	
E3 Lokale Niederschl.versickeung, Kanalentkoppelung					
E4 Niederschlagsrückhalte-/speichermaßnahmen					
H12 Offene Wasserflächen schaffen					
H13 Gebäudeausrichtung optimieren					
H22 Beschattung relevanter Flächen					
H23 Verkehrsfläch. m.geringer Wärmeleit-/speicherfähigk. Wasserdurchlässige Verkehrsflächen					
Grünflächen und Vegetation					
H6 Parkanlagen schaffen, erhalten, umgestalten			wenn wenig Bäume	wenn viele Bäume	
H7 Begrünung von Straßenzügen mit Bäumen					
H19 Vermehrte Bewässerung urbaner Vegetation					
H20 Bepflanzung mit klimaresilienten Pflanzenarten					
H21 Vermehrter Einsatz bodendeckender Vegetation					
Quartierübergreifende Hinweise					
H11 Erhalt, Schaffung von Frischluftflächen		Wenn Kaltluftzufuhr			
H16 Erhalt, Schaffung von Luftleitbahnen		Wenn Kaltluftzufuhr			

Wirkung
 gering bis garnicht
 Wirkungskonflikt
 Deutliche Verbesserung
 Mäßige Verbesserung
 Verschlechterung

Wirkungskonflikt von Bäumen
Pro:
 - Kühle durch Schatten
 - Absorber für Spurenstoffe + Regen
 - Einzelbäume: effektiv
Contra:
 - reduzierter vertikaler Austausch
 - Strömungsriegel bei Baumgruppen
 - Gehölze und Wälder: kritisch

► Abwägung des Nutzens!

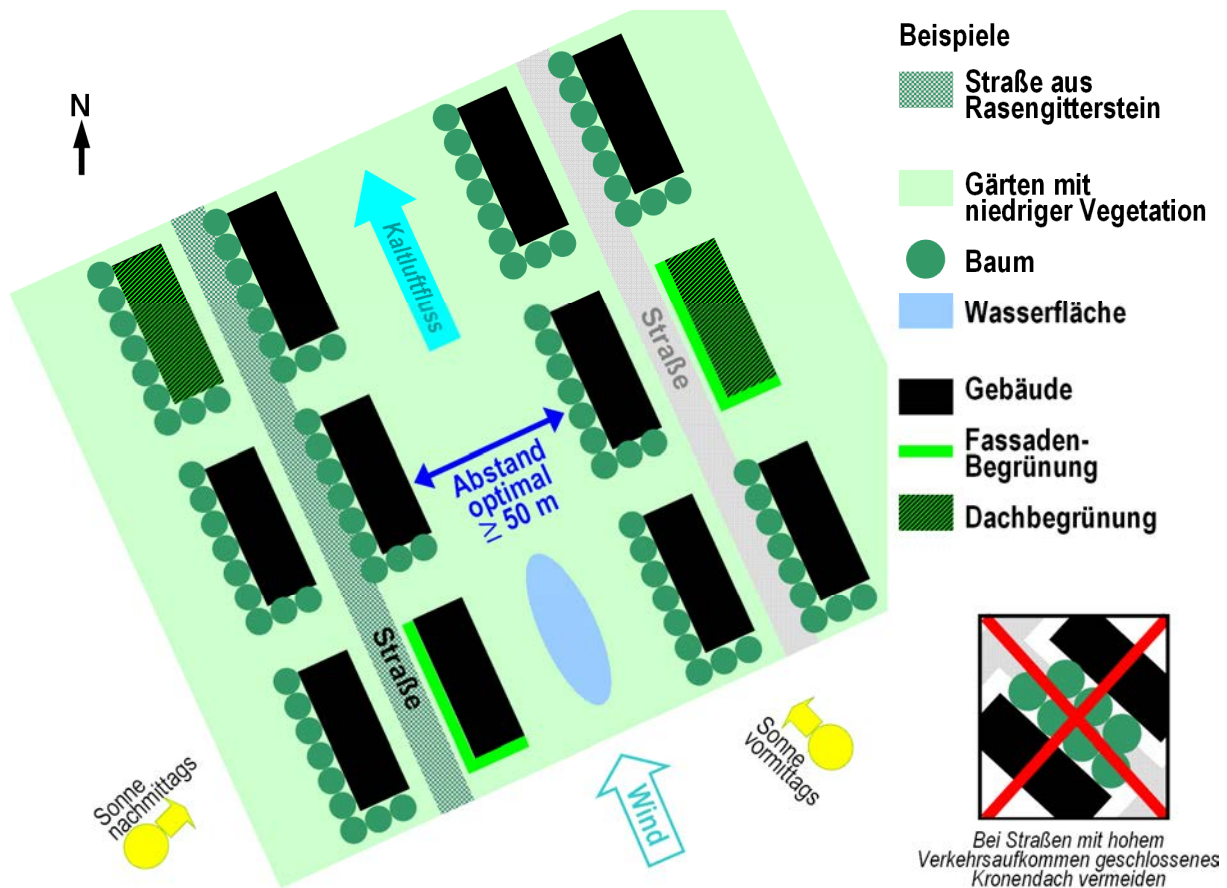


Abb. 48: Beispiele für klima optimierende grünplanerisch-architektonische Maßnahmen (schematische Skizze, nicht lage- und maßstabstreu).

Unversiegelte Flächen

- Unversiegelte Flächen können durch **Verdunstungskälte** die Lufttemperatur spürbar senken und die **Überschwemmungsgefahr** durch Starkregen reduzieren (Q1, Q2, Q12).
- Die großflächige Anlage bzw. Nutzung unversiegelter Flächen ist daher zu favorisieren:
 - **Grünflächen** und/oder Parks nach dem **Savannenprinzip** mit einzelnen Bäumen oder Baumgruppen auf ansonsten niedriger Vegetation (Rasen, Beete, Bodendecker) bilden einen optimalen Kompromiss aus Verschattungszonen und Durchlüftungsmöglichkeit.
 - Auch **Wasserflächen**, insbesondere mit Schilfrand, sind geeignete Verdunstungsflächen (Q8).
 - Verkehrswege und -flächen oder Parkplätze sollten mit **Rasengittersteinen, hellem Kies** oder **hellem, porösem Asphalt** wasserdurchlässig und damit verdunstungsaktiv gemacht werden (Q9).
 - **Steingärten** mit ästhetischer Funktion sollten jedoch **vermieden** werden.

Baumpflanzungen (Q4)

- Baumpflanzungen sollten bewusst als **Verschattungselemente** im öffentlichen Raum eingesetzt werden und den Charakter privater Innenhöfe prägen.
 - Geeignete Standorte sind neben Grünflächen auch die Ost-, Süd- oder Westfassaden an Straßen und Innenhöfen, wo die Bäume die Gebäude vor sonnenbedingter Einstrahlung schützen können. (Auf den Nordseiten von Gebäuden sind Baumpflanzungen aufgrund fehlender Sonneneinstrahlung nicht zwingend erforderlich.)
 - Als Synergieeffekt verzögern die Baumkronen durch Interzeption den Regenwasserabfluss und verbessern damit die Starkregenbehandlung.
 - Auch **Laubengänge** und **Hecken** in Erwägung ziehen.

- Bäume sollten jedoch die bodennahe **Belüftung** so wenig wie möglich behindern, um den Abtransport von Spurenstoffen und Wärme zu gewährleisten (S1, S4).
- Im Straßenraum sind daher **geschlossene Kronendächer** (z. B. bei Alleen) zur Gewährleistung des vertikalen Luftaustauschs (Abtransport von Spurenstoffen) zu **vermeiden**, indem z. B. Sonnen abgewandte Straßenseiten bzw. Nordfassaden von Bäumen frei gehalten werden.
- Auf größeren, belüftungsrelevanten Freiflächen Baumanordnung in weit abständigen Kleingruppen (**Savannentyp**).
- Einsatz klimawandelangepasster Baumarten prüfen (Q4).
- Durch geschickte Verbindung der Standorte der Bepflanzungselemente mit Schattenzonen von Gebäuden können gut vernetzte **Verschattungszonen** geschaffen werden, entlang derer eine Fortbewegung durch das Quartier mit weitgehend **reduzierter Wärmebelastung** möglich ist.

Wassermanagement

Idee der **Schwammstadt**: Effiziente Wasserbevorratung und -verdunstung zur Lufttemperatursenkung, insbesondere durch Evapotranspiration der Vegetation.

- Neuböden: **Böden** mit hoher nutzbarer Feldkapazität (Wasserspeicherefähigkeit) wie beispielsweise schluffige oder lehmige Böden bevorzugen.
- Lokale Niederschlags**versickerung** durch Entsiegelungen und Kanalnetzabkopplung (Q13).
- **Abwehr** von Starkregen/**Überschwemmungen** durch Entsiegelungen, Geländemulden, Wasserspeicher (Rigolen, Regenwasserzisternen), Dachbegrünungen, großkronige Bäume (Q11, Q13, Q14, Q15, G1, G8).
- Die Wasserspeicher dienen auch als Wasserreservoir für **Pflanzen** während Trockenphasen (Q5).

Die interessantesten Maßnahmen werden nachfolgend näher erläutert. Noch ausführliche Maßnahmenbeschreibungen speziell für Recklinghausen sind im Katalog der Maßnahmensteckbriefe zur Klimaanpassung (KPLAN 2017) beschrieben.

9.2 Hitzeprävention bei Gebäuden

Durch Sonneneinstrahlung **aufgeheizte Gebäude** erwärmen die nächste Umgebung und führen zur Wärmebelastung in den Gebäuden selbst. Auch nachts ist die Überwärmung aufgrund verzögerter und langsamer Gebäudeauskühlung gegeben. Daher gilt es, Gebäude vor sonnenbedingter Aufheizung zu schützen.

Zur **Verschattung** süd- bis westexponierter Gebäudewände sollten primär nahe am Gebäude positionierte, **hohe Bäume** favorisiert werden, da sie neben der Gebäudefassade auch den Boden verschatten (zur Auswahl geeigneter Bäume siehe weiter unten). Ferner verzögern die Baumkronen durch Interzeption auch den Regenwasserabfluss und verbessern damit die **Starkregenbehandlung**. An Orten mit enger Gebäudelage und daraus resultierender schwacher Durchlüftung oder mit hohen Belastungen mit atmosphärischen Spurenstoffen sind jedoch **Fassadenbegrünungen** (PFOSER et al. 2013) zu bevorzugen. Als geeignete **Fassadenbegrünung** gelten insbesondere der Gemeine Efeu (*Hedera helix*), Wilder Wein (*Parthenocissus quinquefolia*) und Knöterich (*Fallopia aubertii*) (MW-BW 2012), ferner auch Kletterhortensie, Geißblatt, Blauregen, Waldrebe, Kletterrose, Pfeifenwinde oder Immergrüner Kletter-Spindelstrauch (FBB 2013). Ergänzend kann bei flachen oder nur gering geneigten Dächern eine **Dachbegrünung** eine Aufheizung der Dachstühle reduzieren, wobei als Synergieeffekte zusätzlich ein **Biotop** und ein **Starkregenabflusspuffer** entstehen (**Tab. 5**). Bei der Dachbegrünung ist auch eine intensive Begrünung (z. B. als Dachgärten mit Bäumen) in Erwägung zu ziehen. Dabei werden als Substrathöhe laut PFOSER et al. (2013) für kleinwüchsige Bäume mindestens 80 cm empfohlen, für mittelhohe Bäume mindestens 100 cm und für hohe Bäume mindestens 150 cm (FFL 2008).

Die Wirkung von Dachbegrünungen auf den **Außenbereich** jenseits des Daches ist je nach Größe der begrünten Dachfläche räumlich auf die nähere Umgebung von i. d. R. einigen Metern bis wenigen zehner Metern begrenzt. Der Wirkungsnutzen für die Umgebung ist daher weniger bei mehrgeschossigen, sondern eher bei niedrigen, ein- bis zweigeschossigen Gebäuden (z. B. frei stehenden Garagen) gegeben.

Auch über die **Fassaden- und Dachfarbe** kann das lokale Klima beeinflusst werden, wobei zu berücksichtigen ist, dass sowohl zu dunkle als auch zu helle Farben aus klimatischer Sicht Nachteile haben. **Dunkle Fassaden und Dächer** weisen eine niedrige Albedo und damit einen geringeren Reflexionsgrad bzw. hohen Absorptionsgrad für die kurzwellige Sonnenstrahlung auf (HUPFER und KUTTNER 2006). Dadurch würde sich das Mauerwerk stärker aufheizen und die Energie als Wärmestrahlung sowohl in den Innenraum als auch an den Außenbereich abgeben. In der unmittelbaren Umgebung kommt es zur Erhöhung der Lufttemperatur. Die erwärmte Luft wird anschließend mit dem Wind als Warmluftblase in die Umgebung transportiert, wobei sie sich allerdings nach wenigen hundert Metern wieder auf das Temperaturniveau des Umfeldes abgekühlt hat.

Tab. 5: Eigenschaften von Dachbegrünungen.

Begrünungsgrad	extensiv	intensiv	Dachgarten
Pflanzengesellschaft	Moose bis Gras-Kraut	Gras-Kraut bis Gehölz	Rasen, Sträucher bis Bäume
Technische Eigenschaften			
Substratdicke	8 – 15 cm	15 – 25 cm	25 – 150 cm
Gewicht	80 – 240 kg/m ²	180 – 300 kg/m ²	300– 1.500 kg/m ²
Erforderliche Gebäudetragfähigkeit	gering	mittel	hoch
Nachträgliche Installierbarkeit	ja	fallweise	nein
Wirkung und Nutzung			
Erzielbare Biodiversität	gering	mittel	hoch
Kühleffekt für Dach-/Obergeschosse	mittel	hoch	sehr hoch
Kühleffekt auf Umgebung	sehr gering	gering	mittel
Niederschlagspufferung	mittel	hoch	sehr hoch
Zusätzl. Nutzbarkeit v. Solaranlagen	vollständig	eingeschränkt	nein
Wirtschaftlichkeit			
Anschaffungskosten	gering	mittel	hoch
Pflegeaufwand	gering	mittel	hoch
Wasserversorgung	passiv (nur Niederschlag)	fall- / teilweise aktiv	überwiegend aktiv

Helle Fassade und Dächer hingegen weisen eine hohe Albedo und damit einen hohen Reflexionsgrad bzw. geringen Absorptionsgrad für die kurzwellige Sonnenstrahlung auf. Auf diese Weise werden zwar Gebäude vor Aufheizung geschützt, allerdings führt die in die Umgebung zurück reflektierte Sonnenstrahlung zur Erhöhung der Wärmebelastung im Außenbereich. Gerade in Anbetracht der Flächengröße der SW-Fassade von mehreren tausend Quadratmetern wäre dieser Effekt deutlich ausgeprägt. Um die Nachteile sowohl von zu dunklen als auch zu hellen Fassaden und Dächern zu minimieren, sollte eine Farbe mit **mittlerer Albedo** gewählt werden, beispielsweise eine mittlere Grauton oder pastellartige

bzw. helle Farbtöne (Orange, türkis, grün, etc.). Derartige Farben stellen einen Kompromiss zwischen Reflexionsminderung und Aufheizungs- bzw. Wärmeabstrahlungstendenz dar. Hinweise auf geeignete Farben und Baustoffe gibt **Tab. 6**, wobei im Vergleich zu üblichen bzw. klassischen Komponenten hier solche mit einem Reflexionsgrad $\geq 0,4$ zu favorisieren sind.

Tab. 6: Reflexionsgrad (Albedo) für kurzwellige Strahlung von typischen Baumaterialien, und natürlichen Oberflächen (Durchschnittswerte) (aus HUPFER & KUTTLER 2006, nach HELBIG 1987, ergänzt).

Anstriche	von	bis	Tragwerk	von	bis
weiß	0,70	0,90	Aluminium, hochglänzend	0,80	0,85
Hellgelb	0,60	0,70	Aluminium	0,60	
Pastellfarben	0,60		Birke hell	0,60	
hellgrün, hellrot, hellblau, hellgrau	0,40	0,50	Aluminium, mattiert	0,50	0,70
beige, ocker, orange, mittelgrau	0,25	0,35	Stahl, poliert	0,50	0,60
rot, braun, grün	0,20	0,35	Stahl	0,40	
dunkelgrau, dunkelrot, dunkelblau	0,10	0,20	Eiche Dunkel	0,20	
dunkle Farbe	0,10		Eisen, rostrot	0,20	
schwarz	0,02	0,15			
Wände	von	bis	Fenster	von	bis
Putz, weiß	0,70	0,85	Glas: Sonnenhöhe > 60°	0,05	0,10
Gips	0,70	0,80	Glas: Sonnenhöhe 10°– 60°	0,09	0,52
Beton, weiß	0,71		Straßen	von	bis
Beton hellgrau	0,60		heller Stein, Marmor	0,60	
Ziegel hellgelb	0,60		dunkler Granit	0,10	
Ziegel hellbraun	0,40		Asphalt	0,05	0,20
Beton dunkelgrau	0,40		Natürliche Oberflächen	von	bis
Beton	0,30	0,50	Neuschneedecke	0,75	0,90
Sandstein	0,30		Altschneedecke	0,40	0,70
Kalkmörtel	0,27	0,27	trockener, heller Sandboden	0,25	0,45
Naturstein	0,20	0,35	Wiese	0,15	0,25
Ziegel, rot	0,10	0,20	Laubwald	0,15	0,20
Ziegel dunkelrot	0,10		Getreidefeld	0,10	0,25
Dächer	von	bis	Nadelwald	0,10	0,15
Teer und Split	0,08	0,18	dunkler Ackerboden	0,07	0,10
Dachziegel	0,10	0,35	Wasserflächen	0,03	0,10
Schiefer	0,10				
Wellblech	0,10	0,16			

Ferner kann die im Rahmen des GEG (2020, vormals EnEV 2020) geforderte **Gebäude-wärmedämmung** zur Reduktion der Gebäudeaufheizung beitragen.

9.3 Hitzeprävention im Außenbereich

Gegen **Hitzestau im Außenbereich** (Straßenschluchten, Hinterhöfe und Gebäudezwischenräume) ist im Bestand die Schaffung beschatteter Flächen, beispielsweise durch Begrünung von Straßenzügen und Innenhöfen mit **Bäumen** geeignet. An Standorten mit hohen **Belastungen** mit atmosphärischen **Spurenstoffen** sollte dabei zur Aufrechterhaltung des Luftaustausches ein geschlossenes Kronendach (z. B. Alleen) vermieden werden. Dazu

können einzelne Bäume derart positioniert werden, dass sie zwar Schattenzonen schaffen, aber gleichzeitig die Durchlüftung nicht wesentlich behindern. Hierbei wird die Pflanzung im Sinne einer **Baumwiese (Savannentyp)** empfohlen, bei der großkronige Bäume einzeln oder als kleine Gruppen mit weitläufigem Abstand zueinander und in Längsrichtung der primären Anströmrichtung während Hitzeepisoden gepflanzt werden.

Entlang längerer Fußwege sind als Verschattungselemente auch **Laubengänge** oder mindestens 3 Meter hohe **Hecken** an den Süd- bis Westseiten der Wege geeignet, sofern die Ventilationsbedingungen unkritisch sind.

Die Auswahl von Bäumen, die an das zukünftige Klima angepasst sind, ist derzeit noch Forschungsgegenstand. Für Mitteleuropa sollten die Bäume die Merkmale

- Hitzetoleranz
- Trockenheitstoleranz
- geringes Ozonbildungspotenzial
- Frosttoleranz
- Streusalztoleranz und
- Mechanische Toleranz (Versiegelung)

aufweisen. Dabei beschreibt das Ozonbildungspotenzial die bei hohen Lufttemperaturen durch die Bäume erfolgende Freisetzung von biogenen Kohlenwasserstoffen, welche die Ozonbildung begünstigen (insbesondere das hochreaktive Isopren, aber auch Terpene und Limonen). Aus diesem Grund sollten möglichst Pflanzen Verwendung finden, die zu den sogenannten „Low-Emitter-Pflanzen“ zählen (KUTTLER 2011b). Dabei handelt es sich um Pflanzen, deren Isoprenemission unter Hitzestress nicht mehr als 2 µg pro g Trockensubstanz pro Stunde beträgt.

Die **Tab. 7** enthält 45 ausgewählte Bäume aus allen Teilen der Welt, die sowohl durch Winterhärte und ein geringes Ozonbildungspotenzial charakterisiert werden als auch optimale Toleranzen gegenüber Trockenheit bei eingeschränkter Wasserversorgung aufweisen. Die Tabelle berücksichtigt in Spalte F18 Empfehlungen einer jüngeren Langzeitstudie aus Bayern mit besonders geeigneten Bäumen für universelle Stadtstandorte, die u. a. die erforderliche Frost- und Trockenstresstoleranz aufweisen (LWG 2018).

In verkehrsberuhigten **Straßenschluchten** (z. B. Fußgängerzonen) mit beidseitig geschlossenen Gebäudefassaden können zwischen den Gebäuden horizontal gespannte helle **Sonnenschutzsegel** zur Verschattung angebracht werden. Durch vertikalen, überlappenden Versatz von Einzelsegeln bleibt die Durchlüftung gewährleistet.

Bei Neubauten können in sonnenexponierte Fassaden von Gebäuden Schatten spendende **Arkadengänge** integriert werden.

Durch die geschickte Verbindung der Standorte der Bepflanzungselemente mit den Schattenzonen von Gebäuden können in Quartieren gut vernetzte **Verschattungszonen** geschaffen werden, entlang derer eine Fortbewegung durch das Quartier mit weitgehend reduzierter Wärmebelastung möglich ist.

Ferner kann die Aufheizung von Erdoberflächen durch **Flächenentsiegelungen** mit anschließender **Bodenbegrünung** reduziert werden. Diese Maßnahmen sollten auch Verkehrsflächen mit einbeziehen, die dann mit Rasengittersteinen, Fugenpflaster oder **hellem** Schotter bzw. Kies belegt werden können. **Steingärten** mit lediglich ästhetischer Funktion sollten jedoch **vermieden** werden. Für erforderliche feste **Oberflächen** sind **helle** und/oder **poröse** Materialien zu bevorzugen.

Tab. 7: Rangliste klimawandelangepasster Baumarten (eigene Sortierung).

nach MUNLV (2010) und KUTTLER (2011) mit Daten von ROLOFF et al. (2008), BENJAMIN & WINER (1998) und LWG (2018).

Rang: gebildet aus der Summe folgender Indikatoren: **H** = heimische Arten, **Og** = geringes Ozonbildungspotenzial, **T** = Trockenheitstoleranz, **W** = Winterhärte, **F18**= Rangklasse geeigneter Arten aus Feldversuch 2018 (LWG 2018)

Bewertung: +++, ++ = sehr geeignet, + = geeignet, -- = ungeeignet, / = keine Angaben

Rang	Wiss. Name	Populärer Name	H	Og	T	W	F18
1	<i>Acer campestre</i>	Feld-Ahorn	x	++	++	++	
	<i>Carpinus betulus</i>	Gewöhnliche Hainbuche	x	++	+	++	+
	<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	Grün-Esche, Rot-Esche		++	+	++	++
	<i>Juniperus communis</i>	Gewöhnlicher Wacholder	x	++	++	++	
	<i>Prunus avium</i>	Vogel-Kirsche	x	++	++	++	
	<i>Sophora japonica</i>	Japanischer Schnurbaum		+	++	+	+++
2	<i>Acer negundo</i>	Eschen-Ahorn		++	++	++	
	<i>Acer platanoides</i>	Spitz-Ahorn	x	++	+	++	
	<i>Alnus x spaethii</i>	Spaeths Erle		/	+	++	+++
	<i>Betula pendula</i>	Sand-Birke	x	++	+	++	
	<i>Pinus sylvestris</i>	Wald-Kiefer	x	+	++	++	
	<i>Robinia pseudoacacia</i>	Gemeine Robinie		++	++	++	
	<i>Sorbus aria</i>	Echte Mehlbeere	x	+	++	++	
	<i>Sorbus badensis</i>	Badische Eberesche	x	+	++	++	
	<i>Sorbus x thuringiaca</i>	Thüringer Mehlbeere	x	+	++	++	
	<i>Tilia cordata</i>	Winter-Linde	x	++	+	++	
3	<i>Ulmus pumila</i>	Sibirische Ulme		++	++	++	
	<i>Alnus incana</i>	Grau-Erle	x	/	++	++	
	<i>Carya tomentosa</i>	Spottnuss		++	++	+	
	<i>Cupressus arizonica</i>	Arizona-Zypresse		++	++	+	
	<i>Ginkgo biloba</i>	Ginkgo, Fächerbaum		++	++	+	
	<i>Gleditsia triacanthos</i>	Amerikanische Gleditschie		/	++	+	++
	<i>Malus tschonoskii</i>	Woll-Apfel		++	+	++	
	<i>Ostrya carpinifolia</i>	Gemeine Hopfenbuche		/	++	++	+
	<i>Pinus nigra</i>	Schwarz-Kiefer		+	++	++	
	<i>Tilia mandshurica</i>	Mandschurische Linde		+	++	++	
4	<i>Tilia tomentosa</i>	Silber-Linde		+	++	+	+
	<i>Acer x zoeschense</i>	Zoeschener Ahorn		/	++	++	
	<i>Cladrastis sinensis</i>	Chinesisches Gelbholz		/	++	++	
	<i>Fraxinus pallisiae</i>	Behaarte Esche		/	++	++	
	<i>Juniperus scopulorum</i>	Westliche Rotzeder		/	++	++	
	<i>Juniperus virginiana</i>	Rotzeder		/	++	++	
	<i>Phellodendron sachalinense</i>	Sachalin-Korkbaum		/	++	++	
	<i>Pinus heldreichii</i>	Panzer-Kiefer		/	++	++	
	<i>Quercus bicolor</i>	Zweifarbige Eiche		/	++	++	
	<i>Quercus cerris</i>	Zerr-Eiche	x	+	++	+	+
5	<i>Quercus frainetto</i>	Ungarische Eiche		/	++	+	+
	<i>Quercus macrocarpa</i>	Klettenfrüchtige Eiche		/	++	++	
	<i>Robinia viscosa</i>	Klebrige Robinie		/	++	++	
	<i>Acer rubrum</i>	Rot-Ahorn		++	++	+	
	<i>Ulmus Lobel</i>	Ulme		/	/	/	+++
6	<i>Fraxinus ornus</i>	Blumenesche		/	/	/	++
	<i>Liquidambar styraciflua</i>	Amberbaum		/	/	/	++
7	<i>Magnolia kobus</i>	Kobushi-Magnolie		/	/	/	+
	<i>Parrotia persica</i>	Eisenholzbaum		/	/	/	+

In **Neubaugebieten** kann der Überwärmung durch geschickte **Gebäudeanordnung** vorgebeugt werden. Eine zur **Hauptwindrichtung** parallele Ausrichtung der Baufelder verbessert die Durchlüftung und damit den Wärmeabtransport, d. h. die Bildung quer zur Windrichtung liegender Gebäude (**Strömungsriegel**) ist zu vermeiden. Bei **Blockrandbebauung** oder geschlossenen Innenhöfen kann die Belüftung durch breite und mehrgeschossige **Gebäudedurchlässe** verbessert werden. Zwischen den Baufeldern sind ausreichende **Abstände** zur effektiven Durchlüftung einzuhalten (empfohlen werden mindestens 20 m). Bei einer **Begrünung** der Abstandflächen sollten Bäume gebäudenah oder nach dem **Savannenprinzip** (s. o.) gesetzt werden.

9.4 Wassermanagement

Da gut Wasser versorgte Böden und **Grünflächen** bei Hitzeereignissen aufgrund der Wärmeenergie verbrauchenden Verdunstung zu einer signifikanten Verbesserung der thermischen Behaglichkeit beitragen können, sollte eine ausreichende **Wasserversorgung** der Böden und Vegetation sichergestellt werden (KUTTLER 2011b, KUTTLER et al. 2012b). Insbesondere bei hohen Lufttemperaturen ist der Wasserbedarf der Vegetation sehr groß, sodass mangelnde Wasserversorgung in dieser Situation zu Trockenstress der Pflanzen führt. Als Leitbild der effizienten Wasserversorgung dient die sog. **Schwammstadt** (BBSR 2015), die über verschiedene Maßnahmen eine effiziente Wasserbevorratung und -versorgung für die Vegetation ermöglicht.

Zunächst sollten im Zuge der baulichen **Neugestaltung** von Quartieren oder bei einzelnen Bauvorhaben **großzügige Grünflächen** auf (ggf. neuen) **Böden** mit hoher nutzbarer Feldkapazität (nFK) wie beispielsweise schluffige oder lehmige Böden angelegt werden, um den Boden als Wasserspeicher und Verdunstungsquelle verfügbar zu machen. Die Wasserzufuhr kann durch lokale **Versickerung** der Niederschläge erfolgen, indem die Bodenoberflächen **entsiegelt** und gleichzeitig die Regenwasserableiter der Dächer und Straßen vom Kanalnetz **abgekoppelt** werden. Dabei können potenzielle, zur Überschwemmung neigende, kurzzeitige Starkregenabflüsse durch Dachbegrünungen, **Geländemulden** und **Wasserspeicher** wie Rigolen oder Regenwasserzisternen verzögert oder gar vermieden werden. Die Wasserspeicher dienen auch als Wasserreservoir für **Pflanzen** während Trockenphasen.

9.5 Luftreinhaltung

Zur Minimierung der Zusatzbelastung mit atmosphärischen **Spurenstoffen** sollten Gebäude dem GEG-Standard (2020, vormals EnEV 2020) entsprechen. Die ergänzende Nutzung einfach zu realisierender regenerativer **Energiequellen** wie Fotovoltaik, Solarthermie und Wärmepumpen ist zu empfehlen. Je nach lokaler Verfügbarkeit sind auch Fernwärme, Fernkälte und Geothermie in Betracht zu ziehen. In Gebieten mit häufigen Inversionswetterlagen und **Kaltluftbildungen** sollten zusätzlich Restriktionen für holzbasierte sowie andere staub- und immissionsintensive **Feuerungsanlagen** (Heizungen, Kamine) geprüft werden.

Für den **Straßenverkehr** sollten nur Anliegerstraßen ausgewiesen werden; Durchgangsstraßen sollten vermieden werden. Bei Neubauvorhaben ist eine Nutzung mit nur wenig Individualverkehr anzustreben. Im Falle nahe gelegener sensibler Flächennutzungen sind abschirmende **Immissionsschutzpflanzungen** in Erwägung zu ziehen.

9.6 Flächenhafte Effektmaximierung

Die zuvor beschriebenen einzelnen Maßnahmen sind hauptsächlich nur lokal wirksam. Um das Klima flächenhaft zu verbessern, sollten die Maßnahmen daher auch in der Fläche angewendet werden, wobei eine örtliche **Bündelung** mehrerer Maßnahmen – sofern sinnvoll – zu empfehlen ist. Dabei werden i. d. R. auch **Synergieeffekte** zwischen klimatischen,

verkehrlichen, architektonischen, gebäudeenergetischen und biologischen Belangen erzielt, wie die Beispiele in **Tab. 8** zeigen. Dem stehen nur wenige **Konfliktpotenziale** gegenüber, die aus der Sonnenexposition, durchlüftungshemmenden Bäumen, subterrestrischer Technikinfrastruktur sowie dem Denkmal- und Brandschutz resultieren.

Tab. 8: Synergieeffekte und Konfliktpotenziale von Anpassungsmaßnahmen (Beispiele).

Maßnahmen oder Maßnahmenbündel	Synergieeffekte
• Versickerungsflächen Rasen/Wiesen/Beete • Bäume	• Hitzeschutz • Starkregenschutz • Biotop
• Versickerungsflächen Rasengittersteine • Bäume	• Hitzeschutz • Starkregenschutz • als Verkehrsfläche nutzbar
• Dachbegrünungen	• Gebäudewärmedämmung • Hitzeschutz • Regenrückhalt • Biotop (+ Dachgarten)
• Dachbegrünung + Solarenergienutzung	• Gebäudewärmedämmung • Hitzeschutz • Regenrückhalt • Biotop • Vermeidung fossiler Energie
• Fassadenbegrünung	• Hitzeschutz • Biotop • Substitution aufwendiger technischer Fassadenelemente (z. B. Sonnenschutzlamellen/-rollos, Dekorelemente, Wärmedämmung) • enge Straßenschluchten mit stärkerem Verkehr bleiben baumfrei
• Gebäudeschattenzonen, • Bäume, • Hecken, • Laubengänge oder • Sonnenschutzsegel	• Verknüpfung zu verschattetem Fußwegenetz mit reduzierter Wärmebelastung
Maßnahmen oder Maßnahmenbündel	Konfliktpotenziale
• Bäume	• Strömungshindernis: in engen Straßenschluchten mit viel Kfz-Verkehr kritisch (Spurenstofffalle) • Standorte mit unterirdischer Infrastruktur
• Niedrige Vegetation (Wiesen, Rasen, Beete):	• extreme Sonnenexposition: Hitzeschlag, Sonnenstich
• Fassaden- und Dachbegrünungen	• Denkmalschutz und Brandschutz
• Bäume in Gebäudenähe	• Denkmalschutz und Brandschutz
• Geländemulden • Rigolen • Regenwasserzisternen	• Standorte mit unterirdischer Infrastruktur

10 Arbeitsmaterialien und Literatur

10.1 Arbeitsmaterialien

Allgemeine Unterlagen

- BZ MÜNSTER (2011): Luftreinhalteplan Ruhrgebiet 2011 – Teilplan Nord, Bezirksregierung Münster, 206 S., Münster.
- GOOGLE (2021) Luft- und Vogelperspektivenbilder Google Maps/Google Earth 2020, © Google 2019, Kartendaten © 2019 GeoBasis-DE/BGK, © 2009 Google.
- KPLAN (2017): Klimaanpassungskonzept für Recklinghausen, K.Plan Klima.Umwelt&Planung GmbH, 157 S., Bochum.
- KPLAN (2017): Klimaanpassungskonzept für Recklinghausen – Katalog der Maßnahmensteckbriefe zur Klimaanpassung. K.Plan Klima.Umwelt&Planung GmbH, 157 S., Bochum. 80 S.
- LAND NRW (2021): GEObasis.nrw Bodenkarte NRW 1:50.000 IS BK 50 (WMS), Geologischer Dienst NRW <https://www.wms.nrw.de/gd/bk050?>. Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0 (www.govdata.de/dl-de/by-2-0).
- LAND NRW (2021): GEObasis.nrw Digitales Gebäudemodell WMS NW ALKIS https://www.wms.nrw.de/geobasis/wms_nw_alkis?. Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0 (www.govdata.de/dl-de/by-2-0).
- LAND NRW (2021): GEObasis.nrw Digitales Geländehöhenmodell. Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0 (www.govdata.de/dl-de/by-2-0).
- LAND NRW (2020): Geobasis NRW, GeoBasis-DE/BKG 2015, EuroGeographics. Datenlizenz dl-de/by-2-0 (www.govdata.de/dl-de/by-2-0) – Kartendienste des GeoServer NRW. <http://www.geoserver.nrw.de/kartendienste.html>
- LAND NRW (2021): GEObasis.nrw Digitale Orthophotos WMS NW DOP20 https://www.wms.nrw.de/geobasis/wms_nw_dop?. Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0 (www.govdata.de/dl-de/by-2-0).
- LANUV NRW (2020): Klimaanalyse NRW FIS Klimaanpassung NRW, Herausgeber: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW unter Verwendung von Daten von © GeoBasis-DE/BKG 2016, © Geobasis NRW 2016 (Datenlizenz Deutschland - Namensnennung-Version 2.0 (www.govdata.de/dl-de/by-2-0)), Planet Observer © LANUV 2018. www.klimaanpassung.nrw.de [= Onlinekarten zu LANUV NRW (2018): Klimaanalyse NRW].
- LANUV NRW (2020): Klimaatlas NRW, Herausgeber: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW unter Verwendung von Daten des Deutschen Wetterdienstes und Land NRW.
- LANUV NRW (2020): Online-Emissionskataster Luft NRW. <http://www.ekl.nrw.de/ekat/>.
- RVR (2011): Klimaanalyse Stadt Recklinghausen, Regionalverband Ruhr, Referat Geoinformation und Raumbeobachtung, 322 S., Essen.
- STADT RECKLINGHAUSEN (2020): Luftbilder Sommer 2015 und Winter 2018.
- STADT RECKLINGHAUSEN (2015): Starkregengefahrenkarte - Stadt Recklinghausen, dr. papadakis GmbH.

G19 - Gewerbepotenzialfläche Ludwig-Erhard-Allee

- STADT RECKLINGHAUSEN (o. J.): Flächennutzungsplan-Änderung Nr. 9 – Ossenbergweg, Begründung gem. § 5 Abs. 5 BauGB, Fachbereich Planen, Umwelt, Bauen, 15. S.

W2 - Griegstraße

- STADT RECKLINGHAUSEN (2021): Bebauungsplan Nr. 262 - Griegstraße - Hier: Aufstellungsbeschluss gemäß § 2 Abs. 1 BauGB, Drucksache Nr. 0626/2019 vom 16.10.2019, FB Planen, Umwelt, Bauen.
- STADT RECKLINGHAUSEN (2021): Bebauungsplan Nr. 262 – Griegstraße: Klimaangepasster Entwurf vom 15.10.2020.

W3a - Josef-Wulff-Straße

- JEROMIN & EBBEN (2017): Städtebaulicher Entwurf Wohnprojekt Eduard-Pape-Str. / Josef-Wulff-Str. / Beisinger Weg vom 28.02.2017, Herten.

W3b - Josef-Wulff-Straße

STADT RECKLINGHAUSEN (2021): Städtebaulicher Vorentwurf Josef-Wulff-Str. / Beisinger Weg / Halterner Str. vom 02.03.2021.

STADT RECKLINGHAUSEN (2021): Vorentwurf Nahversorger Halterner Str. / Josef-Wulff-Str. vom 10.02.2021.

W35 – Dorstener Straße

SIMUPLAN (2019): Klimagutachten „Bebauungsplan Nr. 288 - „Dorstener Straße/Plantenbergweg“ 1. Änderung in Recklinghausen“ vom 20.11.2019, SimuPlan, 26 S., Dorsten.

10.2 Literatur

BAKLANOV, A., GRIMMOND, S., MAHURA, A. & M. ATHANASSIADOU (Hrsg.) (2009): Meteorological and Air Quality Models for Urban Areas. 183 S. Springer Heidelberg.

BauGB (2020): Baugesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 3. November 2017 (BGBl. I S. 3634), das durch Artikel 6 des Gesetzes vom 27. März 2020 (BGBl. I S. 587) geändert worden ist.

BBSR (2015): Überflutungs- und Hitzevorsorge durch die Stadtentwicklung – Strategien und Maßnahmen zum Regenwassermanagement gegen urbane Sturzfluten und überhitzte Städte. Ergebnisbericht der fallstudiengestützten Expertise „Klimaanpassungsstrategien zur Überflutungsvorsorge verschiedener Siedlungstypen als kommunale Gemeinschaftsaufgabe“. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), Bonn, 119 S.

BENJAMIN, M. T. & A. M. WINER (1998): Estimating the ozone-forming potential of urban trees and shrubs. Atmospheric Environment, Volume 32, Issue 1, S. 53-68.

BImSchG (2020): Bundes-Immissionsschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274), das zuletzt durch Artikel 103 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) geändert worden ist.

BRIGGS, G. A. (1979): Analytic modelling of drainage flows. Washington (= Draft document, atmospheric turbulence and diffusion laboratory, NOAA), 1979.

BRUSE, M. (2004): Updated overview over ENVI-met 3.0. 12 S. Bochum. <http://www.envi-met.com>.

DEFANT, F. (1933): Der Abfluss schwerer Luftmassen auf geneigtem Boden nebst einigen Bemerkungen zur Theorie stationärer Luftströme. In: Sitzungsberichte der preußischen Akademie der Wissenschaften, Physikalisch-mathematische Klasse 18 (1933), S. 624/635.

DÜTEMEYER, D. (2000a): Urban-orographische Bodenwindssysteme in der städtischen Peripherie Kölns. = Essener Ökologische Schriften, 12. 171 S. Hohenwarsleben, zgl. Diss. Univ. Essen 1999.

EnEV (2020): Energieeinsparverordnung vom 24. Juli 2007 (BGBl. I S. 1519), die zuletzt durch Artikel 257 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) geändert worden ist.

FBB (2013) - Fachvereinigung Bauwerksbegrünung e. V. (2013): Grüne Innovation Fassadenbegrünung. 11 S. Saarbrücken <http://www.fbb.de/inc/template/Fassadenbegrueung/12-Seiter-Fassadenbegrueung-FBB.pdf>

FFL (2008) – Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (Hrsg.) (2008): Richtlinien für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen: Dachbegrünungsrichtlinie 2008. 118 S. Bonn.

GEG (2020): Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (Gebäudeenergiegesetz – GEG) vom 8. August 2020. Inkrafttreten am 1. November 2020 BGBl. I S. 1728 vom 13. August 2020.

HELBIG, A., BAUMÜLLER, J. & M.J. KERSCHGENS (Hrsg.) (1999): Stadtklima und Luftreinhaltung. 2.Aufl., Springer-Verlag, Berlin.

HUPFER, P. & W. KUTTLER (Hrsg.) (2006): Witterung und Klima. Eine Einführung in die Meteorologie und Klimatologie. 12., überarbeitete Auflage. 554 S. Teubner Verlag, Wiesbaden.

KUTTLER, W. (1998a): Stadtklima. – In: H. SUKOPP & R. WITTIG (Hrsg.): Stadtökologie, 2. Aufl., Fischer, Jena, Lübeck, Ulm, 125 - 167.

KUTTLER, W. (1998b): Lokale Kaltluft. – In: Umweltmeteorologie. = Schriftenreihe der Komm. Reinhalt. d. Luft (KRdL) im VDI und DIN, Band 25, o. O., 104 - 115.

KUTTLER, W. (2004a): Stadtklima - Teil 1: Grundzüge und Ursachen. – In: UWSF – Zeitschrift Umweltchemie und Ökotoxikologie, Vol. 16 (4) 187 – 199.

- KUTTNER, W. (2004b): Stadtklima, Teil 2: Phänomene und Wirkungen. – In: UWSF – Zeitschrift Umweltchemie und Ökotoxikologie, Vol. 16 (4) 263 – 274.
- KUTTNER, W. (2011a): Klimawandel im urbanen Bereich, Teil 1, Wirkungen; Climate change in urban areas, Part 1, Effects. In: Environmental Sciences Europe (ESEU), Springer open, DOI: 10.1186/2190-4715-23-11, S. 1-12.
- KUTTNER, W. (2011b): Klimawandel im urbanen Bereich, Teil 2, Maßnahmen; Climate change in urban areas, Part 2, Measures. In: Environmental Sciences Europe (ESEU), Springer open, DOI: 10.1186/2190-4715-23-21, S. 1-15.
- KUTTNER, W., PÜLLEN, H., DÜTEMEYER, D. & A.-B. BARLAG (2012b): Unterirdische Wärmeinsel in Oberhausen – Untersuchung subterranner Wärme- und Energieflüsse in verschiedenen Klimatopen. *dynaklim*-Publikation Nr. 23 / März 2012 im interdisziplinären Verbundforschungsprojekt „*dynaklim* - Dynamische Anpassung regionaler Planungs- und Entwicklungsprozesse an die Auswirkungen des Klimawandels am Beispiel der Emscher-Lippe-Region (Nördliches Ruhrgebiet)“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF), Berlin. 38 S. www.dynaklim.de.
- LWG – Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (2018): Projekt Stadtgrün 2021 – Selektion, Anzucht und Verwendung von Gehölzen unter sich ändernden klimatischen Bedingungen – Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben Nr.: KL/17/03. 91 S.
- MAYER, H. (2006): Indizes zur human-biometeorologischen Bewertung der thermischen und lufthygienischen Komponente des Klimas. Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft, 66, 4, 165-174.
- MUNLV - Minist. f. Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW (Hrsg.) (2010): Handbuch Stadtklima - Maßnahmen und Handlungskonzepte für Städte und Ballungsräume zur Anpassung an den Klimawandel (Langfassung). Bearbeitet von M. Steinrücke, A. Snowdon (RVR), W. Kuttner, D. Dütemeyer, A.-B. Barlag (Univ. DU-E), J. Hasse (FiW) und C. Roesler, V. Lorke (Difu). 268 S. Düsseldorf.
- MW-BW (2012): Städtebauliche Klimafibel online. Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg. <http://www.staedtebauliche-klimafibel.de/>
- OKE, T. R. (1999): Observing urban weather and climate using 'standard' stations. In: Biometeorology and Urban Climatology at the turn of the millennium. WMO/TD No. 1026. WMO Genf. 443-448.
- PFOSE, N., JENNER, N., HENRICH, J., HEUSINGER, J., WEBER, S., SCHREINER, J. & C. KANASHIRO (2013): Gebäude Begrünung Energie. Potenziale und Wechselwirkungen. Abschlussbericht. – TU Darmstadt, Fachbereich Architektur, Fachgebiet Entwerfen und Freiraumplanung (Ausführende Stelle), 2013, 305 S.
- ROLOFF, A., BONN, S. & S. GILLNER. (2008): Klimawandel und Baumartenwahl in der Stadt – als Straßenbäume geeignete Arten. Allg. Forstztschr. / Der Wald 63: S. 398-399.
- UVPG (2020): Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung in der Fassung der Bekanntmachung vom 24. Februar 2010 (BGBl. I S. 94), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 8. September 2017 (BGBl. I S. 3370) geändert worden ist.
- VDI - Verein Deutscher Ingenieure (2003): VDI-Richtlinie 3787, Blatt 5: Umweltmeteorologie – Lokale Kaltluft. Düsseldorf.
- VDI - Verein Deutscher Ingenieure (2008): VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2: Umweltmeteorologie - Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung, Teil I : Klima. Düsseldorf.

Anhang

A1 Grundlagen des numerischen mikroskaligen Klimasimulationsmodells ENVI-met

Bei dem rechnergestützten Atmosphärenmodell ENVI-met (Version 4.4.5 *Business*) handelt es sich um ein dreidimensionales, gekoppeltes **Strömungs-Energiebilanzmodell**, das mittels numerischer Verfahren den atmosphärischen Zustand über einer Erdoberfläche mit konkreter Beschaffenheit zu einem definierten Zeitpunkt berechnen und dreidimensional abbilden kann. Die physikalischen Grundlagen des Modells basieren auf den Gesetzen der Strömungsmechanik (Windfeld), der Thermodynamik (Temperaturberechnungen), der allgemeinen Atmosphärenphysik (z. B. Strahlungshaushalt) sowie der Human-Thermophysiologie (metabolischer Wärmehaushalt) (BRUSE 2004). Die Interaktion zwischen Topografie und Atmosphäre wird über die vier gekoppelten Teilmodelle Atmosphäre (3D, nicht-hydrostatisch), Boden/Grenzfläche (3D), Vegetation (1D) sowie ein Randmodell für den externen atmosphärischen Antrieb beschrieben.

Bei dem Simulationsverfahren wird die Realität in einem numerischen **dreidimensionalen Raumgitter** abgebildet, welches sowohl die Erdoberfläche inklusive Boden, Bebauung und Vegetation als auch die Atmosphäre einschließt. Hierbei werden Gebäude und Vegetation explizit lage- und maßstabsgetreu abgebildet. Für die atmosphärischen Gitterzellen werden die atmosphärischen Zustände des Impulses (Wind, Transport), der Wärme und der Feuchte berechnet. Durch die Berücksichtigung der physikalisch-mathematischen Interaktion benachbarter Atmosphäregitterzellen sowohl untereinander als auch mit der digitalisierten Erdoberfläche sowie durch die Berechnung der zeitlichen Änderung der atmosphärischen Zustandsgrößen in diskreten Zeitschritten kann der atmosphärische Zustand abgebildet werden.

Um das Modell operabel halten zu können, ist eine bei numerischen Modellen allgemein übliche, vereinfachende **Abstraktion** der Realität notwendig, in dem einerseits der reale Raum in ein diskretes Raumgitter zerlegt wird, sodass das Modell umso ungenauer arbeitet, je größer die Gitterauflösung ist. So können z. B. Straßenbögen, runde Wände, Baumkronen oder schräge Dächer nicht naturgetreu abgebildet werden, sondern müssen in rechteckige Würfelkubaturen zerlegt werden. Ferner müssen die Oberflächeneigenschaften parametrisiert werden, da die Vielzahl der in natura anzutreffenden Objekte (Bau-, Gesteins- und Bodenmaterialien sowie Vegetationsarten) einschließlich ihrer morphologischen und thermophysikalischen Eigenschaften nicht in Ihrer Gesamtheit erfasst werden kann. Stattdessen können nur einige wenige repräsentative Objekttypen berücksichtigt werden, die zur Parametrisierung der übrigen Typen herangezogen werden. Darüber hinaus ist in ENVI-met bei **Gebäuden** eine Differenzierung des Baumaterials (Stein, Beton, Holz, etc.) oder Fassadeneigenschaften (Farbe, Verglasung, Begrünung, Dämmung, etc.) derzeit nur für die Untersuchung von Einzelgebäuden, jedoch nicht für ganze Quartiere vorgesehen, sodass für sämtliche Gebäude einheitliche thermophysikalische Parameter definiert werden.

Im **Bodenmodell** sind unterschiedliche Bodenarten (u. a. Sand, Schluff, Ton oder Lehm) mit ihren jeweiligen thermophysikalischen und hydrologischen Eigenschaften differenzierbar.

Die **Vegetation** ist bezüglich Gestalt und Evaporationsphysiologie differenzierbar, sodass in Abhängigkeit des Bodensubstrates und des Bodenwassergehaltes Verdunstungs- und damit verbundene Abkühlungseffekte berechnet werden können. Die Vegetation kann auch als **Dachbegrünung** verarbeitet werden, wobei in diesem speziellen Fall aus modelltechnischen Vereinfachungsgründen die Zuweisung eines Substrates bzw. Bodens nicht möglich ist, da die Dachbegrünung modelltechnisch stets als optimal wasserversorgt definiert ist.

Das Modell kann seit Version 4 das **Relief** berücksichtigen, allerdings auf Kosten der Anzahl vertikaler Modellatmosphärenschichten, welche modellbedingt auf 25 Schichten begrenzt ist. Daher müssen bei größeren Geländehöhenunterschieden, beispielsweise in Tälern, zur Erlangung einer hinreichend hohen Atmosphäre über den höchsten Geländepunkten sehr große Schichtdicken gewählt werden, sodass im Gegenzug die vertikale Auflösung in Bo-

dennähe sehr ungenau wird. Daher sind nur die im **Mikrorelief** anzutreffenden Geländehöhenunterschiede von wenigen Metern, wie beispielsweise kleinere Dämme, Wälle oder Regenrückhaltebecken, sinnvoll darstellbar, während für das gesamte Simulationsgebiet weiterhin eine ebene Fläche angenommen wird.

Neben der Information zur Beschreibung der Erdoberfläche ist für die Simulation die Vorgabe von **meteorologischen und bodenklimatischen Randbedingungen** erforderlich. Diese beinhalten sowohl Angaben zu den gewünschten Witterungsbedingungen, zum Monatsdatum (aus dem die solaren Strahlungsbedingungen und damit der Wärmehaushalt zwischen Erdoberfläche und Atmosphäre berechnet werden) sowie zu lokal- und regionalspezifischen klimatischen Besonderheiten, insbesondere den Windverhältnissen. Auch Bodentemperaturen und -feuchtigkeiten (Wassergehalt als relativer Anteil des pflanzenverfügbaren Wassers zwischen Welkepunkt und Feldkapazität) werden vorgegeben. Diese modellinitialisierenden meteorologischen Randbedingungen gelten zum Zeitpunkt des Modellstarts für das gesamte Modellgebiet, sodass innerhalb des Gebietes anfangs keine räumliche Differenzierung dieser Parameter (z. B. nach kühlen Waldflächen und heißen Asphaltflächen oder nach hitzetrockenen Brachenböden und bewässerten Parkböden) möglich ist. Die räumliche Klimadifferenzierung wird erst während der Simulation iterativ durch die Berechnung aufeinander aufbauender Modellzeitschritte generiert. Für Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit können **Tagesgangwerte** vorgegeben werden, die zu erreichen sind und anhand derer die Simulationsergebnisse modellintern kalibriert werden (sog. Forcing).

Ausgehend von den topografischen und klimatischen Eingangsparametern können anschließend für die atmosphärischen Gitterzellen zahlreiche klimatische Zustandsgrößen berechnet werden, unter anderem die hier benötigte Windgeschwindigkeit und -richtung, Lufttemperatur, Luftfeuchte und die thermische Behaglichkeit.

Hinweis: Obwohl Simulationsmodelle derzeit die einzige Möglichkeit darstellen, **Plan-Zustände** einer klimatischen Situation in hoher räumlicher Auflösung zu untersuchen, können sie atmosphärische Prozesse aufgrund der erforderlichen Vereinfachungen nur **näherungsweise** beschreiben (HUPFER & KUTTLER 2006) und sind damit eher für **relative Aussagen** und weniger zur Ermittlung absoluter, korrekter Werte geeignet (BAKLANOV et al. 2009). Die Erfahrung zeigt jedoch, dass die Simulationsergebnisse in der Regel **plausibel** sind. Sollten Zweifel an Simulationsergebnissen bestehen, sind nach Eintreten des Plan-Zustandes **verifizierende** In-Situ-Messungen zu empfehlen.

A2 Witterungsszenario für die Simulationen

Für die Simulationen wird als Witterungsszenario ein, für die vorliegende Fragestellung üblicher, typischer Tagesverlauf eines autochthonen **heißen Sommertages** angenommen, der wolkenfrei, sonnenreich und austauscham, d. h. von überregionalen Windfeldern unbeeinflusst, ist. Unter diesen Bedingungen kommen lokalklimatische Effekte besonders zur Geltung (HUPFER & KUTTLER 2006, MW-BW 2012) und die Wärmebelastung ist aus bioklimatischer Sicht als kritisch zu betrachten (MUNLV 2010).

Fehlende Bewölkung führt am Tage zu hoher Sonneneinstrahlung und damit zur Aufheizung der urbanen Oberflächen. Die Böden sind jedoch noch hinreichend feucht, sodass Verdunstung zur Senkung der Lufttemperaturen stattfinden kann. Es werden Tageshöchsttemperaturen von 30 °C (*heißer Tag*) überschritten. Mangelnde Durchlüftung führt zu Wärmestau im Quartier. Hitzestress am Tage ist somit in dieser Situation gegeben. Auch nächtliche Abkühlung findet kaum oder nur langsam statt. Die Bedingungen einer Tropennacht (Tiefsttemperatur > 20°C) werden erreicht.

Modelltechnisch werden die atmosphärischen Prozesse durch die im Tagesgang vorgegebene Sonneneinstrahlung auf das Geländemodell und dessen stetige Interaktion mit der Atmosphäre (insbesondere Wärmestrahlung der Oberflächen und anschließender atmosphärischer turbulenter Wärmetransport) generiert. Für das Witterungsszenario werden daher die meteorologischen Bedingungen für den Zeitpunkt kurz vor Sonnenaufgang (5 Uhr) als Beginn des meteorologischen Tageszyklus vorgegeben (siehe **Tab. A 1**). Hiervon ausgehend werden zunächst die Modellstunden der bis zum Nachmittag dauernden Einschwingphase und daran anschließend 24 numerisch aufeinander aufbauende Stundendatensätze der meteorologischen Parameter berechnet.

Tab. A 1: Initialisierungsparameter für das Simulationsmodell ENVI-met.

Modelldimensionierung		
Modelltagstunden bzw. Witterungsandauer / h	35	
Zeitliche Auflösung des Modelllaufes / h	1,0	
Meteorologische Randbedingungen		
Start Simulation für Datum (DD.MM.)	21.06.	
Start Simulation zur Ortszeit (HH:MM) / MEZ	05:00	= Startzeitpunkt der Einschwingphase (11h)
Simulationsschritte (Modelltagesstunden)	35	(Einschwingphase + 24h-Zyklus)
Windgeschwindigkeit in 10 m ü. Gr. / m/s	1,0	Quelle: RVR 2011
Initiaallufttemperatur (2 m ü. Gr.) / °C	siehe Tagesgang	
Relative Initiaalluftfeuchte (2 m ü. Gr.) / %	siehe Tagesgang	
Bewölkung (x/8)	0	
Bodenparameter		
Initialtemperatur obere Schicht (0-20 cm) / °C	22,8	Quelle: KUTTLER et al. 2012b
Initialtemperatur mittlere Schicht (20-50 cm) / °C	23,0	Quelle: KUTTLER et al. 2012b
Initialtemperatur untere Schicht (< 50 cm) / °C	23,0	Quelle: KUTTLER et al. 2012b
Bodenwassergehalt* obere Schicht (0-20 cm) / %	75	Quelle: KUTTLER et al. 2012b
Bodenwassergehalt* mittl. Schicht (20-50 cm) / %	80	Quelle: KUTTLER et al. 2012b
Bodenwassergehalt* untere Schicht (< 50 cm) / %	80	Quelle: KUTTLER et al. 2012b
* Wassergehalt als relativer Anteil des pflanzenverfügbaren Wassers zwischen Welkepunkt und Feldkapazität		

Das Datum, mittels dessen der astronomisch bedingte Strahlungshaushalt (welcher den Energie-/Wärmehaushalt im System Erdoberfläche-Atmosphäre maßgeblich bestimmt) errechnet wird, wird auf den 21. Juni festgesetzt, da hier der solare Strahlungsantrieb am größten ist.

Für Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit werden die jeweiligen Tagesgänge über Stundenmittelwerte vorgegeben (**Abb. A 1**), die zu erreichen sind und anhand derer die Simulationsergebnisse modellintern kalibriert werden. Dabei werden typisierte Werte aus einer langen Messreihe einer nordwestdeutschen Großstadt verwendet.

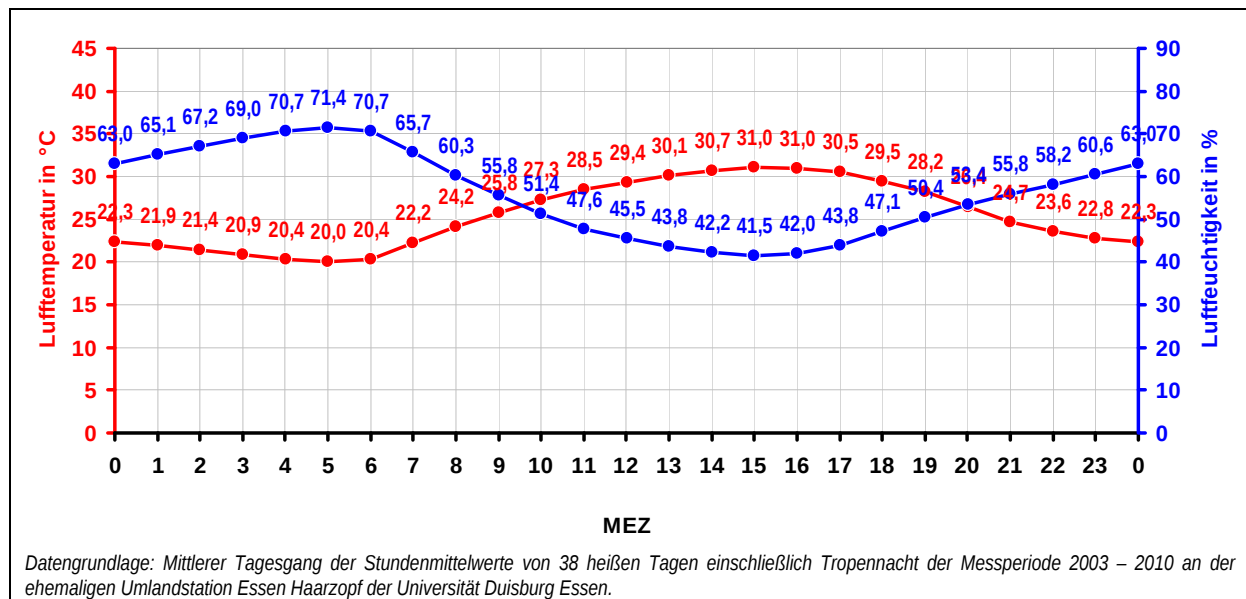


Abb. A 1: Typischer mittlerer Tagesgang der Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit für einen heißen Tag mit Tropennacht.

Die Windverhältnisse wurden aus der Klimaanalyse Recklinghausen (RVR 2011) übernommen.

Für die Bodendaten wurden in guter Näherung Messwerte aus Essen verwendet (KUTTLER et al. 2012b).

Für den Simulationsstartzeitpunkt um 5 Uhr morgens beträgt somit die Bodentemperatur 22,8 °C bei einem Bodenfeuchtegehalt von 75 % (relativ zur Feldkapazität). Die Lufttemperatur in 2 m ü. Gr. liegt bei 20,0 °C bei einem Luftfeuchtegehalt von 71,4 %. Der übergeordnete Wind in 10 m ü. Gr. weht mit einer Geschwindigkeit von 1,0 m/s. Die Gebäudeinnentemperatur beträgt 23 °C. Bezüglich der humanphysiologischen Vorgaben zur Bewertung der thermischen Behaglichkeit wird in dem Szenario eine Durchschnittsperson angenommen, die sich mit normalem Tempo (1,0 m/s) bewegt und leichte Sommeroberbekleidung (Wärmedurchgangswiderstand der Bekleidung clo = 0,5) trägt.

A3 Physiologische Äquivalenttemperatur PET zur thermischen Behaglichkeit

Für Aussagen zum **Bioklima** sind Wärmebelastungsindizes optimale Maßzahlen, die noch präziser als die Lufttemperatur Aussagen zum Wärme- und Hitzeempfinden, aber auch zu Kältereizen, erlauben. Unter dem planerischen Aspekt des Schutzes der Bevölkerung vor Hitzestress sind die Wärmebelastungsindizes als Maßzahlen der Lufttemperatur oder der gefühlten Temperatur auf jeden Fall vorzuziehen.

In dieser Untersuchung wird als Wärmebelastungsindex die **thermische Behaglichkeit** anhand der Physiologischen Äquivalenttemperatur (PET) (MAYER 2006, VDI 2008) bewertet (Tab. A 2).

Der PET-Wert berücksichtigt, ähnlich wie die *gefühlte Temperatur* des Deutschen Wetterdienstes DWD, neben der Lufttemperatur weitere meteorologische Einflussgrößen, welche die Thermoregulation des menschlichen Körpers beeinflussen. Hierzu zählen die Luftfeuchtigkeit (vgl. trockene „Wüsten“- vs. feuchte „Tropen“-Hitze), die Transpiration fördernde Windgeschwindigkeit (zur Schweißverdunstung), die Wärmestrahlung der Oberflächen und umliegenden Gebäude sowie insbesondere die Exposition zur direkten Sonneneinstrahlung

am Tage („Weißes- vs. Schwarzes-T-Shirt-Effekt“ und Sonnenstich). Ferner wird die Art der Bekleidung und der Grad der körperlichen Aktivität berücksichtigt.

Tab. A 2: Skala PET-Werte für thermisches Empfinden und zugehörige Behaglichkeitsstufen nach VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 (VDI 2008) und MAYER (2006).

PET in °C	Thermisches Empfinden	Belastungsstufe	Physiologische Wirkung
4	sehr kalt	extreme Belastung	Kältestress
8	kalt	starke Belastung	
13	kühl	mäßige Belastung	
18	leicht kühl	schwache Belastung	Kühlereiz
23	behaglich	keine Belastung	
29	leicht warm	schwache Belastung	Wärmereiz
35	warm	mäßige Belastung	
41	heiß	starke Belastung	
	sehr heiß	extreme Belastung	Hitzestress

Daher ist an heißen Tagen die Hitzebelastung auf sonnenexponierten Freilandflächen am Tage deutlich höher als z. B. in verschatteten Straßenschluchten einer dichten Bebauung.

Der PET-Wert wird direkt aus den simulierten meteorologischen Größen Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Strahlungstemperatur und Windgeschwindigkeit unter zusätzlicher Berücksichtigung humanphysiologischer Kenngrößen sowie des Grades der körperlichen Aktivität und der Bekleidungsart berechnet.

Hier wird von einer Durchschnittsperson ausgegangen, die in arm- und beinfreier Sommeroberbekleidung in normalem Schrittempo geht.

Eine Einschränkung in der Interpretation der thermischen Behaglichkeit ist durch den Bekleidungsindex gegeben, der zum Simulationsstart einmalig vorgegeben wird und sich modellbedingt während der Simulation nicht ändert. Daher wird im Tagesgang heißer Tage bei Vorgabe arm- und beinfreier Sommerbekleidung die thermische Behaglichkeit nachts leicht unterschätzt.

A4 Ergänzende Angaben zur Simulation des Plangebietes W2



Abb. A 2: Plangebiet W2: Digitale Modelle der Böden und Oberflächen (links) sowie der Gebäude und Vegetation (rechts) für das Klimamodell für den Ist-Zustand.



Abb. A 3: Plangebiet W2: Digitale Modelle der Böden und Oberflächen (links) sowie der Gebäude und Vegetation (rechts) für das Klimamodell für den ersten Planentwurf.



Abb. A 4: Plangebiet W2: Digitale Modelle der Böden und Oberflächen (links) sowie der Gebäude und Vegetation (rechts) für das Klimamodell für den klimaoptimierten Planentwurf.

A5 Ergänzende Angaben zur Simulation der Plangebiete W3a+b

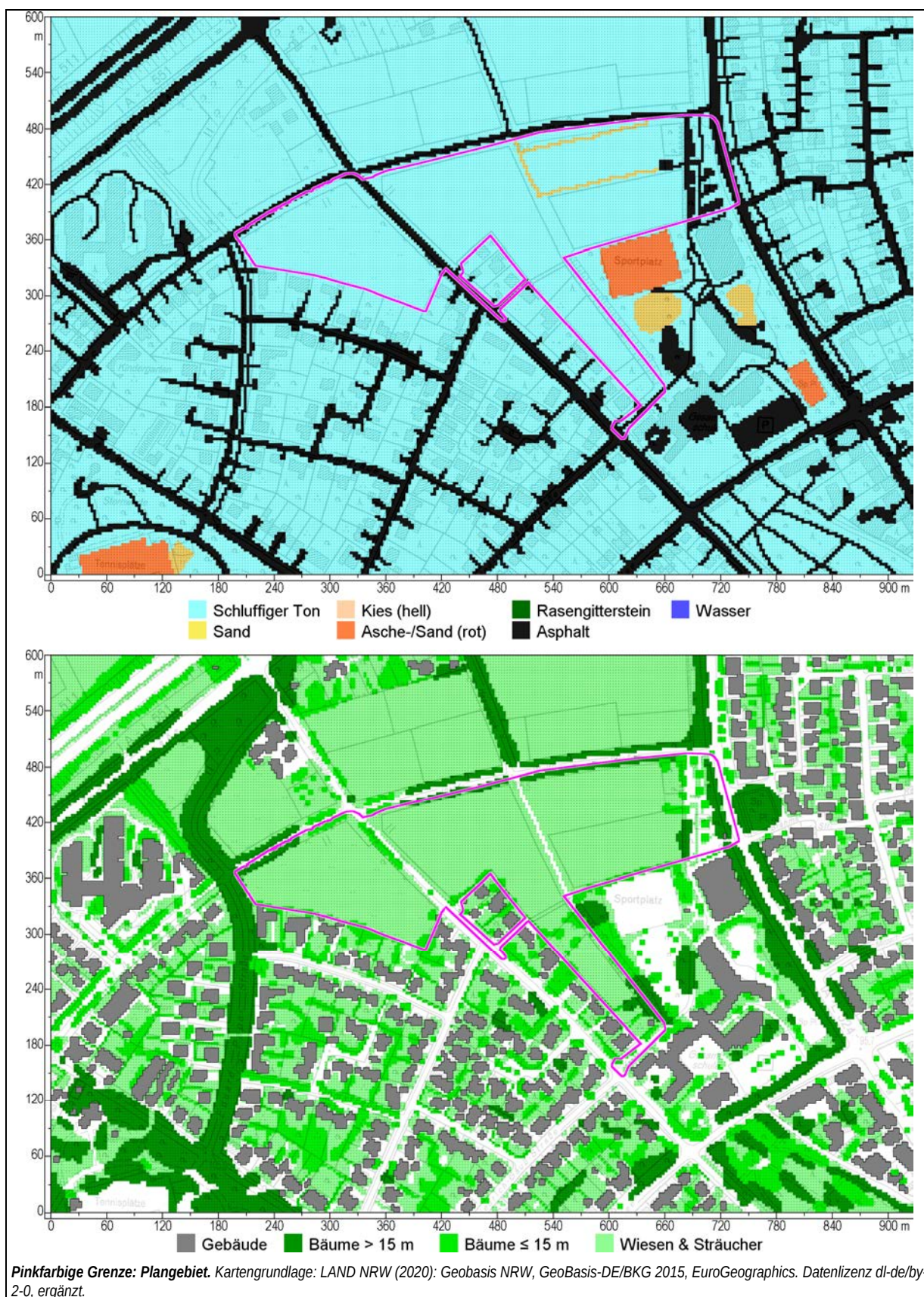


Abb. A 5: Plangebiet W3: Digitale Modelle der Böden und Oberflächen (oben) sowie der Gebäude und Vegetation (unten) für das Klimamodell für den Ist-Zustand.

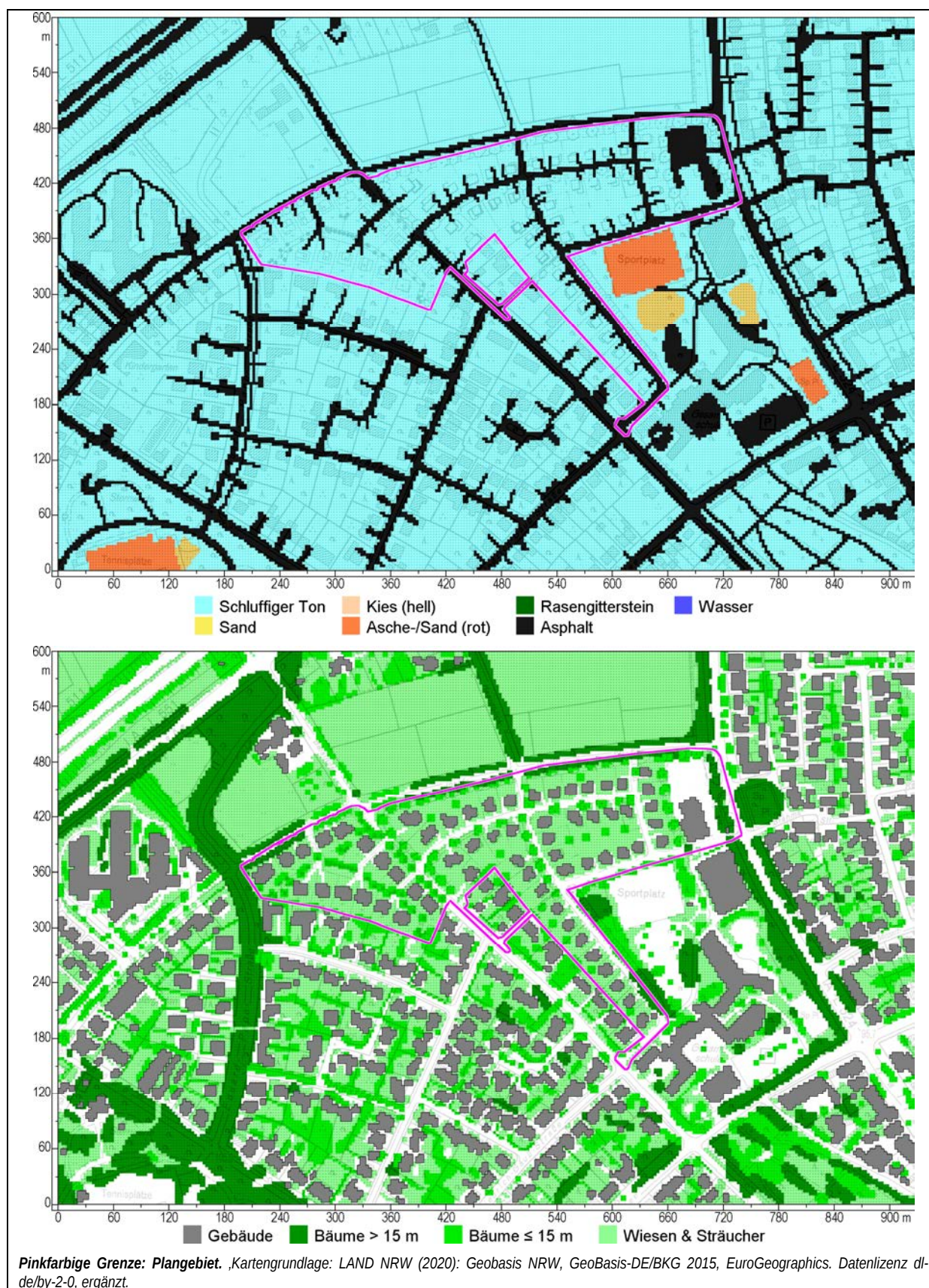


Abb. A 6: Plangebiet W3: Digitale Modelle der Böden und Oberflächen (oben) sowie der Gebäude und Vegetation (unten) für das Klimamodell für den Ist-Zustand.

A6 Empirische Berechnungen zu Kaltluftprozessen

Auswirkungen von Kaltluftprozessen werden über die etablierten empirisch-statistischen Verfahren der Karten- und Reliefanalyse gemäß der VDI-„Kaltlufrichtlinie“ VDI 3787 Blatt 5 (2003) zur Ersteinschätzung von Merkmalen von Kaltluftprozessen vorgenommen.

Die Verfahren erlauben die plausible Abschätzung der Kaltluftproduktion sowie der Kaltluftschichtdicken und -fließgeschwindigkeiten von Kaltluftflüssen.

Berechnung der Kaltluflthöhe und -fließgeschwindigkeit nach DEFANT und BRIGGS

Eine Abschätzung der vertikalen Mächtigkeit von Kaltluftströmen sowie deren Fließgeschwindigkeit ist anhand der empirischen Verfahren von DEFANT und BRIGGS möglich.

Die Kaltluftabflussgeschwindigkeit wird nach folgender Gleichung von DEFANT (1933) anhand der Hangneigung, der Oberflächenrauigkeit, der Kaltluftmächtigkeit, sowie der Kaltluftuntertemperatur abgeschätzt:

$$v_A = \sqrt{\frac{gh_{KL}}{\mu} \frac{\theta - \theta_{KL}}{\theta} \sin \alpha_H} \quad \text{m/s}$$

mit v_A	: Abflussgeschwindigkeit	m/s
g	: Normschwerebeschleunigung; $g = 9,80665$	m/s
h_{KL}	: vertikale Kaltluftmächtigkeit	m
μ	: DEFANTSche Reibungskonstante; $0,050 \leq \mu \leq 0,100$ für Wald, sonst $\mu = 0,002$	1
θ	: potenzielle Lufttemperatur (über der Kaltluft)	K
θ_{KL}	: potenzielle Kaltlufttemperatur	K
α_H	: Hangneigung	Grad °

Die hierbei zu bestimmende Vertikalmächtigkeit der hangabfließenden, bodennahen Kaltluftteilschicht lässt sich mit hinreichender Genauigkeit für rauigkeitsarme Flächen nach dem Ansatz von BRIGGS (1979) berechnen:

$$h_{KL} = 0,0375 \sin \alpha_H^{2/3} x_{KL} \quad \text{m}$$

mit h_{KL}	: strömungswirksame Kaltluftmächtigkeit	m
α_H	: Hangneigung	Grad °
x_{KL}	: zurückgelegte Fließstrecke	m

Infokasten – Einführung in die Klimatologie

Das Klima eines Ortes wird neben der zugehörigen Klimazone und dem Lagebezug zu den Ozeanen vor allem durch die vorhandene Topografie und das Relief geprägt (HUPFER & KUTTLER 2006).

Während sog. **allochthoner**, d. h. **austauschreicher** Witterung, welche den **Normalzustand** der Atmosphäre darstellt, sind die **Effekte** der **Topografie** und des **Reliefs** eher **schwach** ausgeprägt: Die übergeordneten, überregionalen und mehrere hundert Meter bis einige Kilometer hohen Windfelder der Troposphäre durchdringen mit relativ hohen Windgeschwindigkeiten die bodennahe Atmosphäre und verwischen dabei die lokalen Klimaefekte durch Durchmischung und schnellen Abtransport. Diese Witterungssituation stellt i. d. R. *keine* für die menschliche Gesundheit kritische Situation dar.

Während sog. **autochthoner**, d. h. wolkenfreier und sonnenreicher sowie **austauscharmer**, von überregionalen Windfeldern unbeeinflussten, Wetterlagen tritt hingegen das **lokale Klima** deutlicher in Erscheinung. Das Klima wird hierbei *maßgeblich* durch das lokale Relief und die Topografie geprägt, allerdings ist deren räumliche Wirkung aufgrund des Fehlens eines überregionalen Windfeldes auf die nähere Umgebung beschränkt. Winde treten hierbei nur lokal vorzugsweise auf Freilandflächen und überwiegend nachts in Form *bodengebundener schwacher Kaltluftströmungen* auf, die äußerst anfällig für Strömungshindernisse wie z. B. städtische Bebauung, Dämme, Gehölzstreifen oder Wälder sind (VDI 2003). Flächenutzungen mit für die menschliche **Gesundheit** ungünstigen klimatischen oder lufthygienischen Eigenschaften können bei solchen Wetterlagen fallweise ein **Problem** darstellen.

Städte zeichnen sich gegenüber der freien Landschaft im Allgemeinen durch eine durch Sonneneinstrahlung bedingte Aufheizungstendenz von Gebäuden und versiegelten Oberflächen („Städtische **Wärmeinsel**“) sowie durch Industrie, Hausbrand und Verkehr bedingte erhöhte **Spurenstoffbelastungen** bei gleichzeitig Bebauung bedingten reduzierten Durchlüftungsverhältnissen aus (KUTTLER 2004a,b).

Die Ausprägung der **stadtklimatischen Effekte** ist primär von der Lagedichte der Bebauung und der räumlichen Verteilung von versiegelten Flächen und Quellen atmosphärischer Spurenstoffe abhängig (HELBIG et al. 1999). Mit zunehmender räumlicher Dichte dieser Faktoren verstärken sich die o. g. stadtklimatischen Effekte, die in dicht bebauten Innenstadtbereichen deutlicher ausgeprägt sind als an aufgelockert bebauten und grüneren Stadträndern oder in ländlichen Siedlungen (MW-BW 2012). Während autochthoner Witterung können bodennahe Kaltluftflüsse aus dem Umland als **Kalt-** oder **Frischluf**t positiv auf das Klima der Siedlungsräume wirken (insbesondere in heißen Sommernächten), sofern sie nicht durch Strömungshindernisse blockiert und idealerweise zusätzlich über hindernisfreie **Ventilationsbahnen** in die Bebauung hineingelenkt werden können.

Weitere, ausführlichere Informationen zur Gelände- und Stadtklimatologie sind z. B. in der *städtebaulichen Klimafibel* (MW-BW 2012) zu finden: <http://www.staedtebauliche-klimafibel.de/pdf/Klimafibel-2012.pdf>

Infokasten – Entstehung und Relevanz von Kaltluft in der planungsrelevanten Klimatologie

Vorbemerkung: Detaillierte und zusammenfassende Darstellungen zum Thema bodennahe Kaltluft findet man z. B. in der „Kaltlufttrichtlinie“ (VDI 3787/5 2003) oder bei DÜTEMEYER (2000a).

Entstehung

Lokale, d. h. nicht advehierte, autochthone bodennahe Kaltluft bildet sich ungeachtet der Quantität oder Qualität bei negativer Strahlungsbilanz, also hauptsächlich **nachts**, de facto über allen festen Flächen (stillstehende oder seicht fließende Gewässer ausgenommen). Gegenüber der Einstrahlungssituation am Tage verlieren die Oberflächen Wärme, die durch Wärmeentzug aus der Atmosphäre nur teilweise kompensiert werden kann (OKE 1987). Es handelt sich somit um einen Auskühlungsprozess der bodennahen Atmosphäre von der Unterseite her.

Je nach materialspezifischen thermophysikalischen Eigenschaften der Oberflächen sind die Abkühlungseffekte in der bodennahen Luftschicht unterschiedlich groß (KUTTLER 1998a). Dabei ist der **relative** räumliche Bezug zu beachten, bei dem für einen gegebenen Zeitpunkt die Luftabkühlung über einer Fläche gegen eine anders exponierte oder beschaffene Fläche oder gegen eine höhere Luftschicht am gleichen Ort (i. d. R. oberhalb der Kaltluftinversion, die sog. „**Reservoirschicht**“) verglichen wird.

In der planungsrelevanten Stadtklimatologie ist in der Regel nur die Kaltluftproduktion auf **unversiegelten Flächen** wie z. B. Wiesen, Agrarflächen oder Wäldern von praktischem Interesse (KUTTLER 1998b), da die Oberflächenabkühlungsraten und die daran gekoppelten Kaltluftproduktionsraten der versiegelten (urbanen) Oberflächen i. d. R. vergleichsweise gering und damit hinsichtlich möglicher Kaltluftflüsse (s. u.) vernachlässigbar sind.

Bedeutendes Kennzeichen der Kaltluft ist neben ihrer **Untertemperatur** gegenüber der Reservoirschicht insbesondere die oberflächenabhängige Fähigkeit zum raschen Höhenwachstum. Hinsichtlich einer exakten Definition der Kaltluft besteht bis heute das **Problem**, dass es keine Schwellenwerte für eine minimale Untertemperatur oder Kaltluftproduktivität gibt, die die Luft zur Erfüllung der Definition annehmen müsste (KUTTLER 1998b).

Da Kaltluft dichter und damit schwerer als die wärmere Umgebungsluft ist, bildet sie die unterste Atmosphärenschicht und liegt direkt auf der Erdoberfläche. Die Schichtung der Kaltluft ist sehr stabil und in **flachem Gelände** äußerst **lagefest**. Ein **Kaltlufttransport** kann hier durch eine ausgeprägte städtische Wärmeinsel erfolgen, die als relatives örtliches Tiefdruckgebiet die Kaltluft bodennah vom Umland („von der Flur“) in Richtung Siedlung saugt (**Flurwind**) (VDI 2003). In **geneigtem Gelände** hingegen fließt die Kaltluft durch die Schwerkraft (d. h. **gravitativ**) hangabwärts und wird dabei mit zunehmender Fließstrecke vertikal zunehmend dicker.

Kaltluftströme sind jedoch sehr empfindlich gegenüber Strömungshindernissen wie Dämmen, Mauern, Häusern, Hecken, Gehölzen oder Wäldern, welche die Kaltluftströme stoppen und zu einem luvseitigen **Kaltluftstau** mit anschließender Ausbildung von **Kaltluftseen** führen können. Der städtische **Bebauungsrand** an der Grenze zum Umland stellt i. d. R. selbst einen **Strömungsriegel** dar, der die Eindringtiefe der Kaltluft normalerweise auf wenige Zehner Meter beschränkt. Eine höhere Eindringtiefe wird erst durch hindernisfreie Grünflächenachsen erzielt, die als sog. **Ventilationsbahnen** fingerartig vom Umland bis tief in die Bebauung hineinreichen. Selbst unter diesen günstigen Voraussetzungen ist die Tiefenwirkung der Kaltluft begrenzt, weil sie mit zunehmender Eindringtiefe durch die warme Bebauung selbst zunehmend erwärmt wird (sog. „**Altern** der Kaltluft“). Aus diesem Grund tritt eine spürbare Kühlwirkung bei **innerstädtischen Grünflächen** erst ein, wenn diese eine hinreichende Größe von mindestens einigen Hektar aufweisen. (KUTTLER 2011b).

Planerische Relevanz

Die Relevanz einer Fläche bezüglich der Kaltluft wäre dadurch gegeben, dass

- die Kaltluft ohne Einfluss eines etwaigen übergeordneten Windfeldes entweder rein **gravitativ**, d. h. aus eigenem Antrieb, oder als durch eine städtische Wärmeinsel initiiert **Flurwind** aus der Fläche (**Quellgebiet**) abfließt,
- hinsichtlich der Fließrichtung einer wärmeren Fläche oder einem wärmeren Gebiet mit sensibler Nutzung zufließt (**Wirkraum**, z. B. Wohngebiet), in dem die Kaltluft zur Verbesserung des Klimas beitragen kann,
- die Kaltluft eine hinreichende Geschwindigkeit und vertikale Mächtigkeit hat, um in den Wirkraum einzudringen.
- die Kaltluft im Wirkraum noch eine hinreichende **Untertemperatur** besitzt, um einen spürbaren Kühlungseffekt zu erzielen.

Die Prämissen implizieren gleichzeitig, dass jedwede Luft, die außerhalb des Wirkraums liegt und kühler als diese ist, als Kaltluft aufgefasst werden muss, selbst wenn es sich um Gewässer oder weniger warme versiegelte Flächen handelt. Dieses gilt auch für **Wälder**, über denen ebenfalls eine (wenn auch **schwache**) Abkühlung auftritt.