



**Klimauntersuchung „Heilbronn-Neckarbogen“
für den Planungsstand 03/2014**

Auftraggeber: Stadt Heilbronn
Planungs- und Baurechtsamt
Cäzilienstraße 45
D-74072 Heilbronn

Durchführung: Ingenieurbüro Rau
Bottwarbahnstraße 4
D-74081 Heilbronn

unter Mitarbeit von: Dr. Dütemeyer
Umweltmeteorologie & EDV-Dienstleistungen
Kruppstraße 82-100 / ETEC
D-45145 Essen

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Zielsetzung	1
2	Einschätzung der klimatischen Verhältnisse im Raum Heilbronn	3
3	Problemanalyse und Methodik für die vorliegende Fragestellung	8
3.1	Problemanalyse.....	8
3.2	Methodik.....	9
4	Untersuchungsgebiet.....	11
5	Kleinräumige Untersuchung (mikroklimatische Simulation).....	13
5.1	Grundlagen	13
5.1.1	Modell	13
5.1.2	Eingangsdaten	15
5.1.3	Meteorologische Randbedingungen	23
5.1.3.1	Klarer heißer Sommertag mit schwachem Südwind.....	25
5.1.3.2	Bedeckter Sommertag mit starkem Südwind	25
5.1.3.3	Durchschnittliche mittlere Verhältnisse mit Bedeckung und schwachem Südwestwind.....	26
5.2	Ergebnisse	26
5.2.1	Szenario klarer heißer Sommertag mit schwachem Südwind.....	27
5.2.1.1	Tagsituation (15 Uhr MEZ)	27
5.2.1.2	Nachtsituation (23 Uhr MEZ)	35
5.2.1.3	Morgensituation (5 Uhr MEZ)	40
5.2.2	Szenario bedeckter Sommertag mit starkem Südwind	44
5.2.2.1	Tagsituation (15 Uhr MEZ)	44
5.2.2.2	Nachtsituation (23 Uhr MEZ)	49
5.2.2.3	Morgensituation (5 Uhr MEZ)	53
5.2.3	Szenario für durchschnittliche mittlere Verhältnisse mit Bedeckung und schwachem Südwestwind	57
5.2.3.1	Tagsituation (15 Uhr MEZ)	57
5.2.3.2	Nachtsituation (23 Uhr MEZ)	62
5.2.3.3	Morgensituation (5 Uhr MEZ)	66
5.2.4	Zusammenfassung der Ergebnisse des Planentwurfs.....	70
5.2.5	Stadtklimatisch kritische Punkte des Planentwurfs auf einen Blick.....	70
6	Bodennahe Windverhältnisse und Windkomfort	71
6.1	Grundlagen	71
6.1.1	Modell	71
6.1.2	Eingangsdaten	71
6.1.3	Untersuchungsumfang	72
6.2	Qualitative Ermittlung und Beurteilung der bodennahen Windverhältnisse	74
6.2.1	Fazit der qualitativen Beurteilung der Geschwindigkeitsverhältnisse.....	80

6.3	Ermittlung des Windkomforts.....	81
6.3.1	Vorgehensweise	81
6.3.2	Auswahl von Beurteilungspunkten	84
6.3.3	Bewertung des Windkomforts für die zehn ausgewählten Punkte	85
7	Zusammenfassung und abschließende Empfehlungen	87
7.1	Optimierung der Baumstandorte.....	88
7.2	Neuausrichtung der Gebäudelage zur Verbesserung der Durchlüftung in Quartieren	88
7.3	Verbesserung der Durchlüftung in den Innenhofbereichen	89
8	Literaturverzeichnis	90
	Anhang A.....	I

Dieses Dokument ist frei von Rechten Dritter.

Als Katastergrundlagen wurden, soweit nicht anders angegeben, von der Stadt Heilbronn (Kataster- und Vermessungsamt) zur Verfügung gestellte Plandaten verwendet.

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Skala des PMV-Wertes für thermisches Empfinden und zugehörige Behaglichkeitsstufen nach VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 [7].....	15
Tab. 2:	Initialisierungsparameter für das Simulationsmodell ENVI-met zur stadtklimatischen Untersuchung des Bauvorhabens „Heilbronn Neckarbogen“	24
Tab. 3:	Kriterien zur Beurteilung des lokalen Windklimas auf Belästigungen durch Wind	83

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Langjährige Häufigkeitsverteilungen der bodennahen Windverteilungen (SynAKS) im Raum Heilbronn	7
Abb. 2:	Plan-Zustand des Untersuchungs- und Simulationsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ [9] [10] - Darstellung mit 8° Nordabweichung	12
Abb. 3:	Digitales Boden- und Oberflächenmodell in ENVI-met 3.1 zum Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ (Darstellung mit 8° Nordabweichung)	18
Abb. 4:	Digitales Gebäude- und Vegetationsmodell in ENVI-met 3.1 zum Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ (Darstellung mit 8° Nordabweichung. Wall mit 0,25 m hoher Grasnarbe und Bäumen, hier nicht dargestellt)	19
Abb. 5:	3D-Ansicht mit Blickrichtung Nord des digitalen Gebäude- und Vegetationsmodells in ENVI-met 3.1 zum Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“	20
Abb. 6:	Resultierendes digitales Geländemodell in ENVI-met 3.1 zum Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ (Darstellung mit 8° Nordabweichung)	21
Abb. 7:	Vergleich der Topografie (links) und des resultierenden digitalen Geländemodells in ENVI-met 3.1 (rechts) zum Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ (Darstellung mit 8° Nordabweichung)	22
Abb. 8:	Verteilung der potenziellen Lufttemperatur in 2 m ü. Gr. im Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ für 15 Uhr MEZ eines klaren heißen Sommertages mit schwachem Südwind.....	31
Abb. 9:	Verteilung der Strömungsverhältnisse in 2 m ü. Gr. im Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ für 15 Uhr MEZ eines klaren heißen Sommertages mit schwachem Südwind.....	32
Abb. 10:	Verteilung der thermischen Behaglichkeit PMV in 2 m ü. Gr. im Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ für 15 Uhr MEZ eines klaren heißen Sommertages mit schwachem Südwind	33
Abb. 11:	3D-Ansicht zum Vergleich des Einflusses von Bebauung und Bäumen auf die thermische Behaglichkeit und die Windgeschwindigkeit	34
Abb. 12:	Verteilung der potenziellen Lufttemperatur in 2 m ü. Gr. im Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ für 23 Uhr MEZ eines klaren heißen Sommertages mit schwachem Südwind.....	37

Abb. 13:	Verteilung der Strömungsverhältnisse in 2 m ü. Gr. im Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ für 23 Uhr MEZ eines klaren heißen Sommertages mit schwachem Südwind.....	38
Abb. 14:	Verteilung der thermischen Behaglichkeit PMV in 2 m ü. Gr. im Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ für 23 Uhr MEZ eines klaren heißen Sommertages mit schwachem Südwind.....	39
Abb. 15:	Verteilung der potenziellen Lufttemperatur in 2 m ü. Gr. im Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ für 05 Uhr MEZ eines klaren heißen Sommertages mit schwachem Südwind.....	41
Abb. 16:	Verteilung der Strömungsverhältnisse in 2 m ü. Gr. im Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ für 05 Uhr MEZ eines klaren heißen Sommertages mit schwachem Südwind.....	42
Abb. 17:	Verteilung der thermischen Behaglichkeit PMV in 2 m ü. Gr. im Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ für 05 Uhr MEZ eines klaren heißen Sommertages mit schwachem Südwind.....	43
Abb. 18:	Verteilung der potenziellen Lufttemperatur in 2 m ü. Gr. im Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ für 15 Uhr MEZ eines bedeckten Sommertages mit starkem Südwind	46
Abb. 19:	Verteilung der Strömungsverhältnisse in 2 m ü. Gr. im Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ für 15 Uhr MEZ eines bedeckten Sommertages mit starkem Südwind	47
Abb. 20:	Verteilung der thermischen Behaglichkeit PMV in 2 m ü. Gr. im Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ für 15 Uhr MEZ eines bedeckten Sommertages mit starkem Südwind	48
Abb. 21:	Verteilung der potenziellen Lufttemperatur in 2 m ü. Gr. im Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ für 23 Uhr MEZ eines bedeckten Sommertages mit starkem Südwind	50
Abb. 22:	Verteilung der Strömungsverhältnisse in 2 m ü. Gr. im Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ für 23 Uhr MEZ eines bedeckten Sommertages mit starkem Südwind	51
Abb. 23:	Verteilung der thermischen Behaglichkeit PMV in 2 m ü. Gr. im Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ für 23 Uhr MEZ eines bedeckten Sommertages mit starkem Südwind	52
Abb. 24:	Verteilung der potenziellen Lufttemperatur in 2 m ü. Gr. im Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ für 05 Uhr MEZ eines bedeckten Sommertages mit starkem Südwind	54
Abb. 25:	Verteilung der Strömungsverhältnisse in 2 m ü. Gr. im Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ für 5 Uhr MEZ eines bedeckten Sommertages mit starkem Südwind	55
Abb. 26:	Verteilung der thermischen Behaglichkeit PMV in 2 m ü. Gr. im Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ für 05 Uhr MEZ eines bedeckten Sommertages mit starkem Südwind	56
Abb. 27:	Verteilung der potenziellen Lufttemperatur in 2 m ü. Gr. im Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ für 15 Uhr MEZ für durchschnittliche mittlere Verhältnisse mit Bedeckung und schwachem Südwestwind	59

Abb. 28:	Verteilung der Strömungsverhältnisse in 2 m ü. Gr. im Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ für 15 Uhr MEZ für durchschnittliche mittlere Verhältnisse mit Bedeckung und schwachem Südwestwind	60
Abb. 29:	Verteilung der thermischen Behaglichkeit PMV in 2 m ü. Gr. im Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ für 15 Uhr MEZ für durchschnittliche mittlere Verhältnisse mit Bedeckung und schwachem Südwestwind	61
Abb. 30:	Verteilung der potenziellen Lufttemperatur in 2 m ü. Gr. im Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ für 23 Uhr MEZ für durchschnittliche mittlere Verhältnisse mit Bedeckung und schwachem Südwestwind	63
Abb. 31:	Verteilung der Strömungsverhältnisse in 2 m ü. Gr. im Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ für 23 Uhr MEZ für durchschnittliche mittlere Verhältnisse mit Bedeckung und schwachem Südwestwind	64
Abb. 32:	Verteilung der thermischen Behaglichkeit PMV in 2 m ü. Gr. im Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ für 23 Uhr MEZ für durchschnittliche mittlere Verhältnisse mit Bedeckung und schwachem Südwestwind	65
Abb. 33:	Verteilung der potenziellen Lufttemperatur in 2 m ü. Gr. im Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ für 05 Uhr MEZ für durchschnittliche mittlere Verhältnisse mit Bedeckung und schwachem Südwestwind	67
Abb. 34:	Verteilung der Strömungsverhältnisse in 2 m ü. Gr. im Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ für 5 Uhr MEZ für durchschnittliche mittlere Verhältnisse mit Bedeckung und schwachem Südwestwind	68
Abb. 35:	Verteilung der thermischen Behaglichkeit PMV in 2 m ü. Gr. im Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ für 05 Uhr MEZ für durchschnittliche mittlere Verhältnisse mit Bedeckung und schwachem Südwestwind	69
Abb. 36:	Rahmenkonzeption für den Bereich Neckarbogen - Planungsstand März 2014 mit Abgrenzung des Detailgebietes für die Windfelduntersuchungen (Berechnungsgebiet: Blauer Umriss. Beurteilungsgebiet: Roter Umriss).....	73
Abb. 37:	Geschwindigkeitsverhältnisse innerhalb des Beurteilungsgebietes bei einer Anströmrichtung aus 240°	75
Abb. 38:	Einteilung der Windkomfortbereiche bei mittleren bis stärkeren Windgeschwindigkeiten in Lauf- und Verweilhöhe	83
Abb. 39:	Ergebnisse der Windkomfortberechnungen für die zehn exemplarisch gewählten Punkte bei mittleren bis stärkeren Windgeschwindigkeiten in Lauf- und Verweilhöhe	86

Abbildungen im Anhang A

Abb. A 1:	Geschwindigkeitsverhältnisse innerhalb des Beurteilungsgebietes bei einer Anströmrichtung aus 0°	I
Abb. A 2:	Geschwindigkeitsverhältnisse innerhalb des Beurteilungsgebietes bei einer Anströmrichtung aus 30°	II
Abb. A 3:	Geschwindigkeitsverhältnisse innerhalb des Beurteilungsgebietes bei einer Anströmrichtung aus 60°	III
Abb. A 4:	Geschwindigkeitsverhältnisse innerhalb des Beurteilungsgebietes bei einer Anströmrichtung aus 90°	IV
Abb. A 5:	Geschwindigkeitsverhältnisse innerhalb des Beurteilungsgebietes bei einer Anströmrichtung aus 120°	V
Abb. A 6:	Geschwindigkeitsverhältnisse innerhalb des Beurteilungsgebietes bei einer Anströmrichtung aus 150°	VI
Abb. A 7:	Geschwindigkeitsverhältnisse innerhalb des Beurteilungsgebietes bei einer Anströmrichtung aus 180°	VII
Abb. A 8:	Geschwindigkeitsverhältnisse innerhalb des Beurteilungsgebietes bei einer Anströmrichtung aus 210°	VIII
Abb. A 9:	Geschwindigkeitsverhältnisse innerhalb des Beurteilungsgebietes bei einer Anströmrichtung aus 240°	IX
Abb. A 10:	Geschwindigkeitsverhältnisse innerhalb des Beurteilungsgebietes bei einer Anströmrichtung aus 270°	X
Abb. A 11:	Geschwindigkeitsverhältnisse innerhalb des Beurteilungsgebietes bei einer Anströmrichtung aus 300°	XI
Abb. A 12:	Geschwindigkeitsverhältnisse innerhalb des Beurteilungsgebietes bei einer Anströmrichtung aus 330°	XII

1 Einleitung und Zielsetzung

Das IB Rau hat im Auftrag der Stadt Heilbronn eine Untersuchung zur Ermittlung der stadtklimatischen Verhältnisse bei Realisierung der geplanten Bebauung auf dem Fruchtschuppenareal (FSA) bzw. dem Gebiet östlich des Neckaraltarmes (Gebiet im Bereich Media-Markt) erstellt. In dieser Untersuchung vom 08.02.2012 [1], wurde die Bebauung und Verkehrsplanung des damals aktuellen Städtebaulichen Rahmenplans zu Grunde gelegt. Im Zuge der weiteren Planung wurde das Gebiet des städtebaulichen Rahmenplans, der unter dem Begriff Stadtquartier Neckarbogen geführt wird, in mehrere einzelne Bebauungspläne gegliedert. In diesen B-Plänen sind gegenüber dem im Jahre 2012 abgeschlossenen Gutachten eine Reihe von Planungsänderungen vorgenommen worden, die Auswirkungen auf das Kleinklima haben können. Sie sind im Folgenden benannt.

- Der Wall auf der Westseite des Gebietes Neckarbogen, der eine Abgrenzung zu der westlich angrenzenden Hafenbahn und Industrie bewirken soll, ist in seiner Ausdehnung, Lage und Höhe deutlich gegenüber der bisher untersuchten Variante verändert.
- Die Lage und Ausdehnung des Freizeitsees sowie Stadtsees wurden gegenüber der bisher untersuchten Variante verändert.
- Die geplante Bebauung unterscheidet sich deutlich von der bisher untersuchten Bebauung; auf Grund der Tatsache, dass mehr Wohn- und Arbeitsraum als bisher geplant geschaffen werden soll, ist die jetzige Planung stärker verdichtet bzw. weisen einige Gebäudeblöcke größere Gebäudehöhen auf.
- Verändert gegenüber der bisher untersuchten Planung ist die Bebauung östlich des Neckaraltarmes; neu dazu kommen die neuen Gebäude des Bildungscampus an der Mannheimer Straße sowie der Neubau der Experimenta.
- Ein Neubau der Kalistraße auf der Ostseite des Neckars erfolgt nicht; der Verkehr soll stattdessen über die bestehende Füger- und Weipertstraße zum Europaplatz geführt werden; klar definiert ist jetzt der Straßenraum der Weststrandstraße; die Anbindung des Europaplatzes nach Westen erfolgt über die neue Bleichinselbrücke, wodurch der Verlauf der bestehenden Kranenstraße teilweise etwas verändert wird.

Durch diese Änderungen sind gegenüber der bisherigen Untersuchung Änderungen der lokalklimatischen Verhältnisse innerhalb des Plangebietes Neckarbogen zu erwarten. Die neue städtebauliche Planung macht konkrete Aussagen zu einer möglichen Anordnung und Ausdehnung der Gebäudekörper sowie zu der Lage und Ausdehnung von Wasser- und Grünflächen innerhalb des Plangebietes. Auf dieser Planbasis ist es möglich, durch Mikrosimulationen die klimatischen Verhältnisse innerhalb des Plangebietes, die zum einen durch

das großräumige Stadtklima, zum anderen durch die Art der Bebauung und die Begrünung geprägt werden, zu quantifizieren und zu bewerten.

Bei stadtklimatologischen Untersuchungen für größere Plangebiete sind immer zwei Fragen von Interesse, und zwar:

- Wie wirkt sich die geplante zukünftige Bebauung/Nutzung auf dem Plangebiet auf das Stadtklima insgesamt aus?
- Welche klimatische Situation ist innerhalb des Plangebietes nach Realisierung der Planung zu erwarten?

Bei der ersten Fragestellung geht es darum, eine mögliche Beeinträchtigung des Stadtklimas in den umliegenden bebauten Gebieten durch die geplante Bebauung zu quantifizieren und zu beurteilen. Der Fokus dieser großräumigeren Betrachtung liegt dabei auf einer möglichen Beeinträchtigung der Wind- und Durchlüftungsverhältnisse in den an das Plangebiet angrenzenden Gebieten infolge einer geplanten Bebauung und Nutzung.

Die zweite Fragestellung richtet sich nach den Verhältnissen innerhalb der geplanten Bebauung und stellt somit eine Beurteilung der Planung aus lokal-klimatologischer Sicht dar. Es ist hier insbesondere zu prüfen, ob die in der Planung vorgesehene Bebauungsdichte und Gebäudeanordnung sowie die vorgesehene Ausdehnung bzw. Anordnung von Grünflächen eine ausreichende Durchlüftung des Plangebietes, vor allem bei schwachwindigen Strahlungswetterlagen, zulässt bzw. ob durch das Verhältnis von versiegelten zu durchgrünten Bereichen eine kleinklimatische Vielfalt zugunsten einer guten Aufenthaltsqualität sichergestellt werden kann.

Die erste Fragestellung wurde ausführlich in der Untersuchung aus dem Jahr 2012 [1] bearbeitet. Die hier vorliegende Untersuchung konzentriert sich somit ganz auf die lokalklimatische Situation innerhalb des Plangebietes Neckarbogen unter Berücksichtigung der neuen Planungsdetails gegenüber 2012, wie oben aufgeführt.

Das IB Rau wurde am 26.05.2014 von der Stadt Heilbronn mit dieser Klimauntersuchung beauftragt. Die Bearbeitung erfolgte in Zusammenarbeit mit dem Büro Dr. Dütemeyer Umweltmeteorologie & EDV-Dienstleistungen, Essen.

2 Einschätzung der klimatischen Verhältnisse im Raum Heilbronn

Für die Gesamtbeurteilung des Rahmenplans Stadtquartier Neckarbogen sind neben den lufthygienischen Verhältnissen auch die klimatischen Verhältnisse zu betrachten. Es interessieren dabei im Wesentlichen die sommerlichen Wetterlagen, die durch geringe großräumig wirkende Windgeschwindigkeiten geprägt sind. Bei diesen Wetterlagen bildet sich in städtischen Räumen eine so genannte Wärmeinsel aus, die unter anderem durch deutlich höhere mittlere Temperaturen und eine geringere relative Feuchte gegenüber dem Umland geprägt ist.

Vor dem Hintergrund der globalen Klimaänderung, deren Auswirkungen auch in unseren Räumen bereits spürbar werden, kommt den Fragen zum Stadtklima, vor allem in den Sommermonaten, eine immer größere Bedeutung zu. Zu erwarten ist zukünftig eine Zunahme der Häufigkeit von längeren, sehr warmen Perioden während der Sommermonate. Ein extremes Beispiel für die Auswirkungen einer solchen heißen Periode war der Sommer im Jahr 2003.

Während sehr warmer, windschwacher Perioden findet eine allmähliche Zunahme der Übertemperatur gegenüber dem Umland in den stark verdichteten Innenstädten statt. Ursache sind Wärmefreisetzen anthropogenen Ursprungs sowie die Speicherung der Wärme im bebauten Raum. Während dieser Phasen sind Ausgleichsströmungen, die sich in weitgehend ebenem Gelände entweder lokal zwischen kühleren und wärmeren Teilflächen ausbilden (so genannte Flurwindssysteme), oder Kaltluftströmungen, die bei Städten in topographisch gegliedertem Gelände aus dem unmittelbaren Umland in Stadtgebiete eindringen können, von außerordentlich hoher Bedeutung. Bei Neuplanungen, sei es im Rahmen der Aufstellung von Bebauungsplänen oder aber im Rahmen der Bauleitplanung, sind gegebenenfalls vorhandene Flurwind- oder Kaltluftsysteme, die unter dem Oberbegriff thermische Ausgleichsströmungen zusammengefasst werden, unbedingt zu berücksichtigen.

Im vorliegenden Fall gilt es, die klimatischen Verhältnisse in den Grenzen des Rahmenplans Neckarbogen bei Realisierung der aktuell vorgesehenen Bebauung einzuschätzen. Mögliche Einflüsse der geplanten Bebauung Neckarbogen auf benachbarte Stadtgebiete wurden in 2012 bereits ausführlich analysiert. Im Folgenden wird eine kurze Einschätzung der Ist-Situation auf Basis vorhandener Unterlagen [2] bzw. der Untersuchung aus dem Jahr 2012 [1] gegeben, bevor in den darauf folgenden Kapiteln die Untersuchungen zur Ermittlung der Auswirkungen der Planung mit numerischen Modellrechnungen in der Mikroskala detailliert dargestellt werden.

Das Klima in Heilbronn ist ausgesprochen milde, was unter anderem auf die Lage im Neckarbecken zurückzuführen ist. Dies äußert sich im langjährigen Mittel zum einen in einer recht hohen Jahresmitteltemperatur, wenig Eis- und Frosttagen im Winter sowie einer großen Anzahl von Sommertagen mit einer maximalen Lufttemperatur von mindestens 25°C. Des Weiteren ist die mittlere Windgeschwindigkeit im langjährigen Mittel mit nur 2,0 m/s im Innenstadtbereich bis

2,5 m/s an den Innenstadträndern recht gering. Der große Anteil äußerst windschwacher Situationen mit Windgeschwindigkeiten <1 m/s (mehr als 25% Auftretungshäufigkeit) begünstigt die Ausbildung von Inversionswetterlagen, bei denen eine Wärme- und Schadstoffakkumulation zu beobachten ist. Aus bioklimatischer, aber auch aus lufthygienischer Sicht sind aus diesem Grund an windschwachen Strahlungswetterlagen lokale Luftaustauschsysteme, die sich zwischen den Heilbronn umgebenden Randhöhen und den Stadtrandgebieten (Kaltluftsysteme) als auch zwischen kühleren und wärmeren Flächen innerhalb des Stadtgebietes (Flurwinde) ausbilden können, von großer Bedeutung. Im Kapitel 5.2 aus IBRAU 2008 [2]; wurden, getrennt für insgesamt fünf Stadtteilgebiete, die thermischen Verhältnisse, die sich bei windschwachen Strahlungswetterlagen ausbilden, ausführlich dargestellt und diskutiert.

Ab einer mittleren Windgeschwindigkeit von etwa 2,0 m/s in einem Bezugsniveau von 10 m Höhe nimmt die Effektivität rein thermisch bedingter Austauschsysteme ab und das dynamische, übergeordnete Windsystem dominiert mehr und mehr das Geschehen. Die langjährigen mittleren Windverhältnisse für das Stadtgebiet Heilbronn werden im Folgenden kurz diskutiert.

In **Abb. 1** sind für das Gebiet um Heilbronn Windrosen in einem Raster von 500×500 m² dargestellt. Diese Windrosen geben die Häufigkeit der Windrichtungen im langjährigen Mittel (10-jähriges Mittel) wieder. Angegeben sind jeweils die langjährigen mittleren Windgeschwindigkeiten. Die Windrosen basieren auf Modellrechnungen mit einem mesoskaligen prognostischen Modell, die von der ARGE IB Rau, Heilbronn und METCON Umweltmeteorologische Beratung, Pinneberg, mittlerweile für nahezu ganz Deutschland vorliegen [3] [4] [5] [6].

Die Windrosen zeigen kleinräumige Variationen der Windrichtungsverteilungen. Im Bereich Horkheim und Sontheim liegt das Maximum bei Winden aus südlicher Richtung. Im weiteren Verlauf entlang des Neckars nach Norden dreht die Hauptwindrichtung auf Südsüdwest. Im Bereich der westlichen und östlichen Randhöhen ist der südsüdwestliche Windkomponente nicht ganz so dominant. Die Winde kommen in diesen Bereichen recht gleich verteilt aus SSO bis West. Ebenfalls ausgeprägt sind, über dem Stadtgebiet mit unterschiedlicher Häufigkeit, Winde aus NNO bis ONO. Dies sind die ruhigeren Hochdruckwetterlagen, die häufig mit einer stabilen Schichtung einhergehen. Die **Abb. 1** zeigt ganz deutlich die Auswirkung der Kessellage auf das Geschwindigkeitsniveau. Die mittlere Windgeschwindigkeit liegt im Bereich der ausgedehnten Freiflächen am Neckar im Raum Horkheim und Sontheim bei 2,7 bis 2,8 m/s. Entlang des Neckars in Richtung Nord nimmt die mittlere Windgeschwindigkeit in Folge der hohen Rauigkeit kontinuierlich bis auf etwa 2,0 m/s im Bereich des Hauptbahnhofes bzw. des nördlich anschließenden Plangebietes Neckarbogen ab. Dieses Niveau wird auch in dem östlich anschließenden Stadtkern nicht überschritten. Im Bereich der östlichen und westlichen Randhöhen liegt das Geschwindigkeitsniveau deutlich höher und erreicht nahezu 3 m/s. Alle angegebenen Werte beziehen sich auf eine mittlere Höhe von 10 m über Grund. Die Kessellage

von Heilbronn hat zur Folge, dass die Durchlüftung im Innenstadtbereich gegenüber den umliegenden höher gelegenen Stadtteilen und den südlichen Stadtteilen reduziert ist. Die Freiflächen bei Horkheim, die Neckarauen westlich des Neckars und in der Fortsetzung der Wertwiesenpark stellen somit eine wichtige Schneise dar, über die der Wind bei entsprechenden Windrichtungen in das Stadtgebiet vordringen kann. Allerdings sind mit Annäherung an die Innenstadt immer wieder Störungen der Strömungsschneise feststellbar, so z.B. die Neckartalstraße mit ihrem Lärmschutzwall/-damm, die Otto-Konz-Brücke und weiter nördlich durch die von Nordost nach Südwest verlaufende Bundesbahntrasse, die schlussendlich eine Absenkung des langjährigen Mittels der Windgeschwindigkeit im Plangebiet auf den recht niedrigen Wert von 2,0 m/s verursachen.

Die Ergebnisse der beispielhaften großräumigen Simulationsrechnungen aus dem Jahr 2012 [1] unterstreichen die deutliche Abnahme des mittleren Windgeschwindigkeitsniveaus im Innenstadtbereich von Heilbronn im Vergleich zum Umland. Innerhalb des Plangebietes sowie im Bereich Wohlgelegen ist tendenziell mit einer weiteren Geschwindigkeitsreduzierung im Planzustand zu rechnen. Außerhalb des Plangebietes bilden sich für den Planzustand, je nach Anströmsituation, Bereiche mit leichter Geschwindigkeitsreduktion und Geschwindigkeitszunahme aus. Dies betrifft die Bahnhofsvorstadt südlich des Hauptbahnhofes, den westlich an die Neckartalstraße angrenzende Teilbereich von Neckargartach sowie den Bereich nordöstlich des Hip-Geländes. Maximale Geschwindigkeitsreduktionen erreichen, allerdings räumlich begrenzt, maximal 0,5 m/s. Insgesamt wurden für die bisher vorgesehene Bebauung, die der Studie aus dem Jahr 2012 zu Grunde lag, Auswirkungen durch die geplante Bebauung in den direkt an das Plangebiet anschließenden Stadtbereichen attestiert, die bei der neu geplanten Bebauung in ähnlichem Ausmaß auftreten dürften. Allerdings sind die Geschwindigkeitsreduktionen räumlich und betragsmäßig begrenzt. Die Beeinträchtigung der Durchlüftung in den an das Plangebiet angrenzenden Bereichen ist in Teilbereichen vorhanden, aber als akzeptabel einzustufen.

Das Gebiet des Rahmenplans Neckarbogen ist als innerstädtisches Gebiet mit Wärmeinselcharakter, wenn auch mit einer etwas geringeren Intensität im Vergleich zum Heilbronner Innenstadtbereich, einzustufen. Vor allem an warmen, windschwachen Sommertagen ist tagsüber mit einer starken Überwärmung zu rechnen. Das Plangebiet neigt im bisherigen Zustand, im jetzigen Übergangszustand sowie auch im Planzustand an sommerlichen windschwachen Tagen zur Überwärmung und ist somit bioklimatisch als eher belastet einzustufen. Die im Jahr 2012 durchgeführten großräumigen Kaltluftberechnungen zeigen, dass das Plangebiet weder von thermisch bedingten Ausgleichsströmungen aus benachbarten Gebieten noch von Kaltluftströmungen aus den Randbereichen der Stadt profitiert, da diese bis

Erreichen des Plangebietes ihre Wirkung nahezu verloren haben. Dies bestätigt auch die Ergebnisse früherer Studien (u.a. [2]).

Die großräumigen Untersuchungen aus dem Jahr 2012 haben gezeigt, dass das Plangebiet selbst nicht von großräumigeren Ausgleichsströmungen profitiert. Eine kleinklimatische Qualität im Plangebiet muss daher durch eine sensible Planung in dem Plangebiet selbst entwickelt werden.

Aus diesem Grund konzentriert sich diese vorliegende Studie auf die Untersuchung der kleinräumigen thermischen und bioklimatischen Verhältnisse sowie der bodennahen Strömungsverhältnisse innerhalb des Plangebietes.

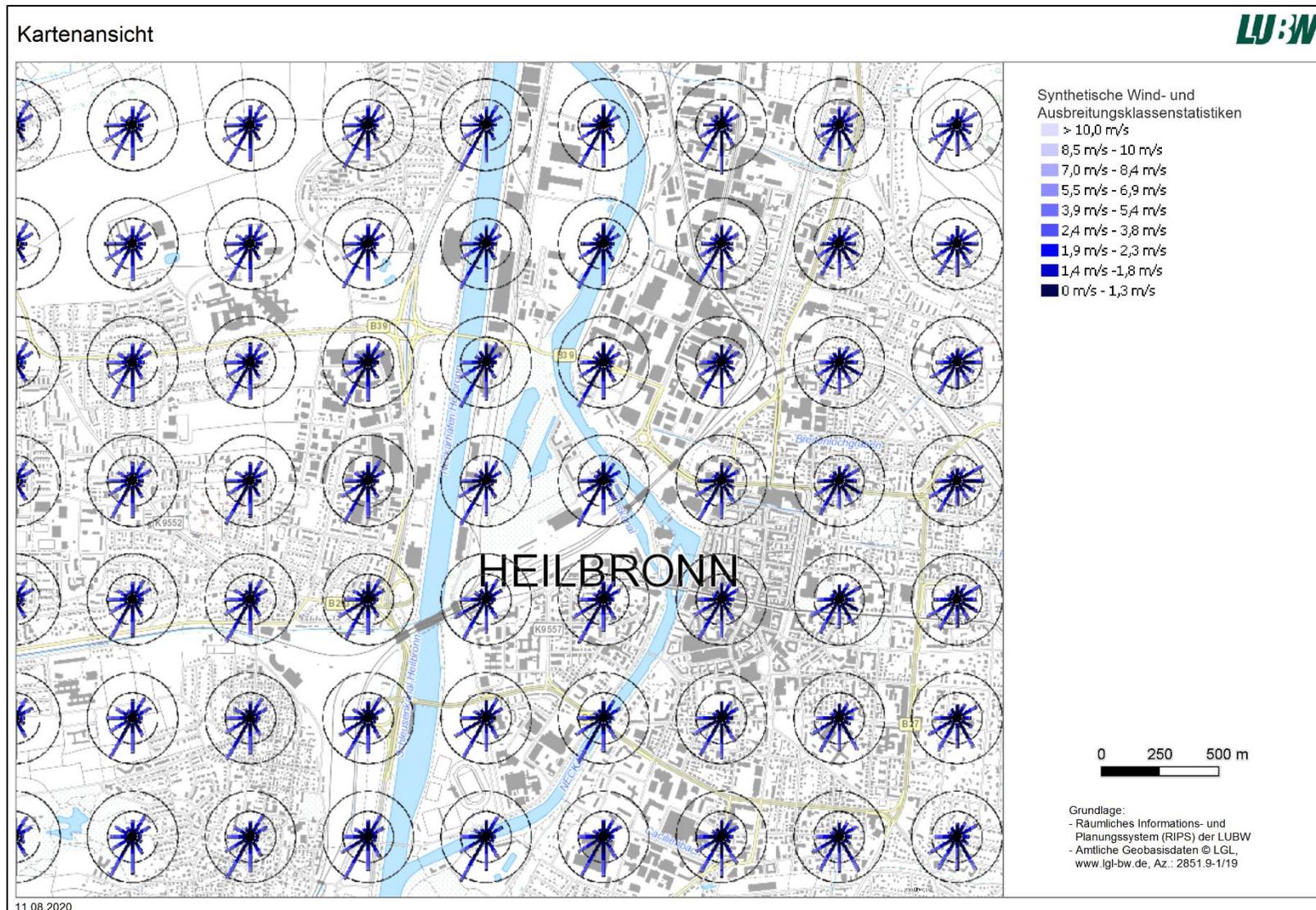


Abb. 1: Langjährige Häufigkeitsverteilungen der bodennahen Windverteilungen (SynAKS) im Raum Heilbronn (Daten aus Umwelt-Daten und -Karten Online (UDO) der LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg)

3 Problemanalyse und Methodik für die vorliegende Fragestellung

Wie in **Kapitel 1** erläutert konzentriert sich diese Untersuchung auf die lokalklimatischen Verhältnisse innerhalb des Plangebietes „Neckarbogen“. Im Folgenden werden die Problemstellung sowie die daraus abgeleitete Methodik genauer beschrieben

3.1 Problemanalyse

Innerhalb des Plangebietes werden das bodennahe Strömungsfeld sowie die Durchlüftungsverhältnisse stark durch die Gebäudekubaturen sowie deren Anordnung geprägt. Es bilden sich zum Teil sehr komplexe, dreidimensionale Strömungszonen wie Nachlaufzonen, Rückströmzonen und Wirbelgebiete aus. Im Nahbereich von höheren Solitärbauten ist lokal mit deutlichen Geschwindigkeits- und Turbulenzerhöhungen zu rechnen; in Durchfahrten bzw. im Bereich einer engeren Gebäudestellung können sich ggf. lokal Düseneffekte mit erhöhter Windgeschwindigkeit ausbilden. In Innenhofbereichen kann dagegen teilweise eine starke Reduktion der Geschwindigkeit und Turbulenz mit einer einhergehenden Durchlüftungseinschränkung stattfinden. Die Versiegelung und die damit zusammenhängende Wärmespeicherung durch die neuen Baukörper sowie Verkehrsflächen prägen die thermischen Verhältnisse unterhalb des mittleren Dachniveaus innerhalb des Plangebietes. Im Zusammenspiel der Baukörper mit den Grünflächen sowie den Wasserflächen bildet sich somit ein kleinräumiges Stadtteilklima aus.

Eine ausreichende Durchlüftung von bebauten innerstädtischen Gebieten ist jedoch erforderlich, um vor allem im Sommer bei schwachwindigen Strahlungswetterlagen Wärme abzutransportieren, sowie mögliche bodennah frei gesetzte Emissionen (bspw. Verkehr) ausreichend zu verdünnen. Bei niedriger Windgeschwindigkeit bzw. einer gebäudeinduzierten Minderung der bodennahen Windgeschwindigkeiten gewinnt die bodennahe Temperatur immer mehr an Bedeutung. Insofern sind das lokale bodennahe Windfeld sowie die lokalen bodennahen Temperaturverhältnisse immer miteinander gekoppelt. Aus diesem Grund stehen bei stadtklimatologischen Fragestellungen im lokalen Maßstab Untersuchungen zur Änderung des bodennahen Windfeldes sowie Untersuchungen zu den Änderungen der thermischen Verhältnisse fast immer im Vordergrund. Weitere Klimaparameter wie bspw. Niederschlag, Feuchte etc. werden durch typische städtebauliche Bauvorhaben eher geringfügig verändert.

Um mögliche kleinklimatische Auswirkungen geplanter Bebauungen zu untersuchen bzw. um sich ein flächendeckendes Bild über die zu erwartenden lokalklimatischen Verhältnisse nach Umsetzung einer Planung zu machen, bedient man sich in aller Regel so genannter Prognosemodelle. Dabei ist zu beachten, dass keines der derzeit üblicherweise eingesetzten Modelle im mikroskaligen Bereich alle angesprochenen Fragestellungen vollumfassend beantworten kann. Man simuliert aus diesem Grund mit unterschiedlichen

Untersuchungsmethoden einzelne Teilaspekte und führt auf Basis der Einzelergebnisse ein eine gesamthafte Bewertung zur Einschätzung der zukünftig zu erwartenden stadtklimatologischen Verhältnisse durch.

3.2 Methodik

Geeignet für die Untersuchung der kleinräumigen thermischen Verhältnisse im vorliegenden Fall ist das Modellsystem ENVI-met. In diesem Modell werden sowohl die atmosphärischen Prozesse als auch ihre Interaktion mit der Erdoberfläche (Topografie) über physikalisch-mathematische Gleichungssysteme beschrieben. ENVI-met ist ein Szenarien-Modell, mit dem Einzelszenarien in ihrer zeitlichen Entwicklung simuliert werden können. Um eine konkrete atmosphärischen Situation zu simulieren, wird eine meteorologische Randbedingung vorgegeben, unter deren Einfluss die atmosphärischen Prozesse bis zum Erreichen des gewünschten Untersuchungszeitpunktes simuliert werden. Da in der vorliegenden Untersuchung insbesondere die Frage nach der thermischen Behaglichkeit und Belüftungssituation im Vordergrund steht, wird als ein Szenario eine sommerliche Schönwettersituation (sog. autochthone Wetterlage) gewählt, da hier insbesondere die thermische Belastung in Erscheinung tritt. Dabei werden zwei unterschiedliche, für Heilbronn typische, Anströmbedingungen mit unterschiedlichen Anströmgeschwindigkeiten unterschieden. Für Vergleichszwecke werden darüber hinaus die thermische Behaglichkeit und die Durchlüftungsverhältnisse für durchschnittliche Heilbronner Verhältnisse untersucht. Betrachtet werden pro Szenario insgesamt drei typische Tages- bzw. Nachtzeiträume. Die Ergebnisse werden interpretiert und bezüglich der human-bioklimatischen, thermischen Belastung zusätzlich anhand eines standardisierten Maßstabes (VDI 3787, Blatt 2 [7]) bewertet.

Bei den Berechnungen mit ENVI-met stehen die thermischen Bedingungen bei nur schwachen Winden im Vordergrund.

Ebenfalls von Interesse sind innerhalb des Plangebietes die dynamischen bodennahen Windverhältnisse für die meteorologischen Verhältnisse, bei denen der Einfluss der Temperatur eher geringer einzuschätzen ist. In Abhängigkeit der geplanten Nutzung des Plangebietes (längerfristige Aufenthalte wie Cafés / kurzfristige Aufenthalte wie Warte-/Haltebereiche etc.) sind Aussagen über die lokal zu erwartenden Wind- und Turbulenzverhältnisse wünschenswert. Dieser Themenkomplex, als Windkomfort bezeichnet, erfordert eine andere Herangehensweise. Für diesen Untersuchungsteil wird das mikroskalige Strömungsmodell MISKAM eingesetzt. Es handelt sich dabei um ein Episodenmodell. Eine Bewertung der berechneten bodennahen Windfelder erfolgt durch statistische Verfahren; dabei wird für einzelne Bereiche der Windkomfort quantifiziert, indem die berechneten bodennahen Windgeschwindigkeiten unter Berücksichtigung der für das Untersuchungsgebiet charakteristischen Windstatistik in anerkannte Windkomfortkriterien eingearbeitet werden. Somit können lokal an einzelnen Punkten Angaben

zum Windkomfort gemacht werden (Zuordnung einzelner Zonen zu den Komfortbereichen „Gehen, Stehen, Sitzen“).

Die Vorgehensweise sowie die Ergebnisse zum Themenkomplex „mikroklimatische Verhältnisse“ werden ausführlich in **Kapitel 5** diskutiert, die Vorgehensweise und Ergebnisse zum Themenkomplex „bodennahe Windverhältnisse und Windkomfort“ in **Kapitel 6**.

4 Untersuchungsgebiet

Das ca. 37 ha große Untersuchungsgebiet „Neckarbogen“ liegt westlich der Heilbronner Kernstadt und umfasst das ca. 25 ha große Fruchtschuppenareal zwischen Kanalhafen im Westen, den Gleisanlagen am Hauptbahnhof im Süden, dem Industriegebiet Wohlgelegen im Norden sowie im Osten den Bereich beider Neckarufer einschließlich ca. 12 ha großen Teilen des Heilbronner Innovationsparks „Hip“ und den Bildungscampus am Neckarostufer. Ferner zählt die südlich gelegene Neckarinsel mit dem Experimenta-Bau zum Untersuchungsgebiet.

Das Fruchtschuppenareal stellt derzeit eine Brachfläche dar, deren klimatischer Ist-Zustand nicht Gegenstand dieser Untersuchung ist. Nähere Angaben hierzu sind in der Literatur „Bestandsuntersuchungen“ des „städtebaulichen Rahmenplans Neckarbogen“ Kapitel 1.7 des Anhangs 1 [8] enthalten.

Der hier zu untersuchende Rahmenplanentwurf (**Abb. 2**) sieht für das Areal neue, kompakte Gebäudeensembles inmitten eines Grünareals vor, das durch zwei künstlich angelegte Seen und den Neckar gegliedert wird. Der überbaute Bereich umfasst eine Fläche von 14 ha. Zentraler Teil ist ein dreieckig angelegtes Gebäudeensemble am Neckarwestufer, dessen Innenbereich durch den ca. 0,7 ha großen Stadtsee gestalterisch geprägt ist. Die Gebäude sind überwiegend vier- bis sechsgeschossig, vereinzelte Gebäude auch elf- bis zwölfgeschossig.

Die Gebäude entlang der Weststrandstraße sind größtenteils um fast vollständig geschlossene Höfe angeordnet. Entlang der Nordtangente zwischen den beiden Seen sind die Gebäude vereinzelt angeordnet. Die Gebäudeabstände entlang der Straßen betragen 13 m bis 18 m sowie innerhalb der Höfe 20 m bis 50 m.

Auf dem Hip-Gebiet am Neckarostufer sind drei- bis fünfgeschossige Gebäude vorgesehen, deren Längsseite in WNW-ESE-Richtung orientiert ist. Die Gebäudeabstände entlang der Straßen betragen ca. 20 m bis 25 m sowie zwischen Gebäuden einer Straßenseite jeweils ca. 12 m bis 15 m.

Für die Dächer der flacheren Gebäude wird angenommen, dass diese jeweils zu 70% als Fläche zur Gewinnung regenerativer Energie und zu 30% zur Dachbegrünung bzw. als Dachgarten genutzt werden.

Die Erschließungsstraßen sind im Bereich der Gebäude durch Baumreihen mit z.T. alleinartigem Charakter gesäumt. Die Kalistraße wird zurückgebaut. Der Verkehr wird zukünftig über die Füger- und Weipertstraße zum Europaplatz geführt. Damit wird Platz für einen Uferpark geschaffen, der das neue Quartier mit der Innenstadt verbindet. Die Verkehrsanbindung erfolgt an die Südseite des Plangebietes über die neu anzulegende, in Südwest-Nordost-Ausrichtung parallel zur Bahntrasse verlaufende, Weststrandstraße [9] [10].

Die bebauten Gebiete werden durch den nördlich gelegenen, ca. 1,6 ha großen Freizeitsee sowie weitläufige Grünflächen ergänzt, die sich entlang beider Neckarufer sowie auf dem westlichen Fruchtschuppenareal vom Hauptbahnhofsgelände bis zur Peter-Bruckmann-Brücke im Norden erstrecken. Die Grünflächen sind als offene Wiesen gestaltet, die durch Baumreihen und vereinzelte Baumgruppen räumlich gegliedert werden.

Das Plangebiet wird im Westen mit einem 8 m bis 13 m hohen, begrünten Wall zu den Gewerbeflächen des Kanalhafens und zu den Gleisen der Hafenbahn abgegrenzt.



Abb. 2: Plan-Zustand des Untersuchungs- und Simulationsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ [9] [10] - Darstellung mit 8° Nordabweichung

5 Kleinräumige Untersuchung (mikroklimatische Simulation)

Wie in **Kapitel 3** „Methodik“ erläutert, werden im Rahmen dieser Studie kleinräumige Simulationsrechnungen durchgeführt. In diesem Kapitel werden die Grundlagen sowie die Ergebnisse der mikroklimatischen Simulationsrechnungen für das Gebiet des Rahmenplans beschrieben und vorgestellt.

5.1 Grundlagen

5.1.1 Modell

In Anbetracht der Aufgabenstellung mit Schwerpunkt auf der Bewertung des Plan-Zustandes kommt nur ein prognostisches Verfahren, also ein numerisches Simulationsmodellverfahren, in Frage. Da die Untersuchung hinsichtlich des Maßstabes für atmosphärische Prozesse der Mikroskala zuzuordnen ist [11] und eine Bewertung des Human-Bioklimas verlangt wird, ist die Auswahl geeigneter Modelle sehr begrenzt [12], insbesondere wenn klimatische Effekte der Vegetation oder Dachbegrünung berücksichtigt werden sollen. Das einzige Modell, das diese Anforderungen derzeit erfüllen kann und hier zum Einsatz kommt, ist das mikroskalige Simulationsmodell ENVI-met 3.1® [13], das allgemein anerkannt ist und sich für derartige Fragestellungen bewährt hat [12].

Bei dem rechnergestützten Atmosphärenmodell ENVI-met handelt es sich um ein dreidimensionales, gekoppeltes Strömungs-Energiebilanzmodell, das mittels numerischer Verfahren den atmosphärischen Zustand über einer realen Erdoberfläche zu einem definierten Zeitpunkt berechnen und 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) [14]. Die Interaktion zwischen Topografie und Atmosphäre wird über die vier Teilmodelle Atmosphäre (3D, nicht-hydrostatisch), Boden/Grenzfläche (1D/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. Für die 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 der reale Raum in ein diskretes Raumgitter zerlegt wird. Dies bewirkt, dass z. B. Straßenbögen, runde Wände, Baumkronen oder schräge Dächer nicht naturgetreu abgebildet werden, sondern in rechteckige Würfelkubatoren zerlegt werden müssen. Es ist nachvollziehbar, dass das Modell umso genauer arbeitet, je feiner die Gitterauflösung gewählt wird. Des Weiteren 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 der Fassadeneigenschaften (Farbe, Verglasung, Begrünung, etc.) derzeit nicht vorgesehen, sodass für sämtliche Gebäude einheitliche thermophysikalische Parameter definiert werden. Dachbegrünungen jedoch können von ENVI-met verarbeitet werden.

Ferner kann das Modell kein Relief abbilden, so dass für Modellgebiete stets durch eine ebene Erdoberfläche angenähert wird.

Neben der Information zur Beschreibung der Erdoberfläche ist für die Simulation die Vorgabe von meteorologischen 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 zu Windverhältnissen und aerodynamischen Oberflächenrauigkeiten.

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.

Die thermische Behaglichkeit wird anhand des objektiven PMV-Wertes nach VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 [7] bewertet (**Tab. 1**). Sie 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.

Tab. 1: Skala des PMV-Wertes für thermisches Empfinden und zugehörige Behaglichkeitsstufen nach VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 [7]

PMV	Thermisches Empfinden	Belastungsstufe	Physiologische Wirkung
-3,5	sehr kalt	extreme Belastung	Kältestress
-2,5	kalt	starke Belastung	
-1,5	kühl	mäßige Belastung	
-0,5	leicht kühl	schwache Belastung	
0,5	behaglich	keine Belastung	
1,5	leicht warm	schwache Belastung	Wärmebelastung
2,5	warm	mäßige Belastung	
3,5	heiß	starke Belastung	
3,5	sehr heiß	extreme Belastung	

5.1.2 Eingangsdaten

Als Eingangsdaten werden digitale Geländemodelle des Plan-Zustandes sowie Parameter für die meteorologischen Randbedingungen benötigt.

Die Größe der für das digitale Geländemodell festzulegenden Untersuchungsfläche richtet sich nach dem atmosphärischen Prozessmaßstab, der im hiesigen Fall der Mikroskala [11] entspricht. Hierbei wirken sich in Städten die atmosphärischen Prozesse nur im Nahbereich der gegebenen Flächennutzungsstrukturen aus. Der Prozessraum in dieser Untersuchung wird daher durch die Gebäudeensembles und die Freiflächen des Planentwurfes vorgegeben.

Das Simulationsgebiet muss entsprechend **Kapitel 5.1.1** in ein digitales Raumgitter eingeteilt werden. Die Gitterauflösung des Modells ist auf maximal 250 x 250 Zellen beschränkt, wobei der Abbildungsmaßstab der Gitterzellen frei wählbar ist. Bei großen Gebieten wie dem hier untersuchten Areal ist daher ein Kompromiss zwischen der Vollständigkeit der Gebietsabdeckung und der Gitterzellenauflösung (Detailgrad) zu finden. Um das komplette Gebiet des Planentwurfes mit einer Abmessung von ca. 1000 m x 1200 m abbilden zu können, ist eine Gitterauflösung von mindestens 5 m erforderlich. Diese Auflösung ist zu grob, um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten. Eine feinere Auflösung von beispielsweise 2 m würde hingegen das Modellgebiet auf eine Fläche von 500 m x 500 m eingrenzen. Als Kompromiss wird hier daher eine Gittermaschenweite von 4 m gewählt, die hinreichend genaue Aussagen bei nur leicht beschnittenem Gebiet ermöglicht. Da aus simulationstechnischen Gründen die eigentliche Untersuchungsfläche um mehrere Initialisierungsrandgitterzellen erweitert werden muss, ergibt sich ein digitales Raumgitter von 240 x 240 Zellen, das bei einer Fläche von 960 m x 960 m (92,2 ha) alle wichtigen Bebauungsstrukturen vollständig, sowie die Grünanlagen weitestgehend abdeckt (vgl. **Abb. 2**). Ferner wird für die Simulation das Modellgebiet um 8° nach Osten gedreht, um sowohl das Gebiet optimal in das Modelgitter einpassen zu können als auch zur

Simulationsfehlerminimierung eine Gitterglättung an Gebäudekanten für den Großteil der geplanten Gebäude zu erzielen.

Für die vollständige Erzeugung des digitalen Geländemodells müssen nachfolgend die Boden-, Gebäude- und Vegetationsmerkmale des Untersuchungsgebietes erfasst werden.

Die Digitalisierung des Plan-Zustandes beruht neben dem Planentwurf [9] [10] auf der Auswertung von Luftbildern [15] sowie Microsoft BingMaps und GoogleEarth und einer Bodenkartierung [16], aus denen der Plan-Zustand abgeleitet werden kann.

Die Böden und Oberflächenarten werden für die Berechnung der atmosphärischen Energie- und Wärmobilanz auf nicht bebauten Flächen benötigt. Für das Modell ist bis in eine Bodentiefe von 1,75 m eine Differenzierung der Bodeneigenschaften in 14 Schichten erforderlich. Die Bodenkartierung zum Plangebiet [17] erlaubt sowohl für das Fruchtschuppenareal als auch das Hip-Gebiet keine derartig genauen Aussagen. Da allerdings davon auszugehen ist, dass bei der Realisierung des Planvorhabens der Oberboden neu aufgetragen wird, kann hier mit hinreichender Genauigkeit ein Standardboden (Sand) angenommen werden. Bei den Bodenoberflächen wird zwischen Asphalt, Schotter, Bürgersteigen (parametrisiert durch Beton), Gehwegplatten und Kopfsteinpflaster (parametrisiert durch Granit) sowie Oberflächengewässern (modellbedingt max. 1,75m Tiefe) unterschieden. Das fertige Boden- und Oberflächenmodell ist in **Abb. 3** dargestellt.

Die Festsetzung der Gebäudehöhen der Plangebäude erfolgt über die Geschosshöhen. Für das Erdgeschoss werden 4 m Höhe angenommen, für alle übrigen Etagen 3 m Höhe. Für den Experimenta-Neubau und den Bildungscampus konnten exakte Höhenangaben aus Architektenentwürfen verwendet werden. Die Gebäudehöhen bestehender Gebäude wurden aus vorliegenden Planunterlagen entnommen.

Das Vegetationsmodell nimmt für alle Pflanzen einen einheitlichen Metabolismus an. Die Differenzierung erfolgt daher ausschließlich über die Pflanzengestalt anhand von Pflanzenhöhe, Pflanzendurchmesser und Pflanzen- bzw. Blattfläche (LAD). Bei der Pflanzenhöhe ist eine Unterscheidung zwischen blattfreien Stammraum (Baum) und beblättertem Rumpf (Hecke) möglich. Eine Differenzierung in weitere physiologische oder morphologische Strukturen, wie z. B. Laubbäume, Koniferen, Wiesen oder Blumenbete, ist nicht vorgesehen. Zur Vegetation sind im Planentwurf genauere Angaben erhältlich [18]. Für Hauptstraßen werden 20 m bis 25 m hohe Bäume angenommen, für Quartierstraßen 15 m bis 20 m sowie für Wohnwege 10 m bis 15 m hohe Bäume. Bei den übrigen Bäumen in den Freiflächen wird davon ausgegangen, dass die im Plan dargestellten Kronendurchmesser proportional zum Baumalter und damit zur Baumhöhe sind. Für kleinkronige Bäume wird eine Höhe von 10 m bis 15 m sowie für großkronige Bäume eine Höhe von 15 m bis 20 m festgesetzt. Für Dachbegrünungen und Privatgärten wird eine 8 cm

hohe Grasnarbe verwendet, für Wiesen im öffentlichen Bereich sowie den Wall eine 25 cm-Grasnarbe.

Ein modelltechnisches Problem stellt der 8 m bis 13 m hohe Wall im Westen des Plangebietes dar. Da das Modell kein Relief abbilden kann (vgl. **Kap. 5.1.1**), wurde hier als Kompromiss der Wall als geschlossenes Gebäude mit bis zur Erdoberfläche hinabreichendem Schrägdach abgebildet, dass mit einer 25 cm hohen Grasnarbe bedeckt ist.

Das fertige digitale Gebäude- und Vegetationsmodell des Plan-Zustandes ist in **Abb. 4** und als 3D-Darstellung in **Abb. 5** dargestellt.

Das aus Boden-, Vegetations- und Gebäudemodell resultierende Geländegesamtmodell ist in **Abb. 6** und **Abb. 7** dargestellt.

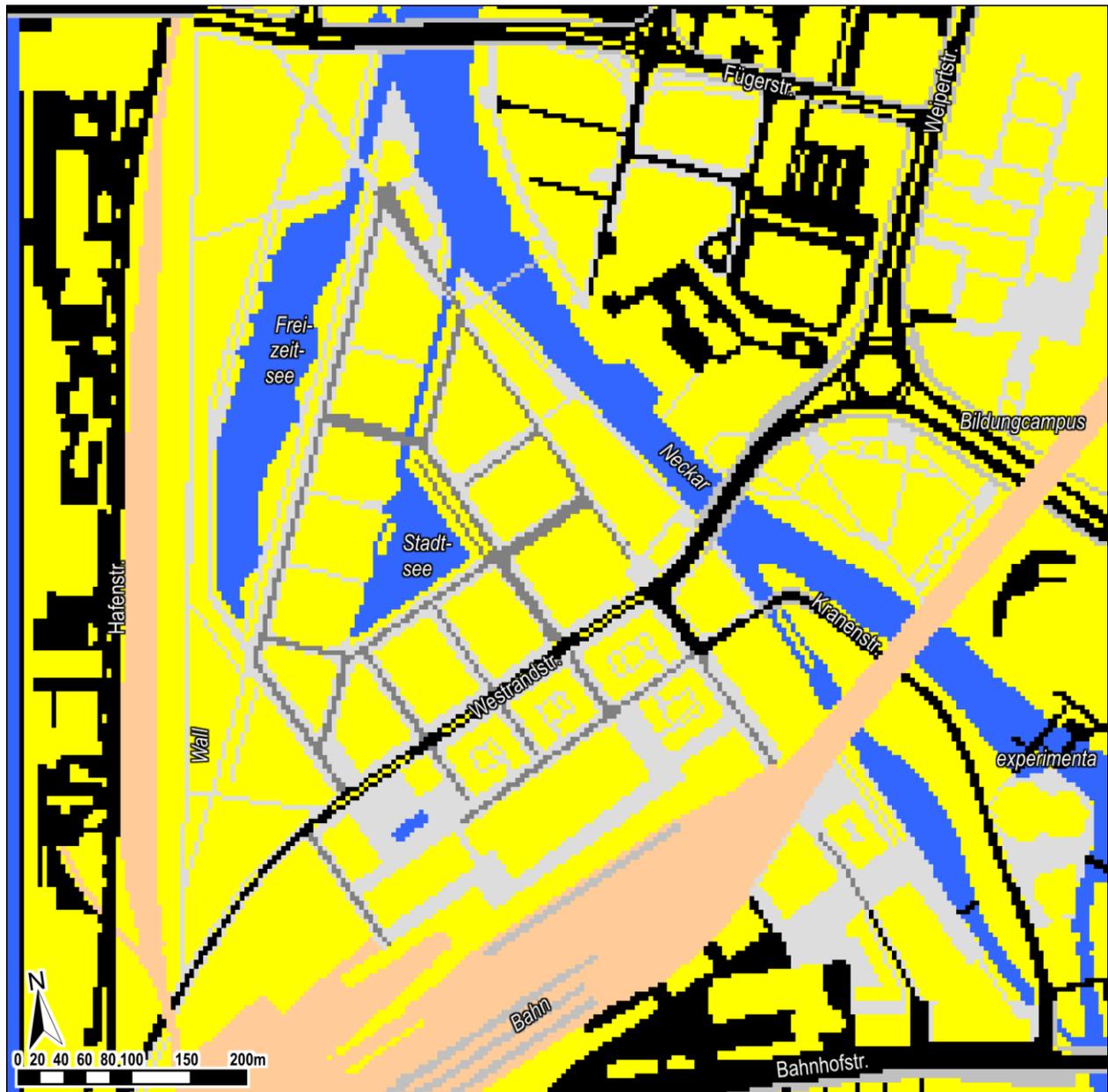


Abb. 3: Digitales Boden- und Oberflächenmodell in ENVI-met 3.1 zum Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ (Darstellung mit 8° Nordabweichung)



Abb. 4: Digitales Gebäude- und Vegetationsmodell in ENVI-met 3.1 zum Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ (Darstellung mit 8° Nordabweichung. Wall mit 0,25 m hoher Grasnarbe und Bäumen, hier nicht dargestellt)

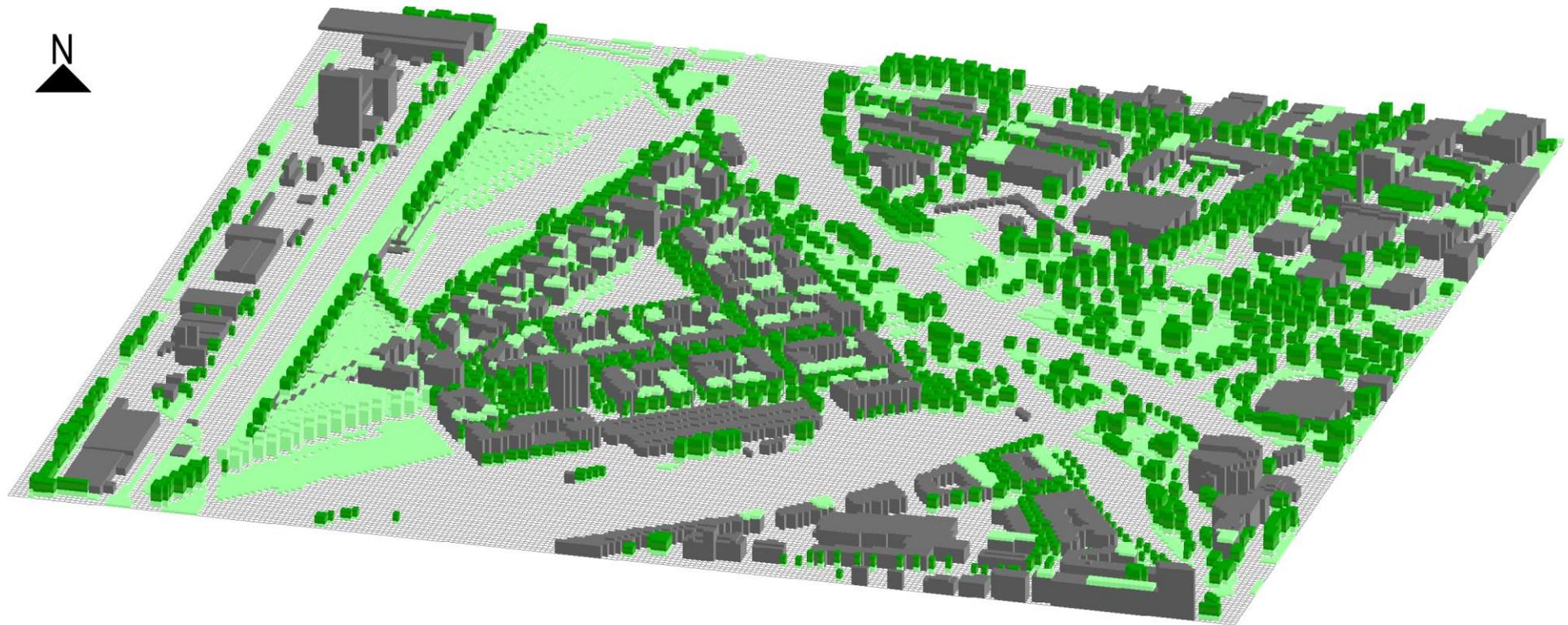


Abb. 5: 3D-Ansicht mit Blickrichtung Nord des digitalen Gebäude- und Vegetationsmodells in ENVI-met 3.1 zum Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“

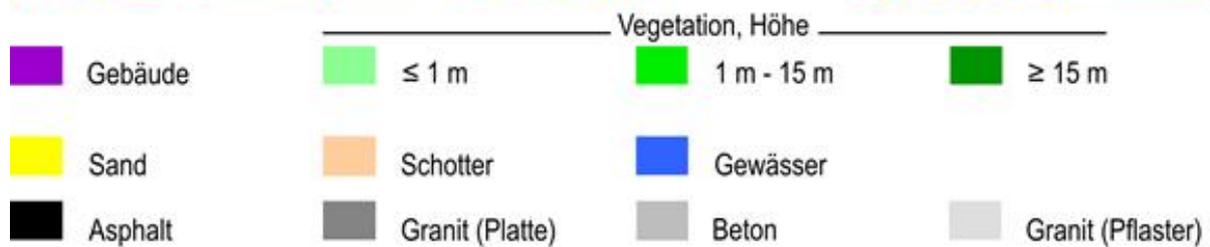


Abb. 6: Resultierendes digitales Geländemodell in ENVI-met 3.1 zum Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ (Darstellung mit 8° Nordabweichung)

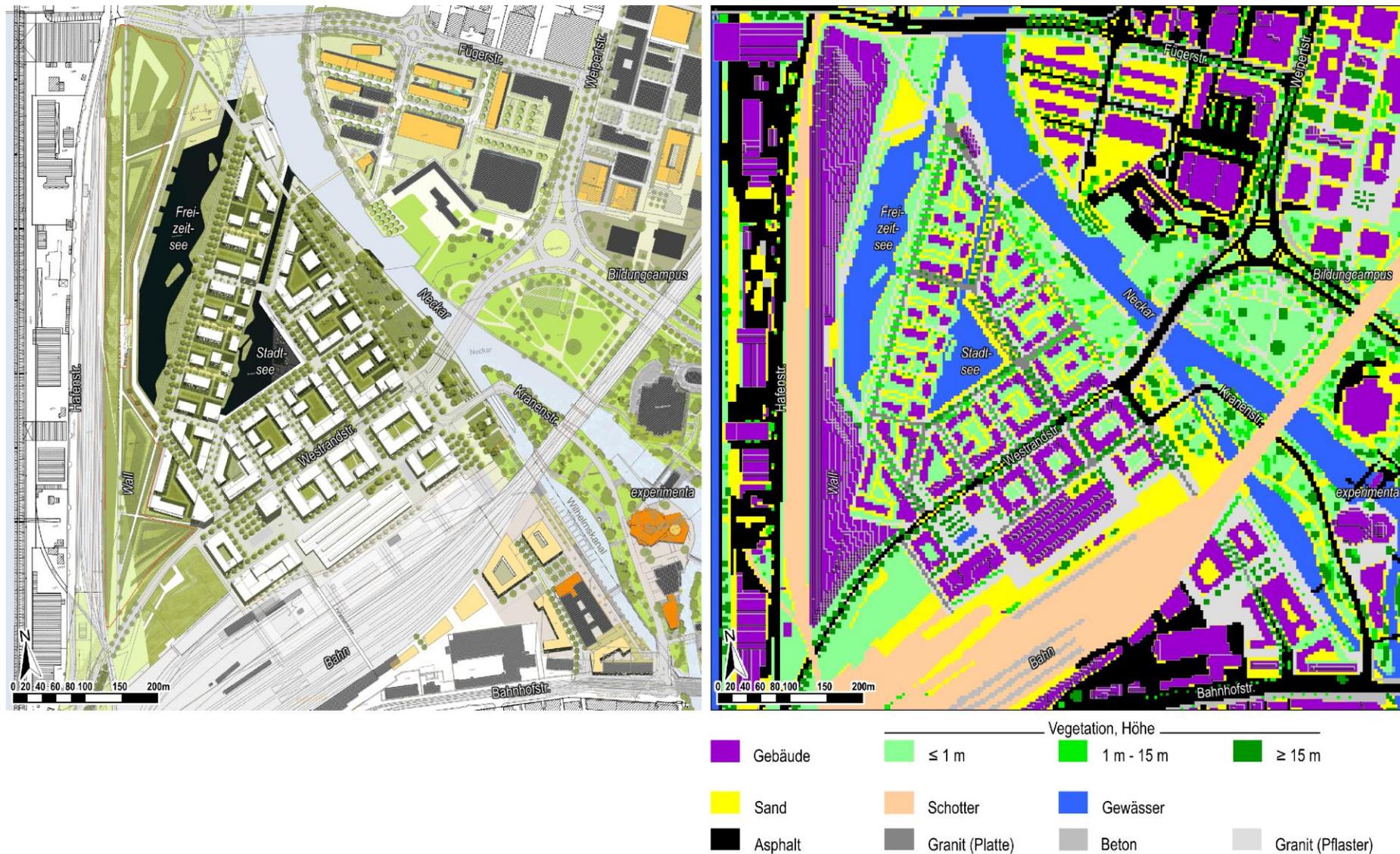


Abb. 7: Vergleich der Topografie (links) und des resultierenden digitalen Geländemodells in ENVI-met 3.1 (rechts) zum Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ (Darstellung mit 8° Nordabweichung)

5.1.3 Meteorologische Randbedingungen

Die Festlegung der meteorologischen Randbedingungen wird durch die hiesige Fragestellung nach den Wärmebelastungs- und Belüftungsverhältnissen vorgegeben. Es werden die drei folgenden Szenarien untersucht:

- Klarer heißer Sommertag mit schwachem Südwind,
- bedeckter Sommertag mit starkem Südwind sowie
- durchschnittliche mittlere Verhältnisse mit Bedeckung und schwachem Südwestwind.

Deren wichtigsten Eingabeparameter für die meteorologischen Randbedingungen werden in den anschließenden Unterkapiteln beschrieben. Eine Gesamtübersicht aller Initialisierungsparameter ist in **Tab. 2** dargestellt.

Gemeinsamkeit der drei Szenarien ist die jeweilige Berechnung eines kompletten Tageszyklus der meteorologischen Parameter in Form von 24 numerisch aufeinander aufbauenden Stundendatensätzen. Da das Modell die atmosphärische Situation in diskreten Zeitschritten iterativ generieren muss, um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten, wird der Zeitpunkt der Ausgangssituation (Initialisierungszeitpunkt des Modellstarts) 11 Stunden vorverlegt, um nach einer modellseitigen Einschwing- und Stabilisierungsphase einen kompletten Tag-Nacht-Zyklus berechnen zu können. Der Startzeitpunkt der Simulation beträgt somit 5 Uhr MEZ des Vortages.

Die für die zu untersuchenden Szenarien benötigten typischen Werte der meteorologischen Initialisierungsparameter werden mit Ausnahme des Windes aus der Literatur für typische deutsche Städte gewonnen [19] [20] [21], da für das Untersuchungsgebiet keine speziellen Messdaten vorlagen. Die lokalen Windverhältnisse wurden aus den langjährigen Windverhältnissen für den Innenstadtbereich von Heilbronn abgeleitet.

Da die atmosphärischen Zustandsgrößen im Tagesgang einer hohen Variabilität unterliegen, wird bei der Untersuchung zwischen Tag- und Nachtsituation unterschieden. Bei der Auswertung werden drei bioklimatisch markante Tageszeiten untersucht. Der Zeitpunkt für die Tagsituation wird auf 15 Uhr MEZ festgesetzt, da hier die wärmste Stunde des Tages vorherrscht und damit an heißen Tagen die Wärmebelastung am größten ist. Die Ergebnisse für die Nachtsituation werden anschließend aus dem letzten zu berechnenden 24-Stunden-Zyklus der laufenden Simulation heraus für den gewünschten Zeitpunkt zwischengespeichert. Als Zeitpunkte werden 23 Uhr und 5 Uhr MEZ gewählt. Um 23 Uhr ist der Bedarf nach Nachtruhe am größten, so dass es an heißen Tagen zu bioklimatischen Problemen kommen kann. Um 5 Uhr morgens herrscht die kälteste Stunde des Tages vor.

Die zur Berechnung des Strahlungs- und Wärmehaushaltes ergänzend erforderliche Angabe der geografischen Position, von welcher der Einstrahlungswinkel der solaren Einstrahlung abhängt, wird für Heilbronn mit 49° 08' 45" N und 9° 12' 30" E festgesetzt.

Neben diesen allgemeinen Bedingungen werden die Unterschiede zwischen den drei Szenarien nachfolgend erläutert.

Tab. 2: Initialisierungsparameter für das Simulationsmodell ENVI-met zur stadtklimatischen Untersuchung des Bauvorhabens „Heilbronn Neckarbogen“

▼ Parameter	Simulationsszenario ▶	Klarer heißer Sommertag mit schwachem Südwind	Bedeckter Sommertag mit starkem Südind	Durchschnittliche mittlere Verhältnisse mit Bedeckung und schwachem Südwestwind	▼ Anmerkungen
Position					
Geografische Lage Gebietszentrum		49°08'45"N, 9°12'30"E	←	←	beeinflusst Strahlungs- und Energiebilanz
Dimensionierung (3D)					
Gebietsgröße (x, y, z) / m		960, 960, 122	←	←	
Gitteranzahl (x, y, z) / n		240, 240, 20	←	←	
Gittergröße (x, y, z) / m		4, 4, 2 (ab10m ü. Gr. z+18%)	←	←	
Übergangsgitterzellen (Nesting Grids) (x, y, z)		4, 4, 4	←	←	
Rotation des Modells im Uhrzeigersinn / Grad		8,0	←	←	Gebäudekartentoptimierung
Meteorologische Randbedingungen					
Vorgabe Wetterlage/Witterung					
Dauer Modelllauf / h		35	←	←	24h-Tagesgang mit vorgeschalteter Einschwingphase (11h)
Start Simulation am Tag (DD.MM.YYYY)		21.06.2011	←	23.09.2010	Astronomischer Sonnenstand, beeinflusst Strahlungs- und Energiebilanz
Start Simulation zur Ortszeit (HH:MM:SS MEZ)		05:00:00	←	←	Startzeitpunkt Einschwingphase (11h)
Zeitschritte des Modelllaufes / h		1,0	←	←	
Windgeschwindigkeit in 10 m ü. Gr. / m/s		1,0	3,0	1,0	Voruntersuchung HN-Neckarbogen
Übergeordnete Windrichtung / Grad		190	←	230	Voruntersuchung HN-Neckarbogen
Rauigkeitslänge z ₀ am Referenzpunkt / m		0,1	←	←	
Initiallufttemperatur (2 m ü. Gr.) / K (°C)		294,15 (21,0)	290,15 (17,0)	283,45 (10,3)	Quelle: KUTTLER et al. 2012 (dynaklim Nr.25)
Relative Initialluftfeuchte (2 m ü. Gr.) / %		69,0	75,0	84,0	Quelle: KUTTLER et al. 2012 (dynaklim Nr.25)
Bewölkung					
beeinflussen Energiebilanz					
Untere Atmosphäre (x/8)		0	←	←	
Mittlere Atmosphäre (x/8)		0	4	←	
Obere Atmosphäre (x/8)		0	4	←	
Bodenparameter					
beeinflussen Energiebilanz					
Bodenart		Sandiger Bod.	←	←	Standardvorgabe
Initialltemperatur obere Schicht (0-20 cm) / K (°C)		292,15 (19,0)	290,15 (17,0)	282,15 (9,0)	Quelle: KUTTLER et al. 2012 (dynaklim Nr.23)
Initialltemperatur mittlere Schicht (20-50 cm) / K (°C)		294,15 (21,0)	292,15 (19,0)	283,65 (10,5)	Quelle: KUTTLER et al. 2012 (dynaklim Nr.23)
Initialltemperatur untere Schicht (< 50 cm) / K (°C)		292,15 (19,0)	290,15 (17,0)	285,15 (12,0)	Quelle: KUTTLER et al. 2012 (dynaklim Nr.23)
Bodenwassergehalt obere Schicht (0-20 cm) / %		35,0	40,0	50,0	Quelle: KUTTLER et al. 2012 (dynaklim Nr.23)
Bodenwassergehalt mittl. Schicht (20-50 cm) / %		45,0	50,0	60,0	Quelle: KUTTLER et al. 2012 (dynaklim Nr.23)
Bodenwassergehalt untere Schicht (< 50 cm) / %		55,0	60,0	60,0	Quelle: KUTTLER et al. 2012 (dynaklim Nr.23)
Gebäudeparameter					
beeinflussen Energiebilanz					
Gebäudeinnentemperatur / K (°C)		296,15 (23,0)	294,15 (21,0)	294,15 (21,0)	
Wärmeübergangskoeffizient Fassaden / W/m²K		1,94	←	←	Standardvorgabe
Wärmeübergangskoeffizient Dächer / W/m²K		6,0	←	←	Standardvorgabe
Albedo Fassaden / 1		0,2	←	←	Standardvorgabe
Albedo Dächer / 1		0,3	←	←	Standardvorgabe
Thermisches Bioklima (PMV)					
beeinflussen metabol. Energiebilanz					
Fortbewegungsgeschwindigkeit / m/s		1,0	←	←	Bewegungsmodus: normal
Wärmeaustausch / W/m²		116	←	←	Metabol. Wärmeaustausch: normal
Mech. Faktor / 1		0,0	←	←	Bewegungsmodus: normal
Wärmedurchgangswiderstand der Bekleidung, clo / 1		0,5	←	1,0	Bekleidungsindex: 0,5 sommerliche; 1,0 deckende Straßenbekleidung

5.1.3.1 Klarer heißer Sommertag mit schwachem Südwind

In diesem Szenario wird ein typischer Tag einer lang anhaltenden Hitzewelle im Hochsommer abgebildet. Es ist daher aus bioklimatischer Sicht bezüglich der Wärmebelastung als Worst-Case zu betrachten. Die Windverhältnisse sind mit Geschwindigkeiten von ca. 1m/s aus südlichen Richtungen äußerst schwach. Fehlende Bewölkung führt am Tage zu hoher Sonneneinstrahlung und damit zur Aufheizung der urbanen Oberflächen. Es werden Tageshöchsttemperaturen von ca. 30°C („heißer Tag“) erreicht. Nächtlich Abkühlung findet kaum oder nur langsam statt. Mangelnde Durchlüftung führt zu Hitzestau im Quartier. Hitzestress ist somit in dieser Situation gegeben.

Für dieses Szenario werden die meteorologischen Bedingungen zum Zeitpunkt der Sommersonnenwende angenommen. 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 den Simulationsstartzeitpunkt um 5 Uhr morgens beträgt die Bodentemperatur 19°C bei einem Bodenfeuchtegehalt von 35%. Die potenzielle Lufttemperatur in 2 m ü. Gr. liegt bei 21,0°C bei einem Feuchtegehalt von 69%. Der übergeordnete Wind in 10 m ü. Gr. weht mit einer Geschwindigkeit von 1,0 m/s aus Süd (190°). Die Gebäudeinnentemperatur beträgt 23°C. Bezüglich der humanphysiologischen Vorgaben zur Bewertung der thermischen Behaglichkeit wird in diesem Szenario eine Durchschnittsperson angenommen, die sich mit normalem Tempo (1 m/s) bewegt und leichte Sommeroberbekleidung (Wärmedurchgangswiderstand der Bekleidung clo (clothes) = 0,5) trägt.

5.1.3.2 Bedeckter Sommertag mit starkem Südwind

Mit diesem Szenario werden die Durchlüftungsverhältnisse näher untersucht. Daher wird für den übergeordneten Wind eine dreifach höhere Windgeschwindigkeit von 3 m/s angenommen. Um konvektive Turbulenz durch Oberflächenaufheizung zu reduzieren und stattdessen die dynamische Strömungskomponente zu fokussieren, wird der solare Strahlungseinfluss durch mäßige Wolkenbedeckung (4/8) verringert.

Auch für dieses Szenario werden sommerliche Verhältnisse angenommen, so dass das Tagesdatum ebenfalls auf den 21. Juni festgesetzt wird. Aufgrund der Bewölkung werden nur Tageshöchsttemperaturen von ca. 25°C („Sommertag“) erreicht.

Für den Simulationsstartzeitpunkt um 5 Uhr morgens ändern sich gegenüber dem „heißen Tag“ folgende Parameter: die Bodentemperatur beträgt 17°C bei einem Bodenfeuchtegehalt von 40%. Die potenzielle Lufttemperatur in 2m ü. Gr. liegt bei 17°C bei einem Feuchtegehalt von 75%. Der übergeordnete Wind in 10m ü. Gr. weht mit einer Geschwindigkeit von 3,0m/s aus Süd (190°). Die Gebäudeinnentemperatur beträgt 21°C. Die bioklimatischen Bedingungen hingegen bleiben

mit normalem Bewegungstempo (1 m/s) sowie leichter Sommeroberbekleidung ($clo = 0,5$) identisch wie bei Szenario 1.

5.1.3.3 Durchschnittliche mittlere Verhältnisse mit Bedeckung und schwachem Südwestwind

Dieses Szenario spiegelt die durchschnittliche normale klimatische Situation wieder. Die Randparameter für dieses Mittelwertszenario beruhen auf den im Jahreszyklus mittleren atmosphärischen Verhältnissen. Für den mittleren solaren Strahlungsantrieb wird der Zeitpunkt des Äquinoktiums (23. September) gewählt. Ergänzend wird ein mittlerer Bewölkungsgrad (4/8) angenommen. Die Erwärmung der urbanen Oberflächen bleibt damit erwartungsgemäß gering. Entsprechend erreicht die Tageshöchsttemperatur Werte um 16°C . Die Anströmung erfolgt mit schwachen Winden aus südwestlicher Richtung.

Für den Simulationsstartzeitpunkt um 5 Uhr morgens beträgt die Bodentemperatur 9°C bei einem Bodenfeuchtegehalt von 50%. Die potentielle Lufttemperatur in 2 m ü. Gr. liegt bei $10,3^{\circ}\text{C}$ bei einem Feuchtegehalt von 84%. Der übergeordnete Wind in 10 m ü. Gr. weht mit einer Geschwindigkeit von 1,0 m/s aus Südwest (230°). Bezüglich der humanphysiologischen Vorgaben zur Bewertung der thermischen Behaglichkeit wird eine Durchschnittsperson angenommen, die einen deckenden Straßenanzug ($clo = 1,0$) trägt.

5.2 Ergebnisse

Das Modell ENVI-met stellt Ergebnisse für eine Vielzahl klimatologischer Parameter zur Verfügung. In Hinblick auf die Aufgabenstellung werden für die Auswertung in diesem Kapitel nur diejenigen klimatologischer Parameter herangezogen, die für die Fragestellung die Ableitung sinnvoller und eindeutiger Aussagen erlauben. Diese sind die Lufttemperatur¹, die Windverhältnisse und die thermische Behaglichkeit PMV.

Sämtliche in diesem Kapitel beschriebenen Ergebnisse beziehen sich, soweit nicht anders angegeben, aufgrund der vorliegenden mikroskaligen und stadtklimatischen Verhältnisse sowie in Hinblick auf den unteren Straßenraum als Hauptaufenthaltort der fußläufigen Stadtbevölkerung auf eine Betrachtungshöhe von 2 m über Grund (vgl. [22]). In den Abbildungen sind alle Gebäude und der Wall als schwarze Grundrisse dargestellt.

¹ Die Lufttemperatur wird hier als potenzielle Lufttemperatur angegeben. Bei diesem in numerischen Modellen üblicherweise verwendeten Temperaturmaß wird der nach der allgemeinen Gaszustandsgleichung gegebene Einfluss des Luftdrucks dahingehend korrigiert, dass die Wärmeenergie der Luft in einer bestimmten Höhe über Grund unter dem gleichen Luftdruckeinfluss stehen würde wie an der Erdoberfläche, an der der Luftdruck immer am höchsten ist. Dieses ist wichtig, wenn Temperaturen aus verschiedenen hohen Atmosphärenschichten hinsichtlich ihres Wärmeenergiegehaltes verglichen werden sollen. Da hier aufgrund der geringen Betrachtungshöhe von 2m ü. Gr. der Luftdruckeinfluss verschwindend gering ist, kann die potentielle Lufttemperatur hier als normale Lufttemperatur aufgefasst werden.

5.2.1 Szenario klarer heißer Sommertag mit schwachem Südwind

5.2.1.1 Tagsituation (15 Uhr MEZ)

Diese Situation zur heißesten Stunde des Tages stellt den Worst-Case für die Wärmebelastung dar. **Abb. 8** zeigt die Verteilung der Lufttemperatur in 2 m ü. Gr. Der gebietsweite Temperaturbereich zwischen 28,6 °C und 31,2 °C spiegelt die Bedingung des „heißen Tages“ ($T_{\max} \geq 30$ °C) relativ gut wieder. Allerdings sind die Unterschiede von absolut 2,5 K eher gering. Damit herrscht im gesamten Gebiet erwartungsgemäß ein hohes Temperaturniveau vor.

Relativ höhere Temperaturen treten in Bereichen mit starker Überbauung, hohem Versiegelungsgrad oder vegetationslosen Erdoberflächen auf.

Zu ersteren gehört der Bereich Bahnhofstraße mit Lufttemperaturen von ca. 31 °C, in dem durch die beidseitige dichte und z. T. hohe Randbebauung sowie durch fehlende größere Grünflächen die nachmittägliche Aufheizung besonders hoch ist. Allerdings dürfte die Lufttemperatur tatsächlich ca. 1 K niedriger liegen, da modellbedingt der untere rechte Rand des Simulationsgebietes unmittelbar mit Gebäuden abschließt, welche einschließlich ihrer außerhalb des Gebietes liegenden Umgebung nicht vollständig berücksichtigt werden konnten².

Ebenfalls hohe Lufttemperaturen > 30 ° werden auf dem Gelände der Deutschen Bahn sowie in den Hafenanlagen beobachtet. Hier heizen sich die Oberflächen zwar auch auf, durch die geringe bis fehlende, windbremsende Bebauung und der damit verbesserten Ventilation (s. u.) wird das Temperaturniveau jedoch leicht gesenkt.

Relativ niedrigere Temperaturen herrschen hingegen im Bereich der Gewässer vor (Neckar, Seen), die mit 28,7 °C bis 29,0 °C bis zu 2,5 K niedriger sind als in den zuvor beschriebenen hoch versiegelten Bereichen. Die thermische Trägheit der Wasserkörper sorgt tagsüber für leichte Abkühlung, nachts jedoch für etwas höhere Temperaturen (siehe 23 Uhr- und 5 Uhr-Situation weiter unten). Nur geringfügig höher ist das Temperaturniveau innerhalb der neuen Gebäudeensembles, in denen durch eine aufgelockerte Bauweise mit vielen Gärten und großzügigem Abstandsgrün der Anteil versiegelter, zur Aufheizung neigenden Flächen relativ gering ist. Auch die nahe liegenden Gewässer üben einen Temperatur mindernden Einfluss auf die neue Bebauung aus. Ferner zeigt der westlich gelegene Wall eine abschirmende Wirkung

² Da das Modell die räumlichen Umgebungsbedingungen außerhalb des digitalen Geländemodells nicht kennt, kann es an den Modellrändern, die zur Anströmrichtung der Initialatmosphäre ausgerichtet sind (hier 190°), in den ersten Gitterzellenreihen gelegentlich zu Randeffekten kommen, die zwar modelltechnisch korrekt sind, aber in natura unter Einfluss der realen Umgebungsbedingungen nicht auftreten würden. Diese bei numerischen Modellen nicht unüblichen Artefakte deuten nicht auf eine Fehlfunktion des Modells hin.

gegen die wärmeren Hafenanlagen. Damit stellen sich die Gebäudeensembles im Vergleich zur übrigen Gebietsbebauung thermisch relativ günstig dar.

Der Einfluss der Dachbegrünungen ist hier nicht erkennbar, da ihre thermische Wirkung auf die Umgebung aufgrund ihrer nur kleinen Flächen eher gering ist (hier nicht dargestellt) und sich die Dächer in Höhen zwischen 13 m und 19 m ü. Gr. befinden, sodass die Effekte nicht bis in das hier dargestellte Bodenniveau in 2 m ü. Gr. hinabreichen.

In den Parkanlagen abseits der Gewässer sowie in den bebauten Bereichen nordöstlich des Neckars liegen die Temperaturen auf mittlerem Niveau. Davon betroffen sind auch die geplanten Gebäude der Experimenta und des Bildungscampus.

Der östliche Rand des Walls zeigt stellenweise blaue Temperatursignaturen mit der niedrigsten im Gebiet registrierten Lufttemperatur von 28,6 °C an. An diesen Stellen ist der Hangfußbereich genauso hoch wie die Höhe des dargestellten Temperaturfeldes (2 m ü. Gr.), sodass hier die Temperatur der Grasnarbe abgebildet wird. Diese Werte werden hier nicht weiter berücksichtigt.

Die Durchlüftungsverhältnisse sind in **Abb. 9** dargestellt. Entsprechend der Vorgaben für einen übergeordneten Schwachwind aus Süd (190°) mit einer Geschwindigkeit von 1 m/s herrschen im Untersuchungsgebiet relativ niedrige Windgeschwindigkeiten < 2,6 m/s vor. Höhere Windgeschwindigkeiten als die Initialwindgeschwindigkeit von 1 m/s werden durch die nachmittägliche Konvektion sowie durch offene, hindernisfreie Areale oder strömungsparallele Gebäudeverengungen (Düseneffekte) verursacht.

Unter diesem Aspekt stellen sich der nördliche Freizeitsee, der nördliche Neckarabschnitt sowie die Bahnlagen aufgrund geringer Oberflächenrauigkeit mit Windgeschwindigkeiten > 2 m/s als gut durchlüftet dar, während im Bereich der Gebäude, die ein Strömungshindernis darstellen (Riegelbildung), die Ventilation mit Geschwindigkeiten < 0,8 m/s deutlich geringer ist. Die schwächste Durchlüftung < 0,2 m/s weisen die Innenhöfe der Gebäude beiderseits der Weststrandstraße auf. Ursache sind fast vollständig geschlossene Innenhöfe mit nur schmalen Zugängen, geringe Gebäudeabstände sowie lagebedingte Riegelbildung gegenüber der Südströmung mit gleichzeitig hohem Baumanteil im Abstandsgrün. Auf dem nordwestlichen, zwischen den beiden Seen gelegenen Bauabschnitt hingegen ist aufgrund der lockeren Bebauung die Ventilation mit ca. 0,4 m/s doppelt so stark, jedoch in Relation zu den offenen Gebietsbereichen als noch immer schwach einzustufen. Für das Experimenta-Areal und den Bildungscampus können schwache bis mäßige Durchlüftungsbedingungen fest-gestellt werden, die jedoch besser sind als in den anderen bebauten Strukturen.

Beispiele für eine günstigere Bebauungsdurchlüftung sind nördlich des Neckars im hip-Gewerbegebiet zu finden. In den Straßen, die parallel zur Anströmungsrichtung Süd ausgerichtet

sind und daher keinen Strömungsriegel bilden, liegen die Windgeschwindigkeiten mit 1,0 m/s bis 1,4 m/s im mittleren Bereich, z. B. Weipertstraße und Edisonstraße.

Der Wall stellt für südliche Winde kein Strömungshindernis dar, sodass die Grünflächen zwischen Wall und Gebäudeensemble gut durchlüftet werden.

Am östlichen Rand des Walls weisen tiefblaue Signaturen auf windstille Verhältnisse hin. An diesen Stellen ist der Hangfußbereich genauso hoch wie die Höhe des dargestellten Windfelds (2 m ü. Gr.), sodass hier die Windgeschwindigkeit in der Grasnarbe abgebildet wird. Diese Werte werden hier nicht weiter berücksichtigt.

Lufthygienische Belastungen aus dem Hafen sind aufgrund der Süd-Anströmung nicht zu erwarten, während aus dem Bereich der südlich gelegenen Bahnanlagen vorbehaltlich etwaiger Emissionen Spurenstoffe in das Gebiet eingetragen werden könnten.

Unter den gegebenen hohen Temperatur- und schwachen Durchlüftungsverhältnissen ist erwartungsgemäß um 15 Uhr die Wärmebelastung in weiten Teilen des Plangebietes sehr hoch. Wie **Abb. 10** zeigt, weisen weite Teile des Gebietes PMV-Werte $> 3,5$ auf (rot bis violett-farbig). Dieses entspricht einer „sehr heißen“ Situation mit „extremer Wärmebelastung“. Ursache ist die offene Lage der betreffenden Flächen mit voller Sonnenexposition. Auf den größeren Wasserflächen (Freizeitsee und nördlicher Neckarabschnitt) ist die Wärmebelastung bereits um ca. 1 PMV (d. h. eine Belastungsstufe) niedriger, entspricht aber immer noch einer „heißen“ Situation mit „starker Wärmebelastung“. Hierbei wird deutlich, dass Wasserflächen alleine keine markante Hitzereduzierung bewirken, weil insbesondere die direkte Sonnenexposition zur Aufheizung des menschlichen Körpers führt.

Gleichzeitig veranschaulicht **Abb. 10**, dass die Wärmebelastung im Bereich der nach NE fallenden Schattenwürfe von Gebäuden und Bäumen deutlich zurückgeht (gelb-orange-farbige Flächen). Die PMV-Werte liegen bei 1,0 bis 1,5 („leicht warm“) mit nur „schwacher Wärmebelastung“. Die human-bioklimatische Verbesserung beträgt dort somit bis zu drei Belastungsstufen. Ferner ist zu erkennen, dass auf den sonnenzugewandten Süd- und Westseiten der Gebäude die Wärmebelastung dann sehr hoch ist („sehr heiß“), wenn die Fassaden nicht durch Baumreihen abgeschattet sind. Diese betrifft unter anderem den Vorplatz des Experimenta-Gebäudes und den Ostbau des Bildungscampus.

Der östliche Rand des Walls zeigt stellenweise weiße Signaturen mit behaglichen thermischen Verhältnissen an. An diesen Stellen ist der Hangfußbereich genauso hoch wie die Höhe des dargestellten Temperaturfeldes (2 m ü. Gr.), sodass hier die thermische Behaglichkeit der Grasnarbe abgebildet wird. Diese Werte werden hier nicht weiter berücksichtigt.

Der Vergleich der Karte der Wärmebelastung mit der Karte der Strömungsverhältnisse weist schließlich auf einen stadtklimatischen-stadtplanerischen Konflikt hin: Die Bereiche mit schwacher bis moderater Wärmebelastung sind zugleich schwach durchlüftet (**Abb. 11**). Gebäude und Vegetation erzeugen weitläufige Schattenzonen mit komfortablem Wärmebereich („leicht warm“) und damit hoher Aufenthaltsqualität im Freien, stellen aber gleichzeitig Strömungshindernisse dar, in deren Umfeld die Windgeschwindigkeit deutlich reduziert wird. Problematisch sind (mehr oder weniger) geschlossene Innenhöfe, in die der Wind weder durch Advektion noch durch konvektionsbedingte Herabmischung aus dem Überdachniveau eindringen kann. Etwas besser ist die Durchlüftung im Straßenbereich, wo im Stammraum der Straßenbäume, deren Kronenunterseite in Höhen zwischen 4 m und 6 m ü. Gr. liegen, die Advektion wenig behindert wird. Geschlossene Kronendächer, wie in diesem Modell für die Westrandstraße skizziert, verhindern jedoch ebenfalls eine vertikale Durchlüftung, sodass die Windverhältnisse weiterhin als schwach einzustufen sind. Sofern auf der Westrandstraße starker Verkehr zu erwarten wäre, könnte es daher dort ggf. zu lufthygienischen Belastungen kommen.

Heißer Tag (klar, Schwachwind
190°) 15 MEZ
Dargestellt für Höhe z = 2 m ü. Gr.

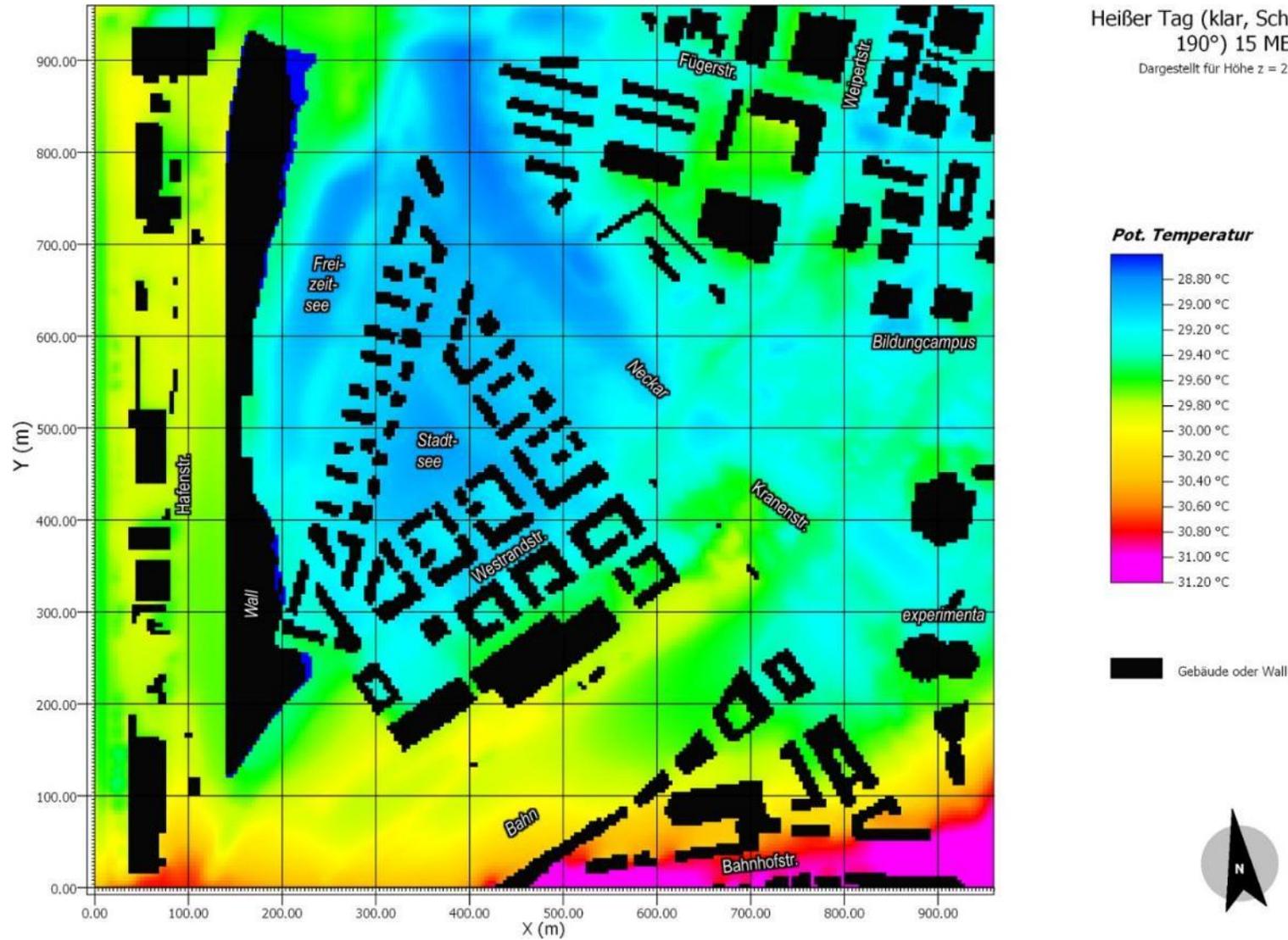


Abb. 8: Verteilung der potenziellen Lufttemperatur in 2 m ü. Gr. im Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ für 15 Uhr MEZ eines klaren heißen Sommertages mit schwachem Südwind

Heißer Tag (klar, Schwachwind
190°) 15 MEZ
Dargestellt für Höhe z = 2 m ü. Gr.

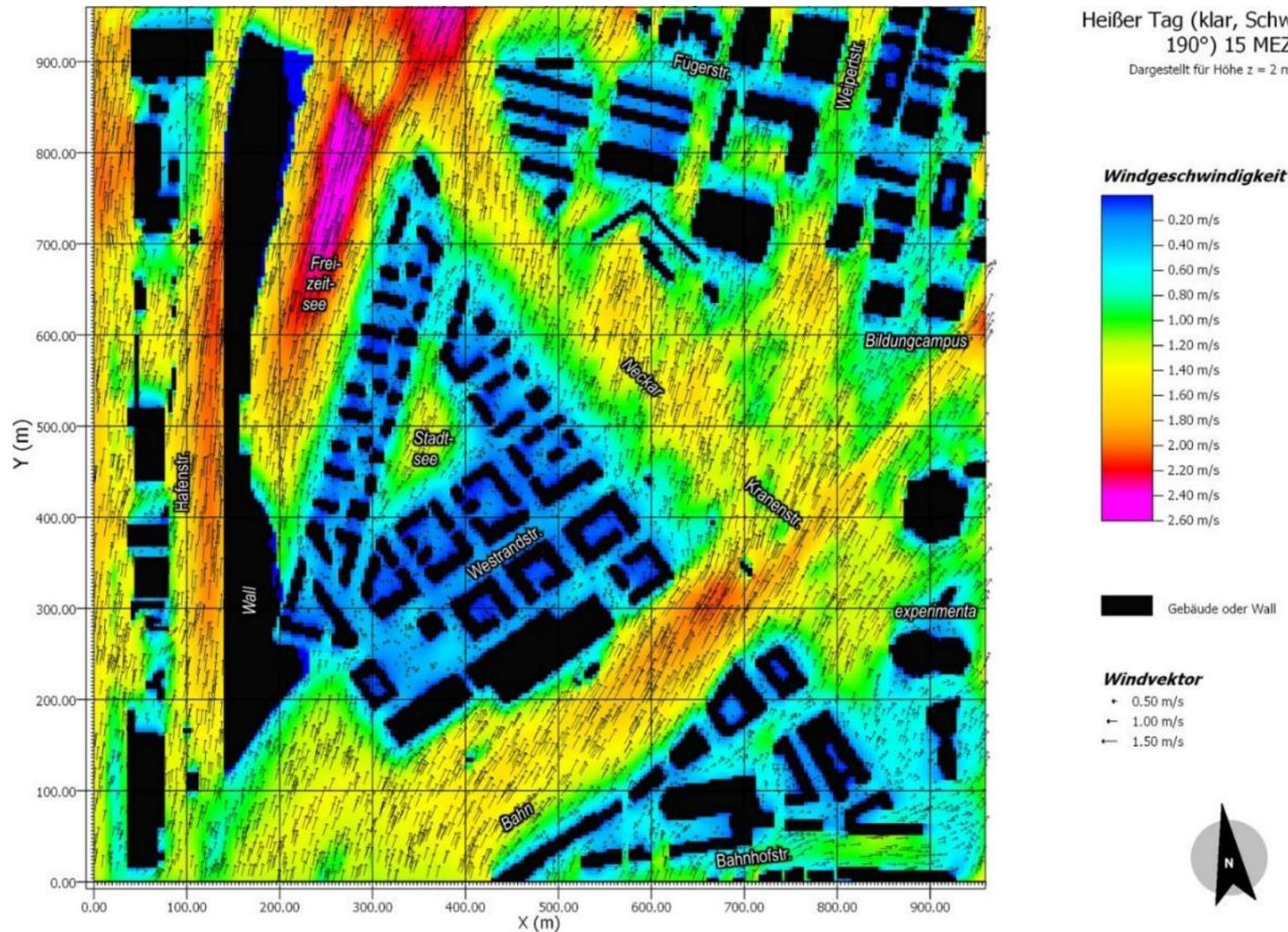


Abb. 9: Verteilung der Strömungsverhältnisse in 2 m ü. Gr. im Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ für 15 Uhr MEZ eines klaren heißen Sommertages mit schwachem Südwind

Heißer Tag (klar, Schwachwind
190°) 15 MEZ
Dargestellt für Höhe z = 2 m ü. Gr.

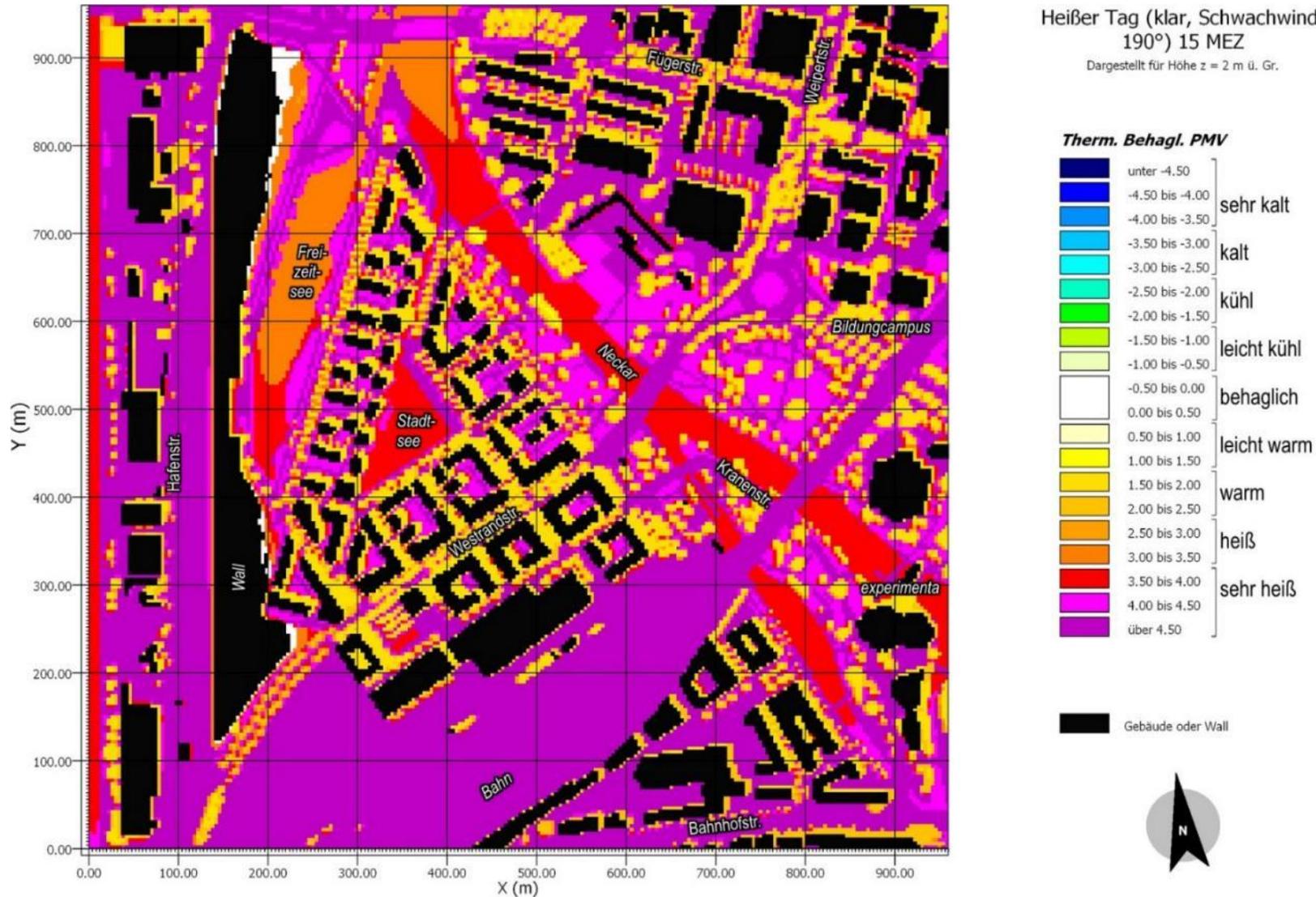


Abb. 10: Verteilung der thermischen Behaglichkeit PMV in 2 m ü. Gr. im Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ für 15 Uhr MEZ eines klaren heißen Sommertages mit schwachem Südwind

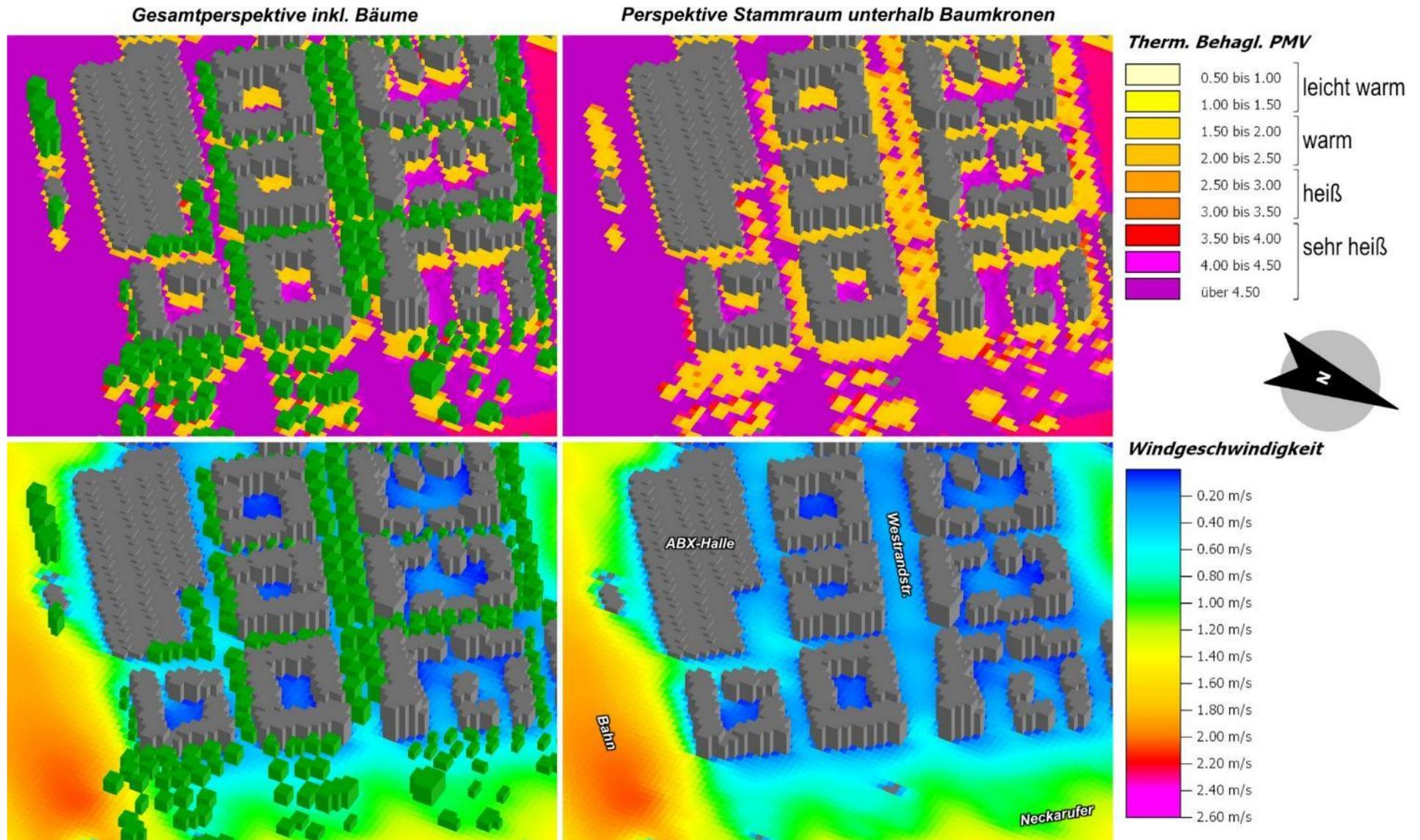


Abb. 11: 3D-Ansicht zum Vergleich des Einflusses von Bebauung und Bäumen auf die thermische Behaglichkeit und die Windgeschwindigkeit

5.2.1.2 Nachtsituation (23 Uhr MEZ)

Die in **Abb. 12** dargestellte Lufttemperatur um 23 Uhr zeigt zunächst einen deutlichen Modellfehler am unteren rechten Modellgebietsrand im Bereich der Bahnhofstraße, in dem die Lufttemperatur mit Werten $< 18^{\circ}\text{C}$ deutlich unterschätzt wird (zur Ursache siehe Fußnote 2, S. 27). Für die dortige hoch versiegelte Flächennutzung sind realistisch betrachtet Temperaturen von 21°C bis 22°C zu erwarten (vgl. z. B. Hafengebiet). Unter Berücksichtigung dieser Korrektur liegt das thermische Niveau im Untersuchungsgebiet zwischen $18,8^{\circ}\text{C}$ und $22,0^{\circ}\text{C}$ und ist damit ca. 9,5 K niedriger als um 15 Uhr. Das Temperaturniveau ist insgesamt bioklimatisch unbedenklich (s. u.).

Unter der Annahme, dass auch der Bereich Bahnhofstraße höhere Temperaturen aufweist, erstrecken sich die Gebiete mit den höchsten Temperaturen $> 20^{\circ}\text{C}$ auf die Bahnhofstraße, den Hafenbereich sowie auf die größeren Gewässer im nördlichen Neckarbereich und den beiden Seen. In der Bahnhofstraße und im Hafen sind die hohen Temperaturen auf die nur langsame Abkühlung der am Tage in den Baumaterialien und versiegelten Flächen aufgespeicherten Wärme zurückzuführen. Gleiches gilt für die thermisch trägen Wasserkörper, der jedoch im Tagesverlauf geringeren Temperaturschwankungen unterliegt. Am Tage (siehe 15 Uhr-Situation) bleibt er relativ kühl, während sich die Umgebung einstrahlungsbedingt deutlich schneller und stärker erwärmt. Zum Ende der Nacht (siehe 5 Uhr-Situation) sind die Gewässer relativ warm, während selbst die bebauten Bereiche deutlich abgekühlt sind.

Die kühleren Bereiche mit $18,5^{\circ}\text{C}$ bis $19,5^{\circ}\text{C}$ befinden sich abseits der Gewässer auf den Grünflächen zwischen Europaplatz und Neckar und den Gleisanlagen der Deutschen Bahn. Deren unversiegelte und unbegrünte Schotterdecke mit ihrem großen Porenvolumen kühlt nachts genauso schnell wieder aus, wie sie sich am Tage aufheizt. Die Grünflächen hingegen kühlen nicht ganz so schnell aus, da deren dichter Boden die Wärme länger speichern kann. Die relativ kühlere Luft wird mit der schwachen Südströmung in die bebauten Bereiche transportiert, wie das Hip-Gebiet nördlich des Neckars und die Gebäude entlang der Weststrandstraße zeigen. Im nördlichen Bereich des Dreiecks-Gebäudeensembles nimmt der Einfluss der wärmeren Seen und des Neckars zu, sodass sie Temperaturen auf $20,5^{\circ}\text{C}$ bis $21,5^{\circ}\text{C}$ leicht ansteigen

Das Windfeld um 23 Uhr (**Abb. 13**) ist deutlich schwächer ausgeprägt als um 15 Uhr. Es werden nur noch maximale Windgeschwindigkeiten von ca. 1,7 m/s erreicht. Durch die fehlende Konvektion ändert sich ferner das Strömungsregime, insbesondere auf den Gleisanlagen. Hier ist eine zu den wärmeren Gewässern ausgerichtete, südöstliche Strömung zu verzeichnen.

Die Durchlüftungsverhältnisse in bebauten und offenen Gebietsbereichen haben aber weiterhin Gültigkeit. Während auf den unbebauten Flächen und über den Gewässern die Ventilation im Allgemeinen gut ist, ist die Durchlüftung in den bebauten Bereichen schwach. Auch hier sind es die fast geschlossenen Innenhöfe beiderseits der Weststrandstraße, in denen die Durchlüftung

faktisch zum Erliegen kommt, zumal der Lokschuppen und dessen Nebengebäude einen wirksamen Strömungsriegel bilden. Zwar ist zwischen dem Lokschuppen und dem östlich gelegenen Gebäude ein durch Düseneffekte bedingtes Eindringen der etwas kräftigeren Strömung in die Stichstraße zu erkennen, allerdings kommt auch diese bereits nach wenigen Dekametern mangels geeigneter Ventilationsgassen wieder zum Erliegen. An der Bahnhofstraße sind hingegen beiderseits des Postgebäudes Düseneffekte mit lokal verbesserter Durchlüftung zu erkennen, die sich entlang geeigneter Ventilationsgassen ausbreitet, wenngleich auch sie nicht in quer liegende Gebäudehöfe einzudringen vermag (z. B. Innenhof des Postgebäudes).

Für das Experimenta-Areal und den Bildungscampus können schwache bis mäßige Durchlüftungsbedingungen festgestellt werden, die jedoch besser sind als innerhalb der anderen bebauten Strukturen.

Die bioklimatische Situation für 23 Uhr ist in **Abb. 14** dargestellt. Zunächst fällt auf, dass die PMV-Werte im negativen Bereich liegen, und somit keine Hitzebelastung, sondern einen Kältereiz darstellen. Ursache ist eine Einschränkung des Modells ENVI-met bezüglich der Berücksichtigung des sich ändernden Bekleidungsverhaltens bei unterschiedlichen Lufttemperaturen³. Die Darstellung geht somit von einem nächtlichen Aufenthalt im Freien in arm- und beinfreier leichter Sommerbekleidung aus. Die PMV-Werte würden um eine Behaglichkeitsstufe höher liegen (+1,0 PMV), wenn für die sommerlichen Nachtstunden angemessene Bekleidung berücksichtigt würde. Ferner ist für den Bereich Bahnhofstraße auf Grund des Modell-Temperaturfehlers (s. o.) eine Korrektur mit Anhebung um eine Behaglichkeitsstufe (+ 1,0 PMV) vorzunehmen.

Abgesehen von dieser Einschränkung betragen die PMV-Werte im gesamten Gebiete zwischen -0,5 PMV und -2,0 PMV, entsprechend einem „leicht kühlen“ bis „kühlem“ Empfinden.

Unter diesen Bedingungen ist im gesamten Gebiet keine Wärmebelastung festzustellen. Im neuen Wohnquartier auf dem Fruchtschuppenareal sowie im Hip-Gebiet ist das Bioklima „leicht kühl“, sodass der thermische Komfort für einen abendlichen Aufenthalt im Freien optimal ist. Im Bereich der Gewässer und der Gleisanlagen ist es etwas kühler. Hiervon sind auch das Experimenta-Gebäude und der Bildungscampus betroffen.

³ Das Modell ENVI-met ist derzeit nicht in der Lage, innerhalb einer laufenden Simulation unterschiedliche Garderobe für verschiedene Lufttemperaturen zu verarbeiten. Der Bekleidungsparameter clo wird beim Modellstart als Initialisierungsparameter manuell vorgegeben und ändert sich während der Simulation nicht. Da hier die Wärmebelastung für heiße Tage im Vordergrund steht, wurde der clo -Wert auf 0,5 (arm- und beinfreie leichte Sommerbekleidung) festgesetzt (vgl. Tab. 2). Dieses führt nachts zur Unterschätzung des thermischen Empfindens (Kühle), da normalerweise (spät) abends im Freien zusätzlich leichte Obervollbekleidung genutzt wird. Die Stärke der Unterschätzung für die Nachtsituation beträgt ungefähr eine Behaglichkeitsstufe (ca. -1,0 PMV).

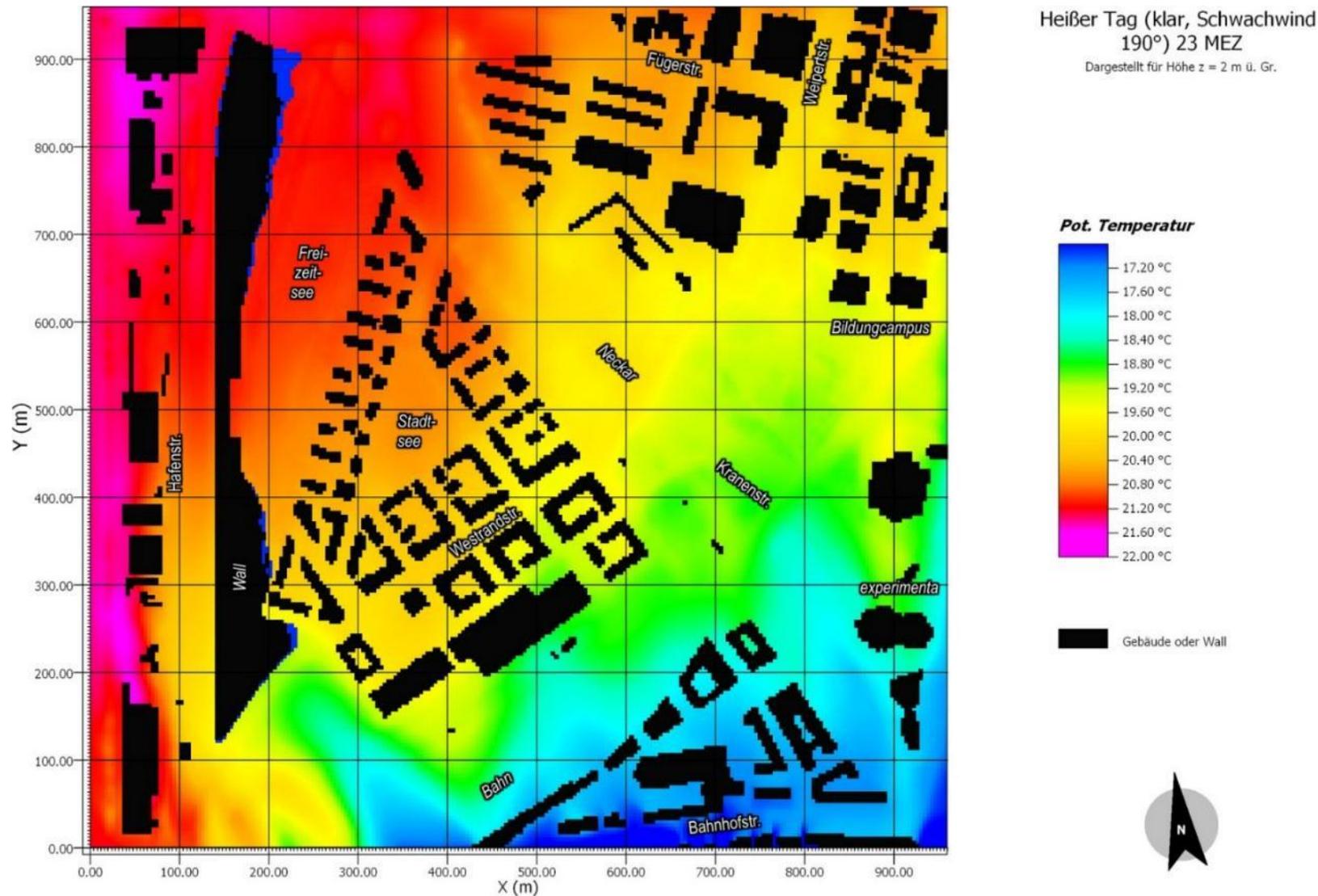


Abb. 12: Verteilung der potenziellen Lufttemperatur in 2 m ü. Gr. im Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ für 23 Uhr MEZ eines klaren heißen Sommertages mit schwachem Südwind

Heißer Tag (klar, Schwachwind
190°) 23 MEZ
Dargestellt für Höhe z = 2 m ü. Gr.

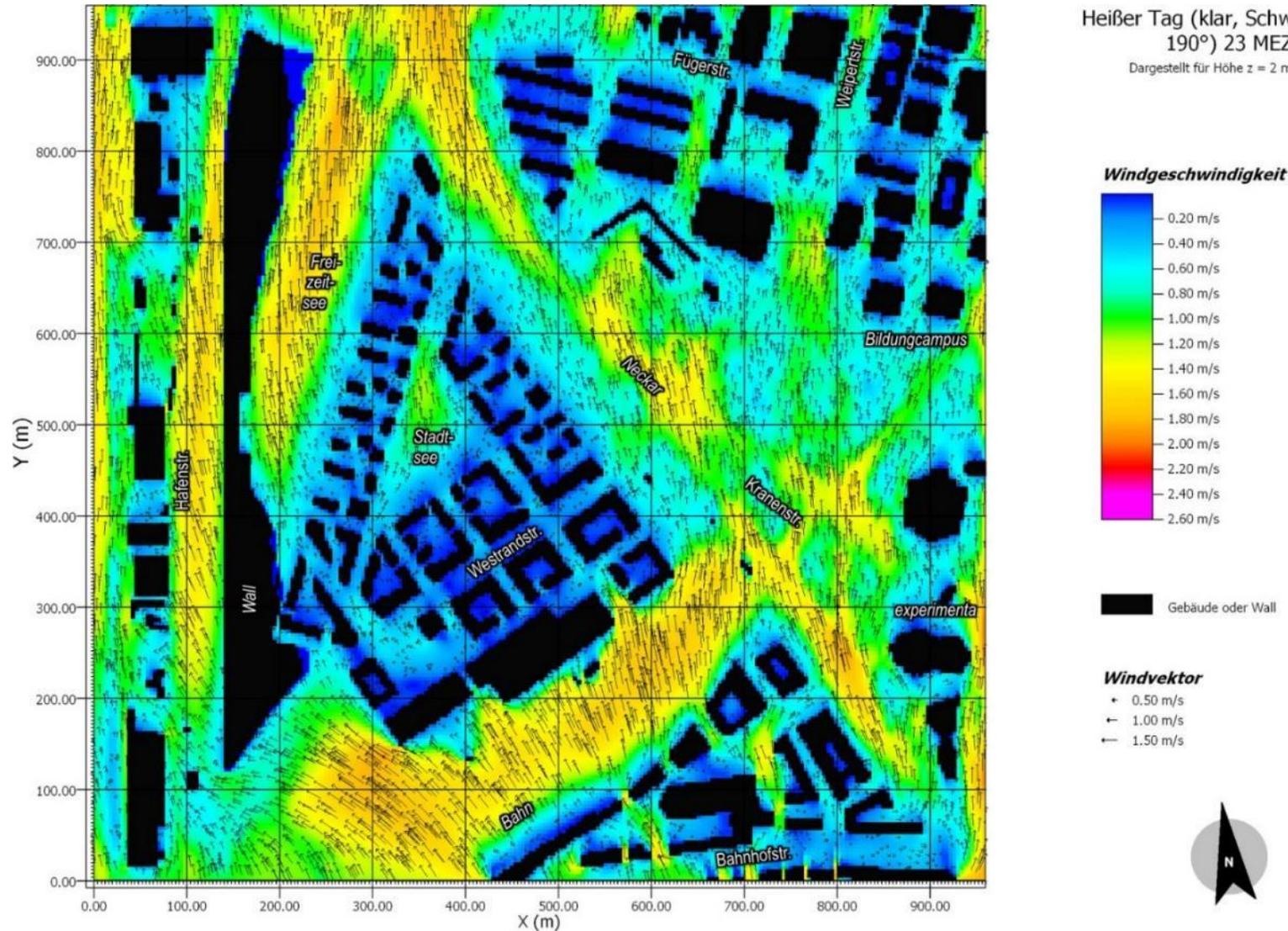


Abb. 13: Verteilung der Strömungsverhältnisse in 2 m ü. Gr. im Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ für 23 Uhr MEZ eines klaren heißen Sommertages mit schwachem Südwind

Heißer Tag (klar, Schwachwind
190°) 23 MEZ
Dargestellt für Höhe z = 2 m ü. Gr.

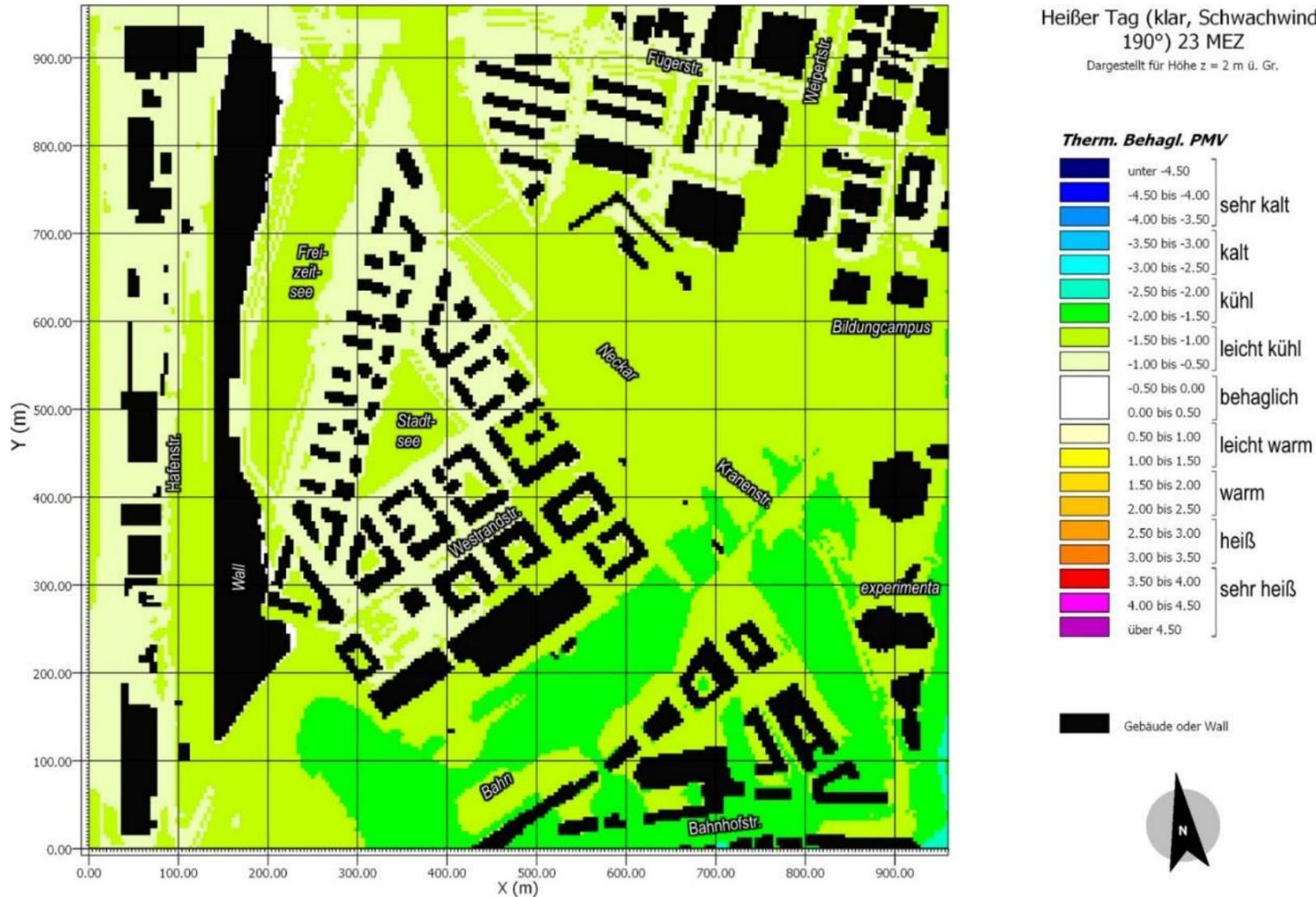


Abb. 14: Verteilung der thermischen Behaglichkeit PMV in 2 m ü. Gr. im Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ für 23 Uhr MEZ eines klaren heißen Sommertages mit schwachem Südwind

5.2.1.3 Morgensituation (5 Uhr MEZ)

Bei den in **Abb. 15** dargestellten Temperaturverhältnissen um 5 Uhr tritt am unteren rechten Modellgebietsrand im Bereich der Bahnhofstraße der gleiche Modellfehler wie in der 23-Uhr-Situation zutage, in dem die Lufttemperatur mit Werten $< 14,5^{\circ}\text{C}$ deutlich unterschätzt wird (zur Ursache siehe Fußnote 2, S. 27). Für die dortige hoch versiegelte Flächennutzung sind realistisch betrachtet Temperaturen von 16°C bis 18°C zu erwarten (vgl. z. B. Hip-Gebiet). Unter Berücksichtigung dieser Korrektur liegt das thermische Niveau im Untersuchungsgebiet zwischen $13,5^{\circ}\text{C}$ und $18,0^{\circ}\text{C}$ und ist damit ca. 4,7K bzw. 14,2K niedriger als um 23 Uhr bzw. 15 Uhr.

Im Vergleich zur 23-Uhrsituation ist im Allgemeinen eine weitere nächtliche gebietsweite Abkühlung zu beobachten. Allerdings ist die Abkühlung in den Gewässern wesentlich langsamer vorangeschritten als im übrigen Gebiet, sodass insbesondere die größeren Gewässerbereiche des nördlichen Neckarabschnitts und des Freizeitsees als relativ wärmste Areale in Erscheinung treten und auch eine Wirkung auf den nördlichen Teil des neuen Gebäudeensembles haben. Das Temperaturniveau ist bioklimatisch insgesamt jedoch unbedenklich (s. u.).

Bei den Windverhältnissen ist gegenüber der 23-Uhr-Situation keine Änderung festzustellen (s. **Abb. 16**), sodass die Aussagen zur 23-Uhr-Situation hier gleichermaßen gültig sind.

Bei der thermischen Behaglichkeit gelten ebenfalls die Aussagen der Situation um 23 Uhr. Der einzige Unterschied liegt in der allgemeinen weiteren Abkühlung um eine Behaglichkeitsstufe ($-1,0$ PMV) auf $-1,5$ PMV bis $-2,5$ PMV („kühl“) (**Abb. 17**). Da zu dieser Tageszeit i. d. R. keine Outdooraktivitäten beim Großteil der Bevölkerung zu erwarten sind, beschränken sich mögliche bioklimatische Belastungen ggf. auf den Bereich der Wohnungen.

Heißer Tag (klar, Schwachwind
190°) 05 MEZ
Dargestellt für Höhe z = 2 m ü. Gr.

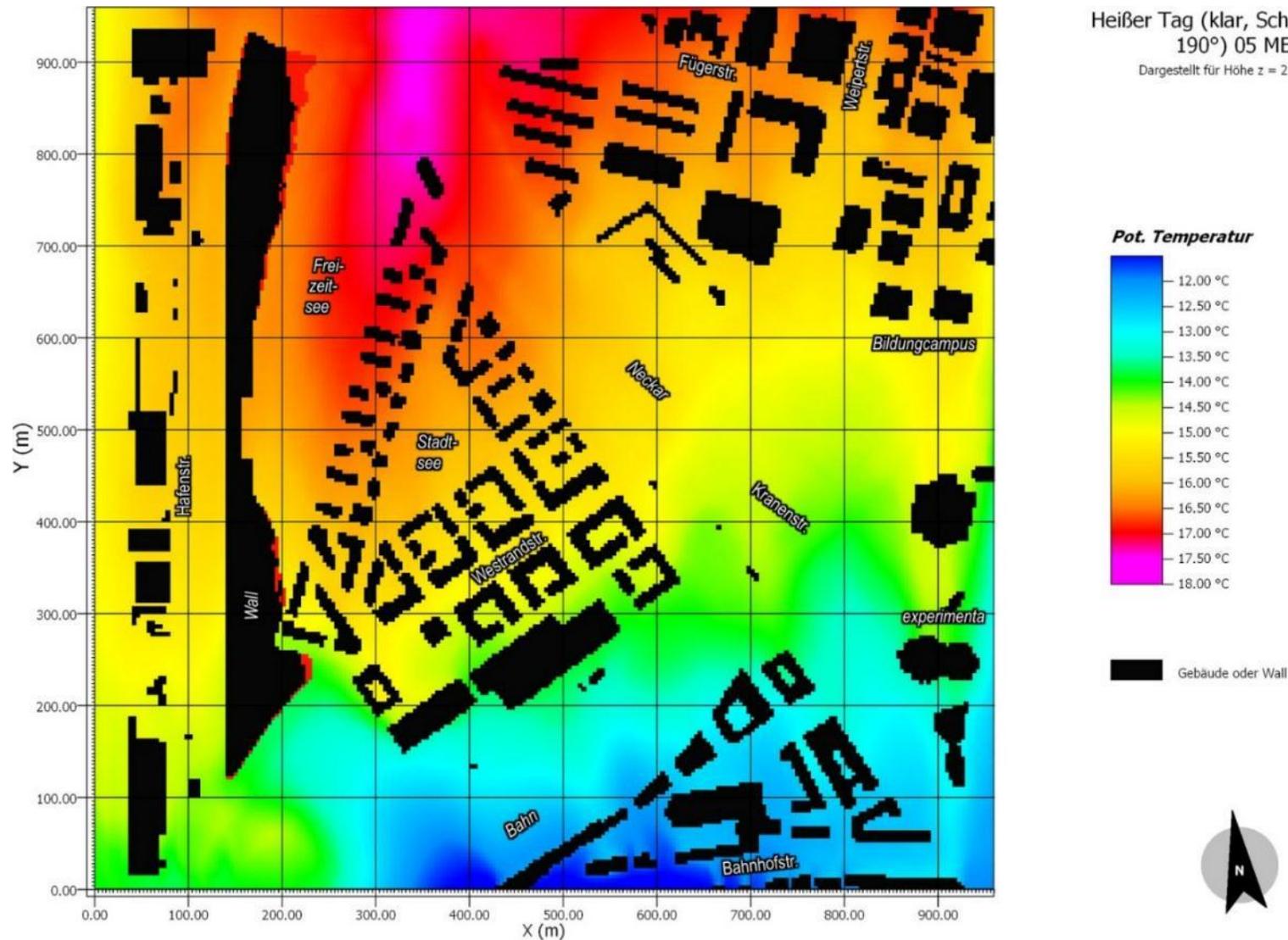


Abb. 15: Verteilung der potenziellen Lufttemperatur in 2 m ü. Gr. im Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ für 05 Uhr MEZ eines klaren heißen Sommertages mit schwachem Südwind

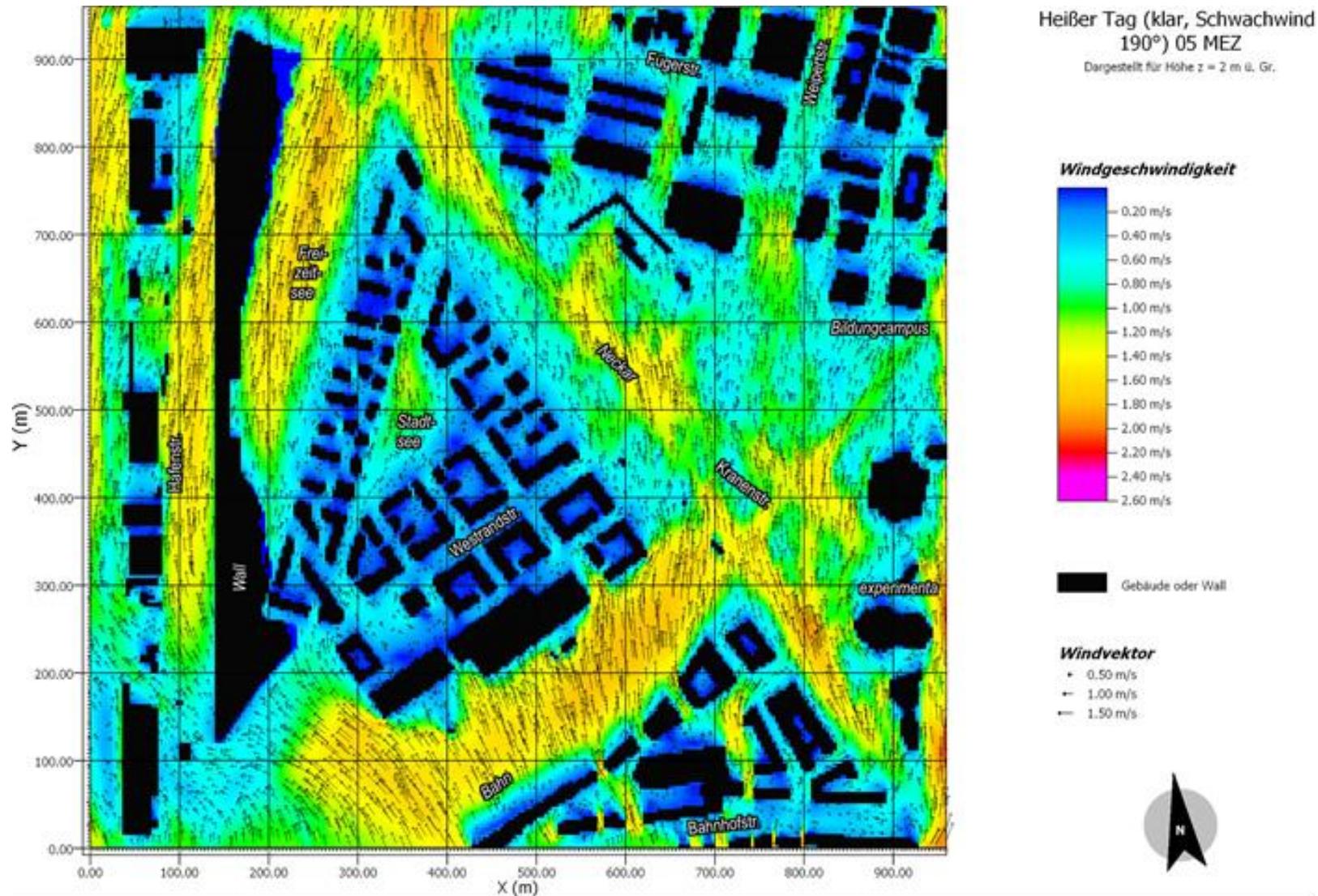


Abb. 16: Verteilung der Strömungsverhältnisse in 2 m ü. Gr. im Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ für 05 Uhr MEZ eines klaren heißen Sommertages mit schwachem Südwind

Heißer Tag (klar, Schwachwind
190°) 05 MEZ
Dargestellt für Höhe z = 2 m ü. Gr.

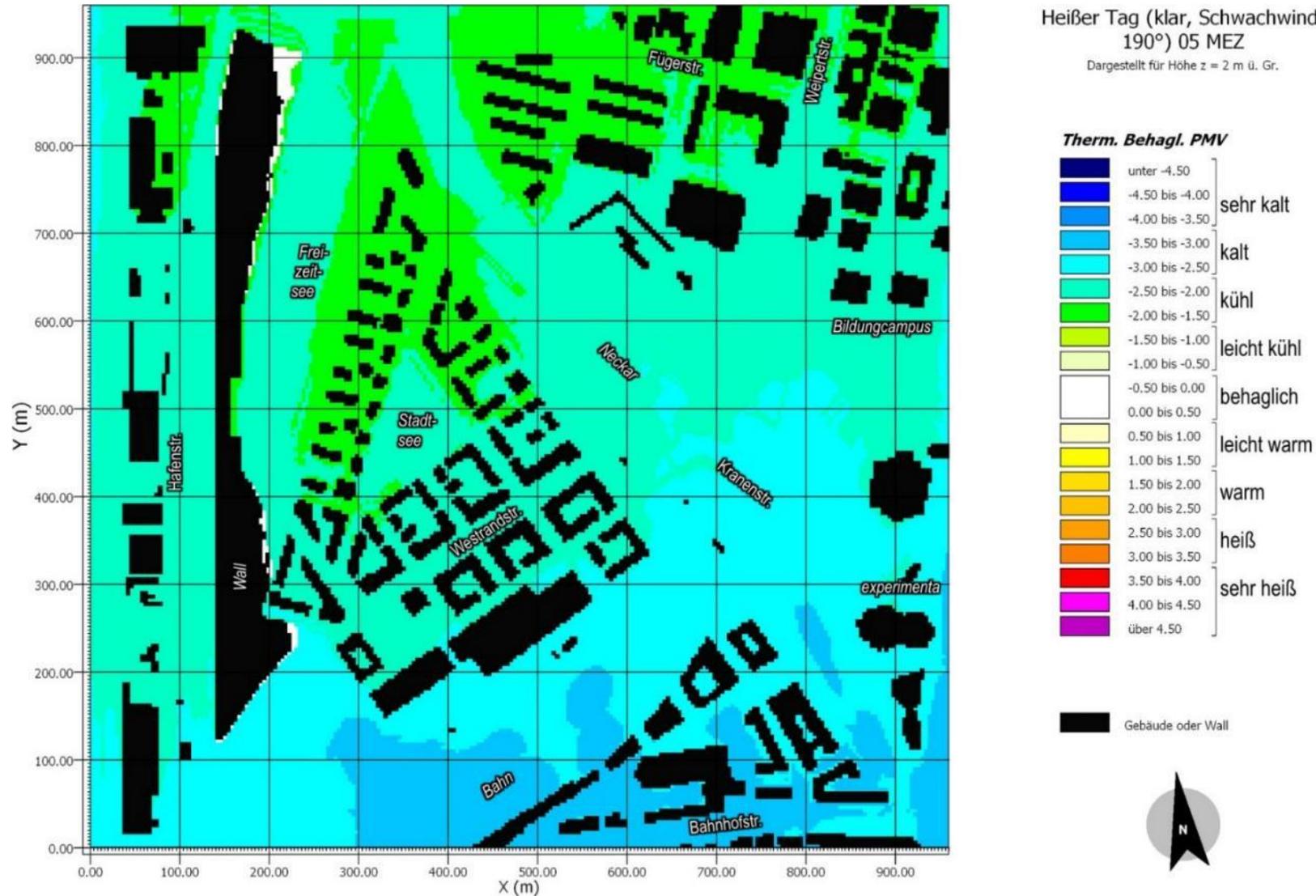


Abb. 17: Verteilung der thermischen Behaglichkeit PMV in 2 m ü. Gr. im Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ für 05 Uhr MEZ eines klaren heißen Sommertages mit schwachem Südwind

5.2.2 Szenario bedeckter Sommertag mit starkem Südwind

Mit diesem Szenario werden die Durchlüftungsverhältnisse genauer untersucht. Die Ausgangswindgeschwindigkeit beträgt bei diesem Szenario 3,0 m/s. Die Anströmung erfolgt weiterhin aus 190° (Süd). Um den Einfluss einstrahlungsbedingter Konvektion zu reduzieren und den dynamischen externen Antrieb zu fokussieren, wurde die Bewölkung auf 4/8 Bedeckung festgesetzt.

5.2.2.1 Tagsituation (15 Uhr MEZ)

Die in **Abb. 18** dargestellte Lufttemperatur zeigt abgesehen von Modellartefakten im südöstlichen Gebietsbereich (rote Bereiche; zur Ursache siehe Fußnote 2, S. 27) für das Gebiet Unterschiede zwischen 20,7°C und 24,7°C. Als kühlste Bereiche (< 22°C) sind die beiden Seen und der nördliche Neckarabschnitt zu nennen. Sie beeinflussen auch die nördlichen, zwischen den beiden Seen und dem Neckar gelegenen, Gebäude des neuen Quartiers, während die übrigen Gebäudegruppen im Untersuchungsgebiet um ca. 0,5K bis 1,0K wärmer sind. Hierbei haben auch die relativ warmen Gleisanlagen einen Einfluss auf den südlichen Teil des neuen Quartiers.

Die Durchlüftungsverhältnisse sind in **Abb. 19** dargestellt. Aufgrund geringer Oberflächenrauigkeit oder Längsausrichtung zur Anströmrichtung (Kanalisation) stellen sich mit Windgeschwindigkeiten > 2,5 m/s die Hafenanlagen, der Freizeitsee, der nördliche Neckarabschnitt sowie die Bahnanlagen als sehr gut durchlüftet dar. Das auf dem Stadtsee die Windgeschwindigkeiten trotz geringer Oberflächenrauigkeit niedriger sind als über dem Freizeitsee, dürfte auf seine geringe Flächengröße zurückzuführen sein, sodass die von Süden über die Bebauung hinweg fließende Strömung im Überdachniveau über den See hinweg gleitet und nicht bis das Bodenniveau herabgemischt wird. Auch in den größeren Grünanlagen entlang beider Neckarufer ist trotz zahlreicher Bäume die Ventilation mit Windgeschwindigkeiten von 1,3 m/s bis 2,2 m/s als gut einzustufen. Diese betrifft auch den Bildungscampus und das Experimenta-Areal.

Auffälligstes Merkmal dieses Szenarios ist jedoch die mangelnde Durchlüftung in den Quartieren, die trotz der dreimal höheren Initialwindgeschwindigkeit von 3 m/s genauso schwach ist wie um 15 Uhr des windschwachen heißen Tages (siehe **Kap. 5.1.3.1**). Bestenfalls werden 0,4 m/s festgestellt. Dieses betrifft insbesondere das neue Quartier auf dem Fruchtschuppenareal. Selbst kleinere Düseneffekte, die ein Eindringen der Strömung in die Bebauung andeuten würden, wie z. B. in den Bereichen Weipertstraße und Edisonstraße im nördlichen Untersuchungsgebiet, sind nicht zu erkennen. Auch in diesem Szenario kommt in den Innenhöfen beiderseits der Westrandstraße die Durchlüftung fast zum Erliegen. Wiederum ist die Riegelbildung gegenüber der Südanströmung die Ursache für die schwache Quartierdurchlüftung. Der Wall stellt für

südliche Winde weiterhin kein Strömungshindernis dar, sodass die Grünflächen zwischen Wall und neuem Quartier gut durchlüftet werden

Insgesamt sind die thermischen Bedingungen aufgrund der leichten Bewölkung und der höheren Windgeschwindigkeiten sommerlich mild, so dass auch beim Bioklima keine Auffälligkeiten zu verzeichnen sind (**Abb. 20**). Mit PMV-Werten von 0,0 bis 1,0 im Bereich der Gebäude des neuen Quartiers ist es gerade „leicht warm“. Nur unwesentlich höher (+0,5 PMV) und damit noch immer „leicht warm“ sind die thermischen Indizes in den offen Grünflächen, den Gleisanlagen sowie im Hip-Gewerbegebiet nördlich des Neckars. Thermische Belastungen sind somit nicht gegeben.

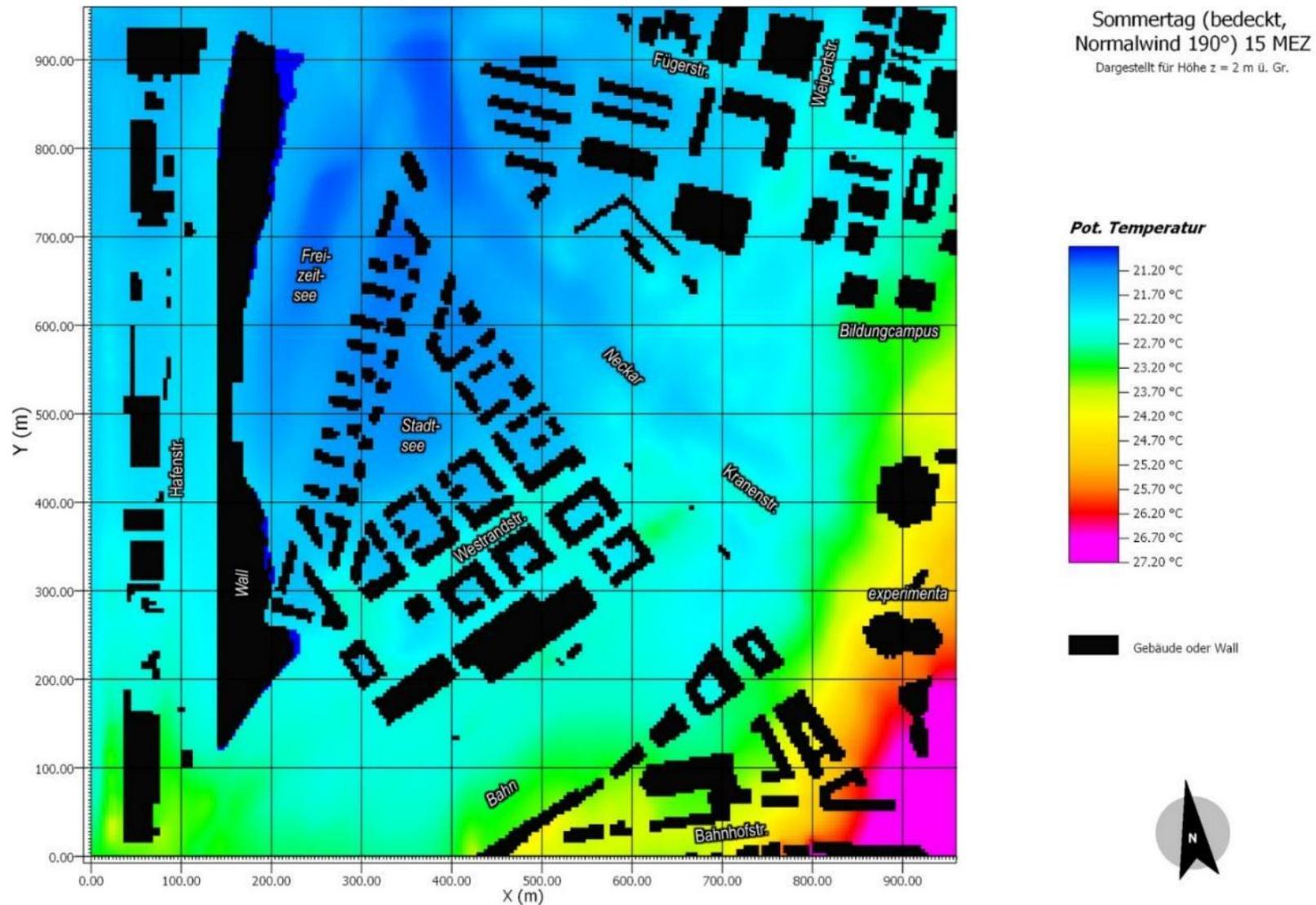


Abb. 18: Verteilung der potenziellen Lufttemperatur in 2 m ü. Gr. im Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ für 15 Uhr MEZ eines bedeckten Sommertages mit starkem Südwind

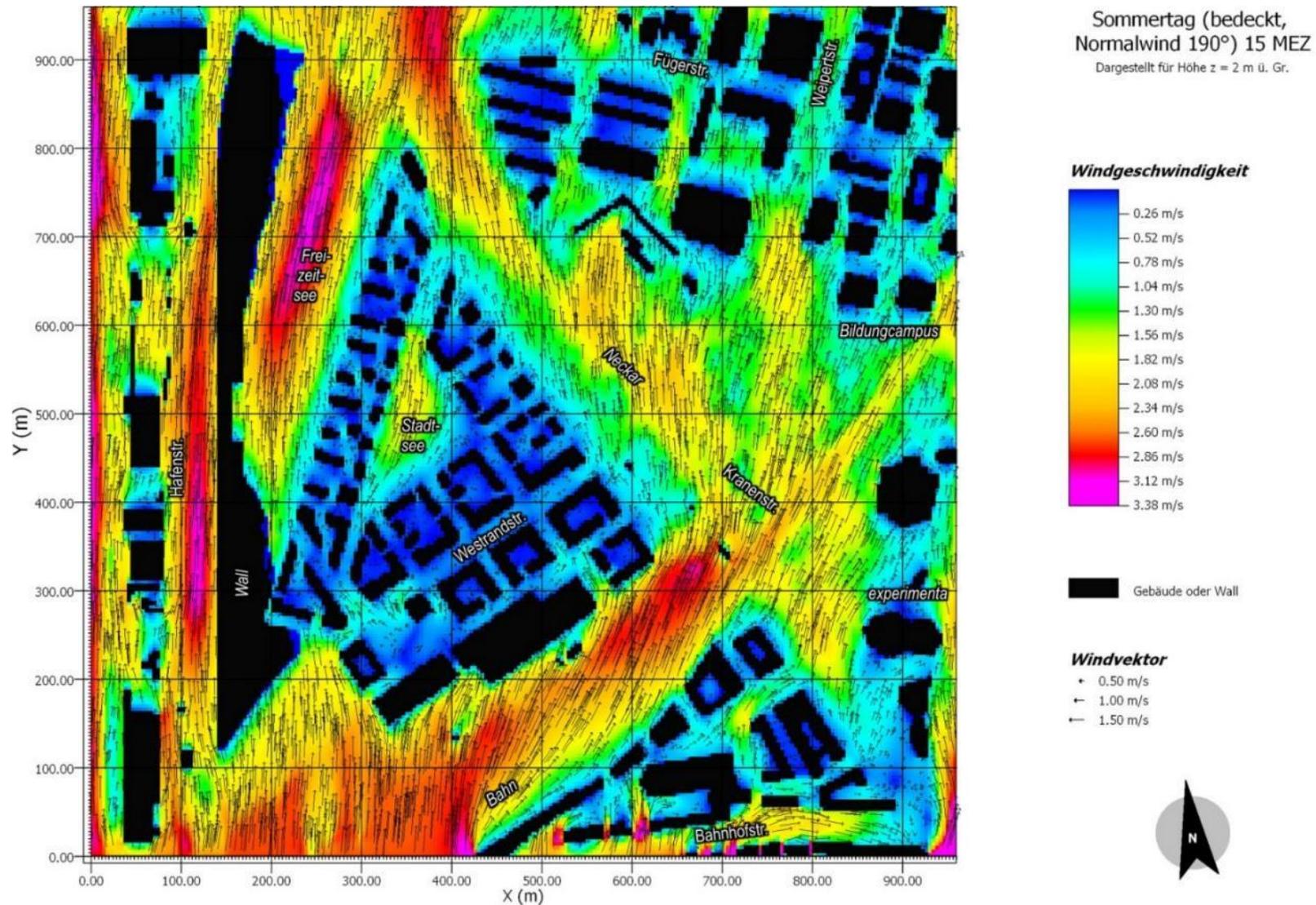


Abb. 19: Verteilung der Strömungsverhältnisse in 2 m ü. Gr. im Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ für 15 Uhr MEZ eines bedeckten Sommertages mit starkem Südwind

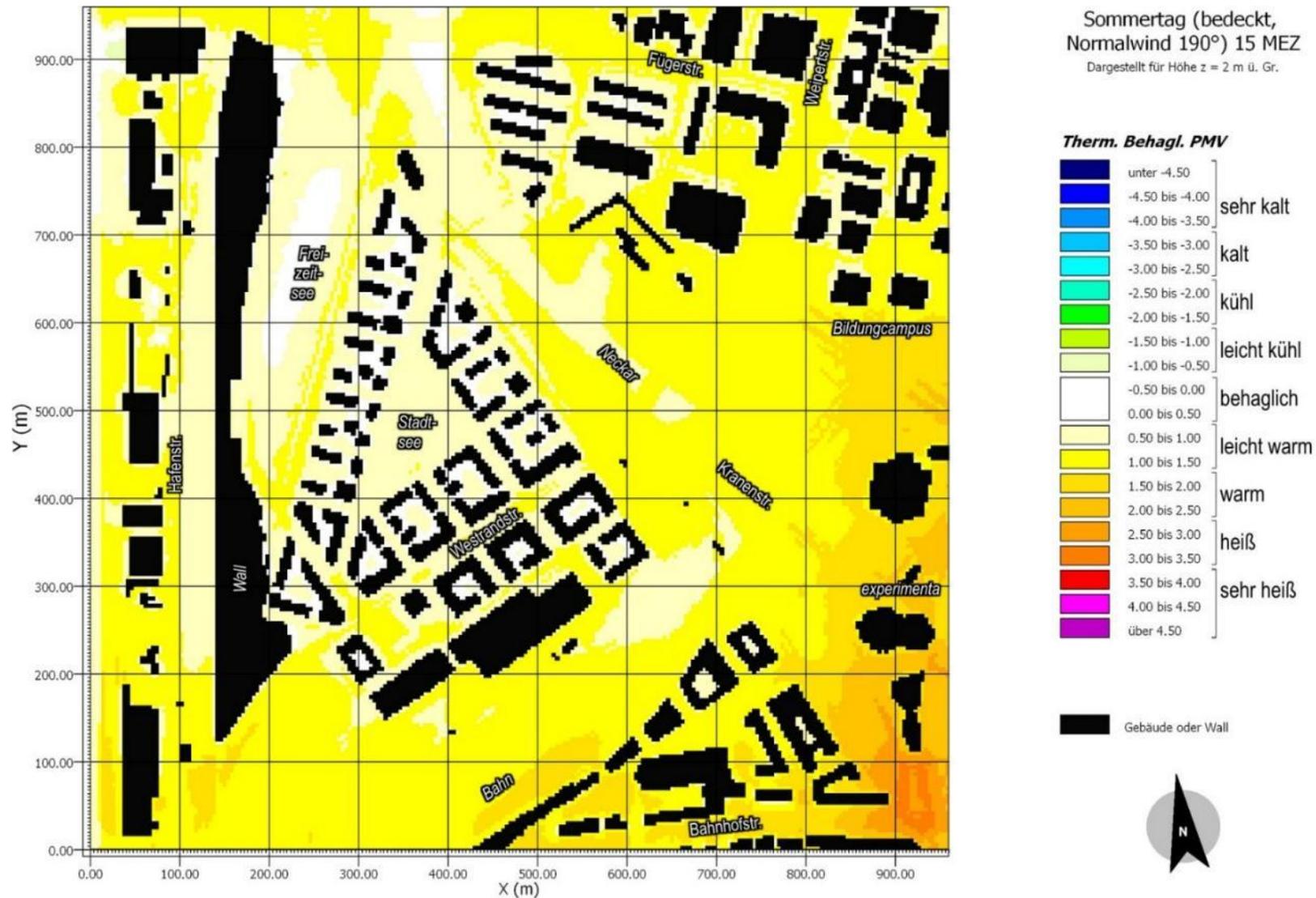


Abb. 20: Verteilung der thermischen Behaglichkeit PMV in 2 m ü. Gr. im Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ für 15 Uhr MEZ eines bedeckten Sommertages mit starkem Südwind

5.2.2.2 Nachtsituation (23 Uhr MEZ)

Abgesehen vom Modellfehler mit unterschätzten Temperaturen am unteren Modellrand im Bahnhofsbereich findet bei der Lufttemperatur bis zum Abend gegenüber 15 Uhr eine Abkühlung um ca. 5,4K auf 16,6°C bis 18,1°C statt (**Abb. 21**). Die Differenzierung innerhalb des Plangebietes ist mit ca. 1,5K Unterschied gering.

Die Gewässer stellen nachts gegenüber der Atmosphäre einen Wärmespeicher dar. Daher sind die Lufttemperaturen über dem Wasser mit denen über den Freiflächen vergleichbar, wie an den beiden Seen und dem nördlichen Neckarabschnitt zu erkennen ist. Die etwas höheren Temperaturen sind demnach in den Gewässerbereichen, in den Hafenanlagen, im östlichen Gewerbegebiet sowie im westlichen Bereich des neuen Quartiers zu finden. Im Bereich der Parkanlagen und offenen Vegetationsflächen ist es etwas kühler.

Bei den Windverhältnissen ist gegenüber der 15-Uhr-Situation keine signifikante Änderung festzustellen (siehe **Abb. 22**), sodass die Aussagen zur 15-Uhr-Situation hier gleichermaßen gültig sind. Ursache ist der aufgrund der vorgegebenen Bewölkung fehlende zusätzliche Windantrieb durch einstrahlungsbedingte Konvektion während der Tagstunden, sodass am Tage und in der Nacht die gleichen Ventilationsbedingungen herrschen.

Aufgrund der milden Temperaturen sind beim Bioklima (**Abb. 23**) keine Auffälligkeiten zu verzeichnen. Da für den angenommenen Sommertag auch für diese Simulation eine sommerliche Bekleidung ($clo = 0,5$, vgl. Tab. 2, S. 27 sowie Fußnote 3, S. 36) angenommen wurde, liegen die PMV-Werte im negativen Bereich und betragen im gesamten Gebiet zwischen -1,0 PMV und -2,5 PMV, entsprechend einem „leicht kühlen“ bis „kühlen“ Empfinden. Die räumliche Differenzierung ist sehr gering. Als Ursache sind sowohl die gebietsweiten geringen Temperaturunterschiede (vgl. **Abb. 21**) als auch die fehlende Sonneneinstrahlung, welche über die Strahlungstemperatur maßgeblich die thermische Behaglichkeit beeinflusst, zu nennen.

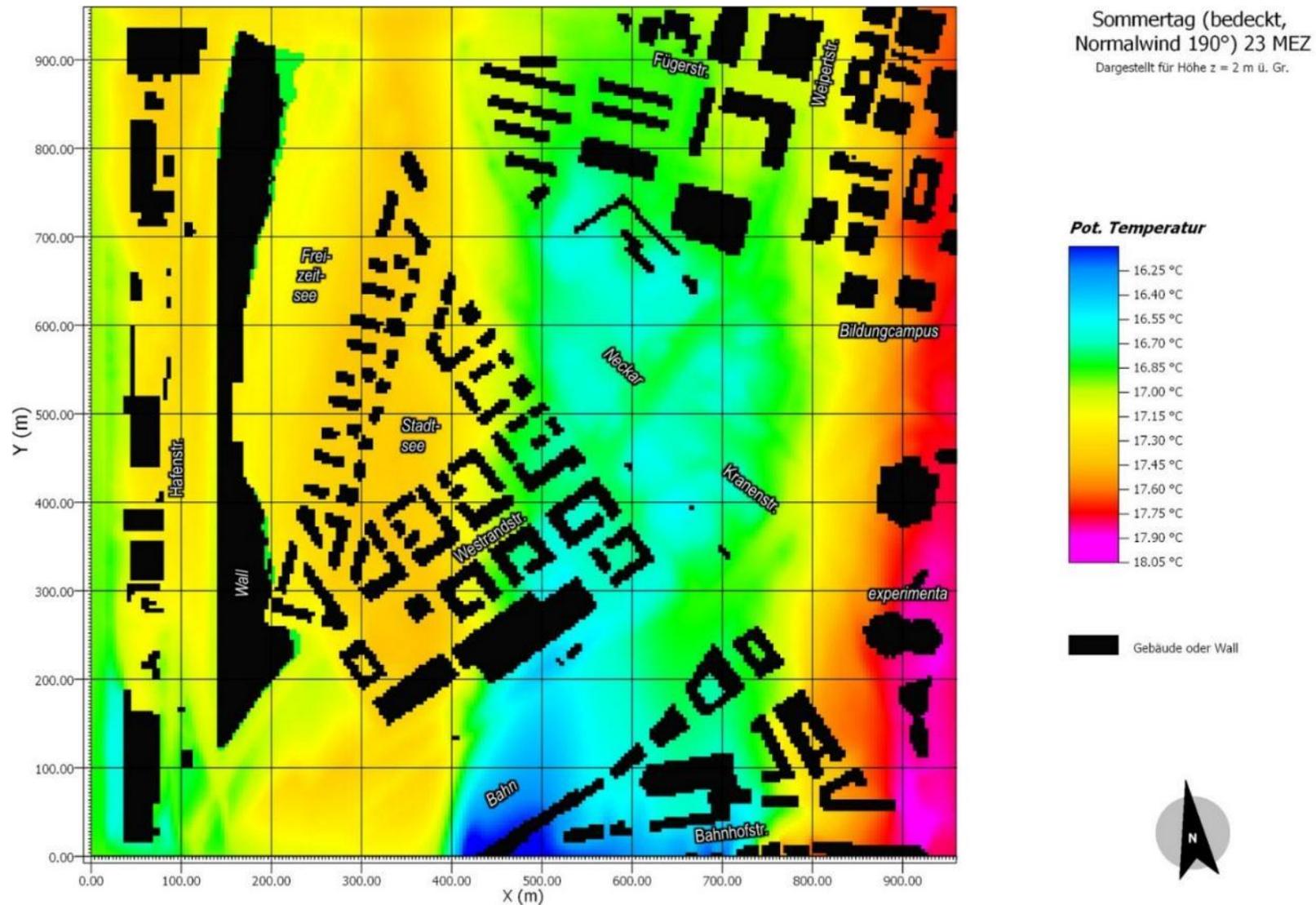


Abb. 21: Verteilung der potenziellen Lufttemperatur in 2 m ü. Gr. im Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ für 23 Uhr MEZ eines bedeckten Sommertages mit starkem Südwind

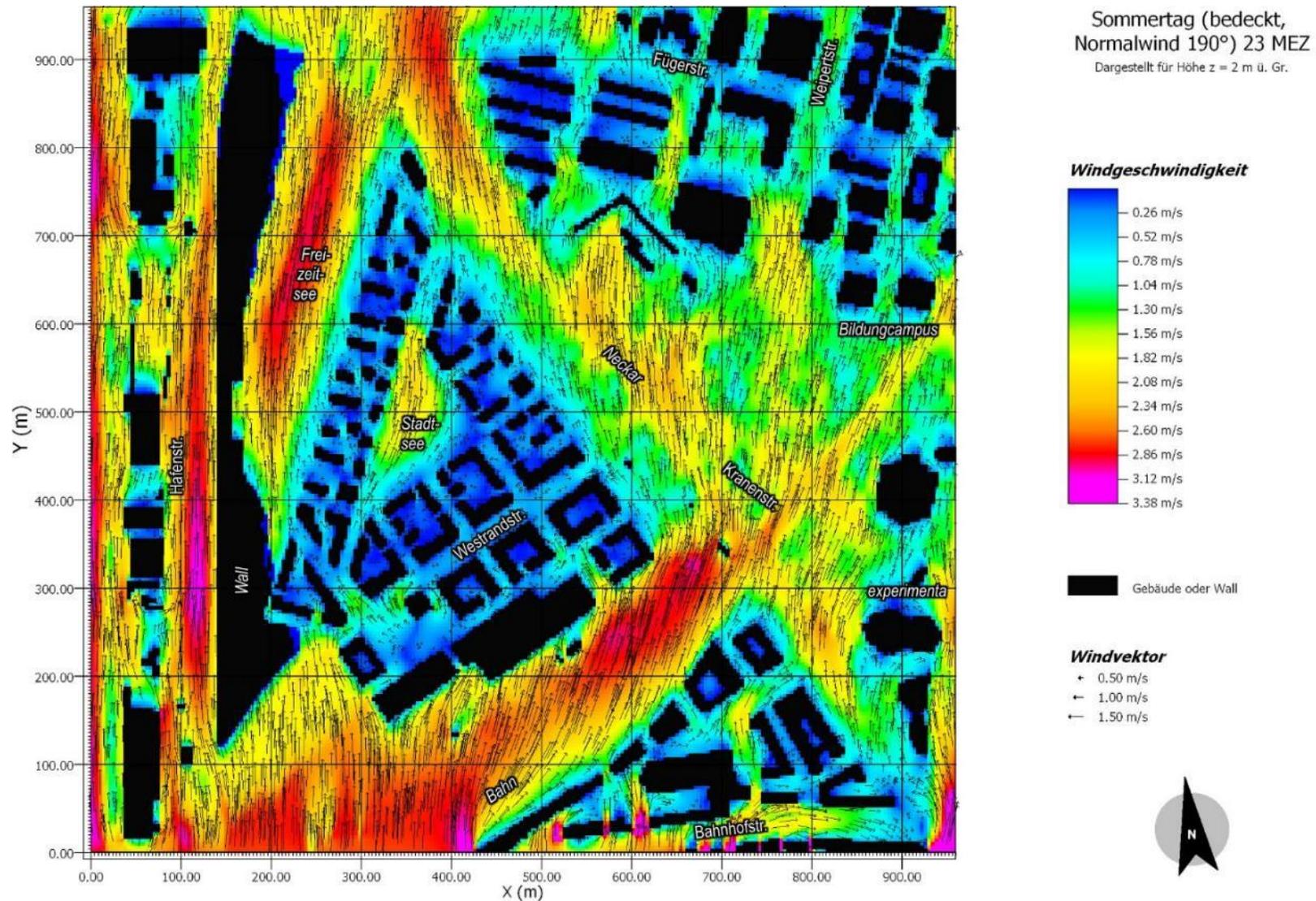


Abb. 22: Verteilung der Strömungsverhältnisse in 2 m ü. Gr. im Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ für 23 Uhr MEZ eines bedeckten Sommertages mit starkem Südwind

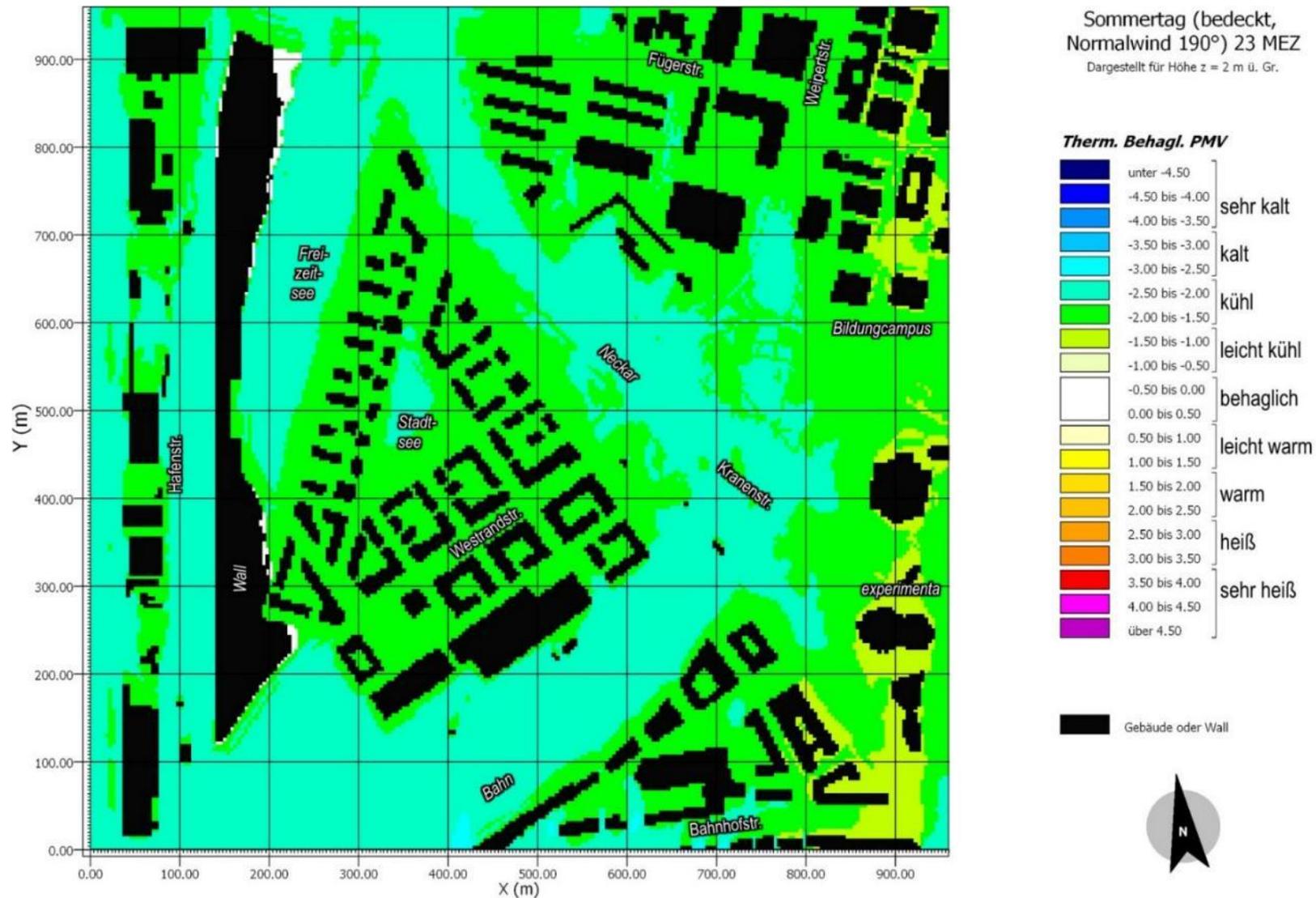


Abb. 23: Verteilung der thermischen Behaglichkeit PMV in 2 m ü. Gr. im Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ für 23 Uhr MEZ eines bedeckten Sommertages mit starkem Südwind

5.2.2.3 Morgensituation (5 Uhr MEZ)

Auch in der Fünfuhrsituation ist bei den Temperaturen (**Abb. 24**) der Modellfehler am unteren Modellrand im Bahnhofsbereich mit unterschätzten Temperaturen zu beobachten. Unter Nichtberücksichtigung dieses Fehlers ist im Gesamtgebiet gegenüber der 23-Uhrsituation eine weitere Abkühlung um 1,8 K zu beobachten. Die Temperaturen betragen zwischen 14,5°C und 16,5°C. Der Unterschied zur Situation um 15 Uhr beträgt ca. 7,2 K. Eine zusätzliche räumliche Differenzierung gegenüber 23 Uhr ist nicht festzustellen.

Bei den Windverhältnissen ist gegenüber der 15-Uhr- und 23-Uhr-Situation keine signifikante Änderung festzustellen (s. **Abb. 25**), sodass die Aussagen zur 15-Uhr-Situation auch hier gleichermaßen gültig sind. Ursache ist auch hier der fehlende zusätzliche Windantrieb durch einstrahlungsbedingte Konvektion während der Tagstunden, sodass am Tage und in der Nacht die gleichen Ventilationsbedingungen herrschen.

Bei der thermischen Behaglichkeit gelten ebenfalls die Aussagen der Situation um 23 Uhr. Der einzige Unterschied liegt in der allgemeinen weiteren Abkühlung um ca. eine halbe Behaglichkeitsstufe (-1,0 PMV) auf -2,0 PMV bis -3,0 PMV („kühl“ bis „kalt“) (**Abb. 26**).

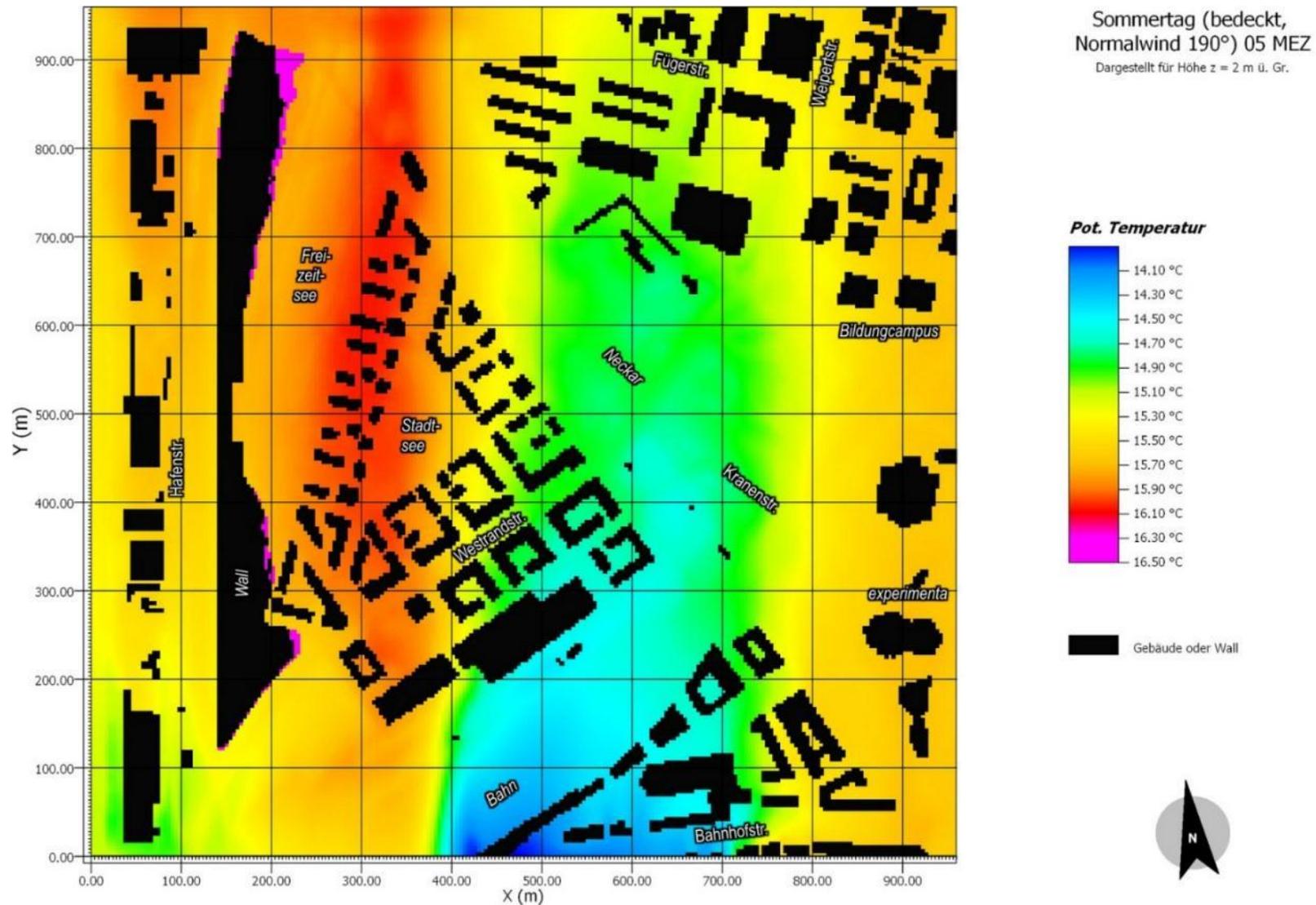


Abb. 24: Verteilung der potenziellen Lufttemperatur in 2 m ü. Gr. im Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ für 05 Uhr MEZ eines bedeckten Sommertages mit starkem Südwind

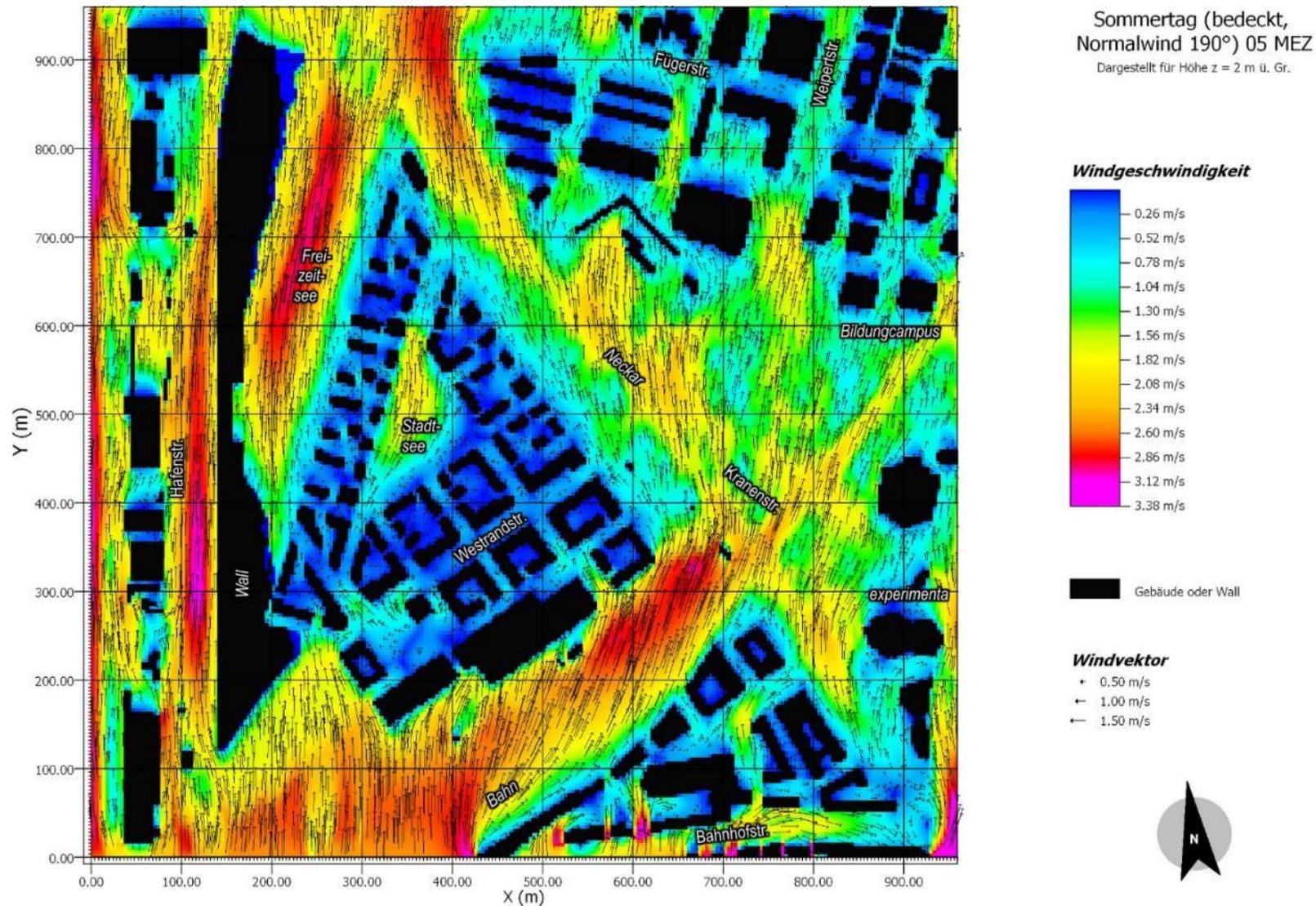


Abb. 25: Verteilung der Strömungsverhältnisse in 2 m ü. Gr. im Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ für 5 Uhr MEZ eines bedeckten Sommertages mit starkem Südwind

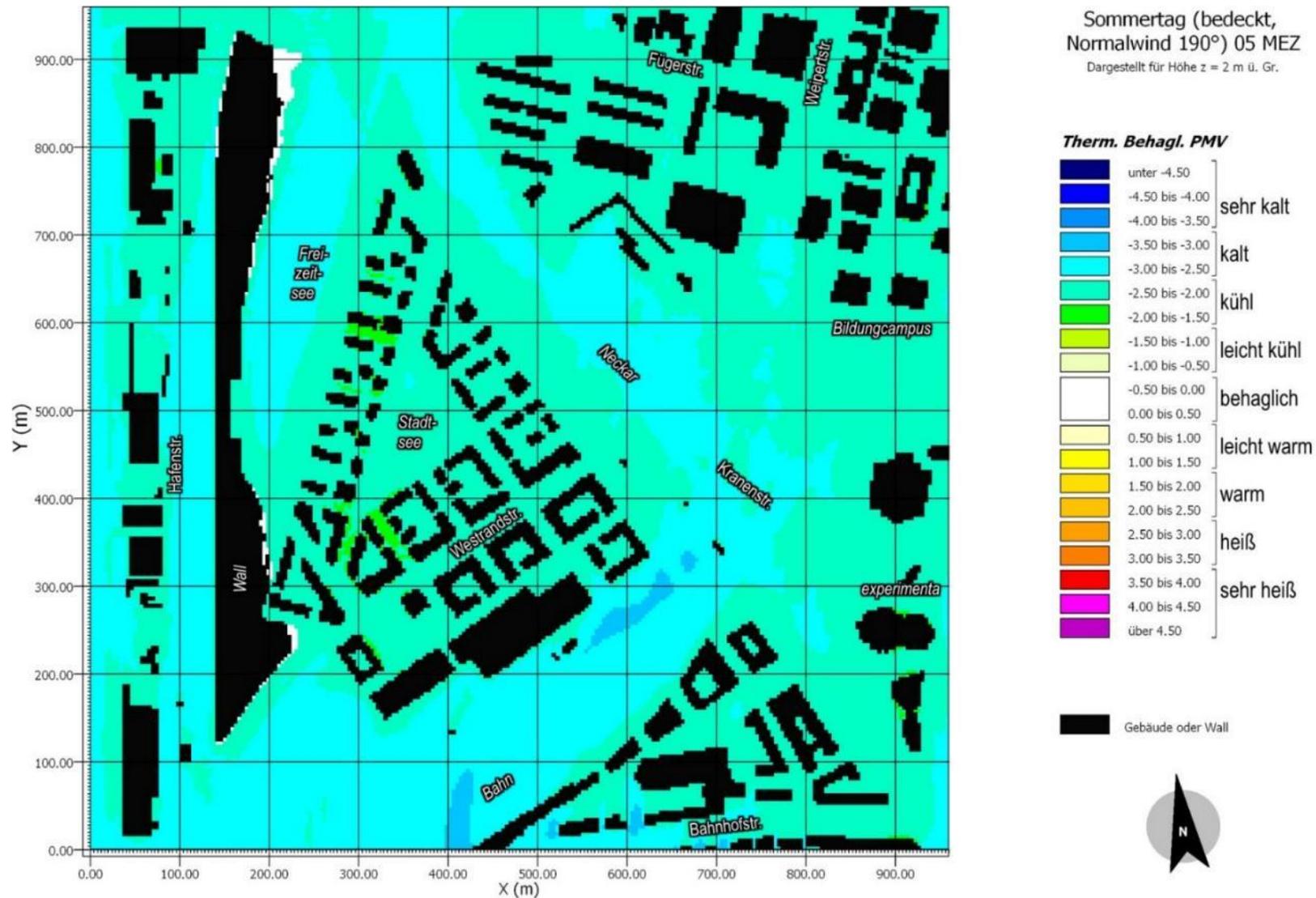


Abb. 26: Verteilung der thermischen Behaglichkeit PMV in 2 m ü. Gr. im Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ für 05 Uhr MEZ eines bedeckten Sommertages mit starkem Südwind

5.2.3 Szenario für durchschnittliche mittlere Verhältnisse mit Bedeckung und schwachem Südwestwind

Dieses Szenario spiegelt eine durchschnittliche mittlere klimatische Situation für Heilbronner Verhältnisse wieder. Dabei wird ein mittlerer Bewölkungsgrad (4/8) angenommen, so dass aufgrund nur mäßiger Sonneneinstrahlung nur eine geringe Erwärmung der urbanen Oberflächen stattfindet. Entsprechend erreichen die Temperaturen Werte zwischen 9°C und 14°C. Die Anströmung erfolgt mit schwachen Winden aus südwestlicher Richtung.

5.2.3.1 Tagsituation (15 Uhr MEZ)

Die in **Abb. 27** dargestellte Lufttemperatur zeigt für das Gebiet Unterschiede zwischen 12,6°C und 13,7°C. Durch die nur geringe Sonneneinstrahlung sind nur geringe Temperaturunterschiede von max. 1,1K zwischen Wasserflächen (ca. 12,6°C) und dem Großteil der versiegelten Flächen (> 13,2°C) festzustellen.

Die etwas kühleren Wasserflächen der beiden Seen und des nördlichen Neckarabschnittes wirken auf den nördlichen Bereich des neuen Quartiers auf dem Fruchtschuppengelände, die daher ebenfalls etwas kühler sind im Vergleich zu den übrigen bebauten Arealen des Untersuchungsgebietes. Dort werden die höchsten Temperaturen zwischen 13,3°C bis 13,7°C an denjenigen Stellen beobachtet, in denen die Windgeschwindigkeit besonders niedrig ist (s. u.). Somit ist in dieser Situation die Lufttemperatur insbesondere durch das Ausmaß des turbulenten Wärmetransportes (Advektion) bestimmt. Mittlere Temperaturen werden in Grünflächen abseits der Gewässer sowie auf den Gleisanlagen beobachtet.

Die Durchlüftungsverhältnisse für 15 Uhr sind in **Abb. 28** dargestellt. Im Gegensatz zu den anderen beiden Witterungsszenarien erfolgt eine Anströmung aus Südwest (230°).

Relativ hohe Windgeschwindigkeiten > 1,0 m/s sind aufgrund geringer Rauigkeit oder Kanalisation im Bereich der Bahnanlagen, des Freizeitsees und des Hafens zu verzeichnen. Relativ mäßige Windgeschwindigkeiten (0,4 bis 1,0 m/s) herrschen im Bereich der offenen Grünanlagen sowie im mittleren und südlichen Neckarabschnitt vor.

Niedrige Windgeschwindigkeiten (< 0,4 m/s) treten erwartungsgemäß im Bereich der Gebäudeensembles auf. Während aufgelockerte Gebäudeanordnungen wie der Quartierwestflügel zwischen den beiden Seen oder das hip-Gebiet noch eine schwache Durchlüftung aufweisen, verschwindet diese erwartungsgemäß in den fast geschlossenen Innenhöfen der Westrandstraßengebäude vollständig. Ferner ist die Westrandstraße selbst schwach ventiliert, obwohl die Voraussetzung für eine ungehinderte Anströmung aus Südwesten gegeben ist. Vermutlich ist der Straßenquerschnitt zu schmal oder der Kronenraum der beidseitigen Straßenbaumreihen zu dicht, als dass sich ein Düseneffekt etablieren könnte.

Der im Westen des Gebietes gelegene Wall ist in diesem Szenario von Bedeutung, da er aufgrund seiner Lage quer zur Anströmrichtung ein Strömungshindernis darstellen könnte (Riegelbildung), wodurch die Ventilation der geplanten Bebauung beeinträchtigt wird. Tatsächlich ist luvseitig des Walls eine teilweise Umlenkung des Windfeldes nach Norden sowie leeseitig ein Windschatten von ca. 30 m bis 50 m Breite festzustellen. Dieser Zustand ist jedoch nicht kritisch zu bewerten, da sich bereits ab einer leeseitigen Entfernung von ca. 70 m die Durchlüftung wieder normalisiert hat und der Wall weitgehend abseits der Bebauung in ebenem Gelände liegt.

Entsprechend der Vorgabe des mittleren Klimas verhält sich das Bioklima neutral (**Abb. 29**). Da für dieses Szenario eine geschlossene Oberbekleidung ohne Mantel ($clo = 1$, vgl. **Tab. 2**) vorgegeben wurde, ist die thermische Behaglichkeit mit $-1,0$ PMV bis $+0,5$ PMV weitgehend ausgeglichen und stellt keine Belastung dar.

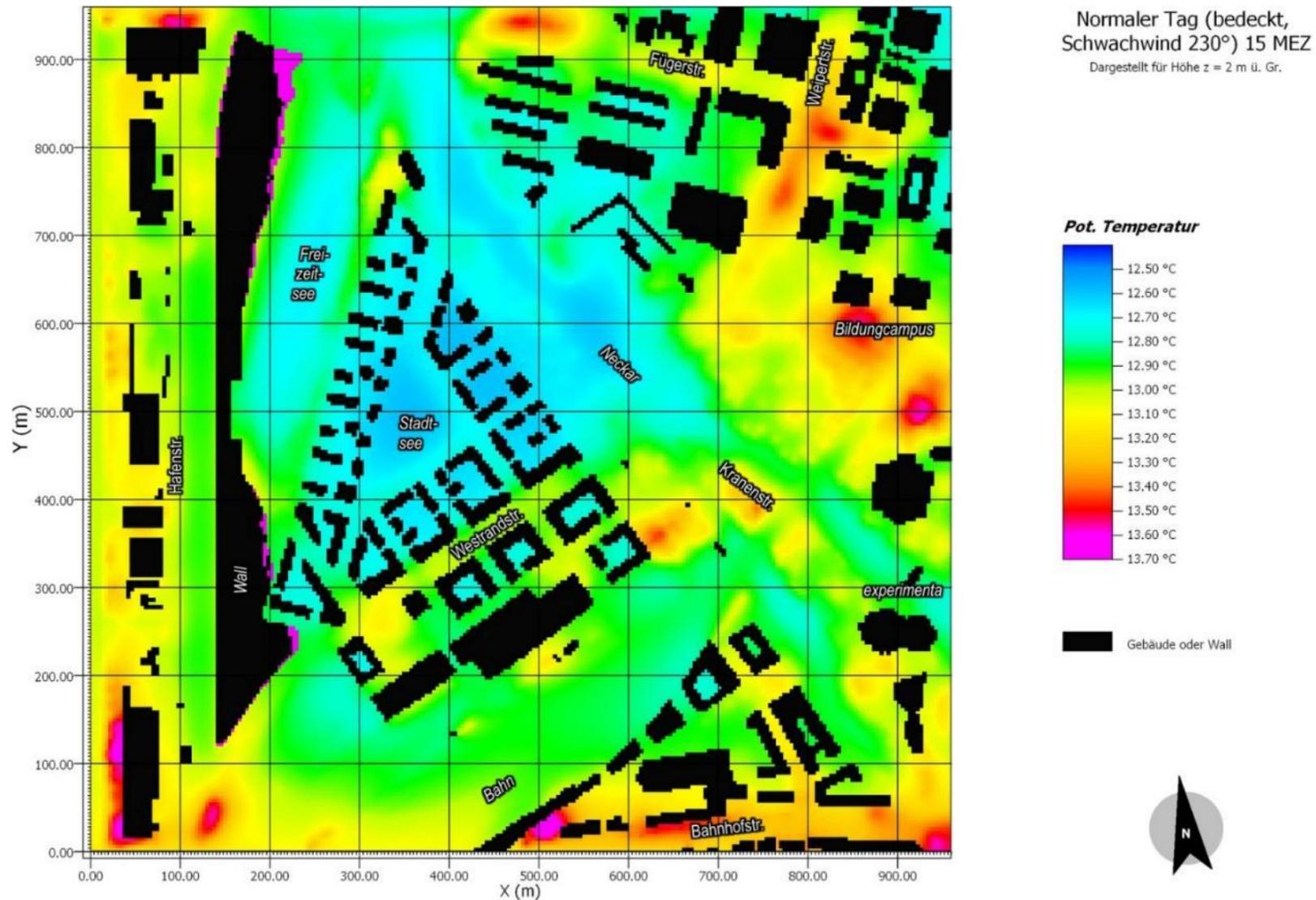


Abb. 27: Verteilung der potenziellen Lufttemperatur in 2 m ü. Gr. im Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ für 15 Uhr MEZ für durchschnittliche mittlere Verhältnisse mit Bedeckung und schwachem Südwestwind

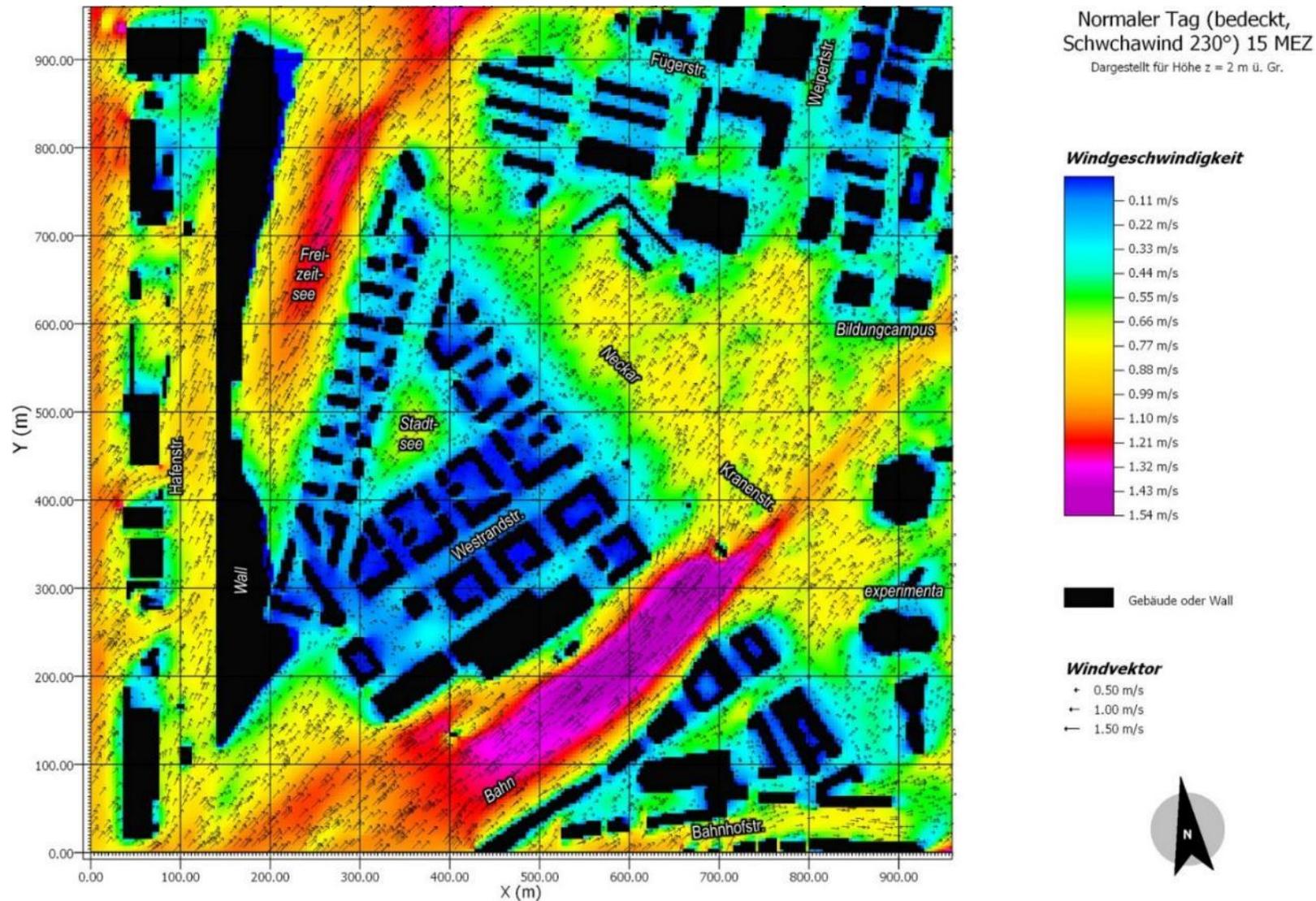


Abb. 28: Verteilung der Strömungsverhältnisse in 2 m ü. Gr. im Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ für 15 Uhr MEZ für durchschnittliche mittlere Verhältnisse mit Bedeckung und schwachem Südwestwind

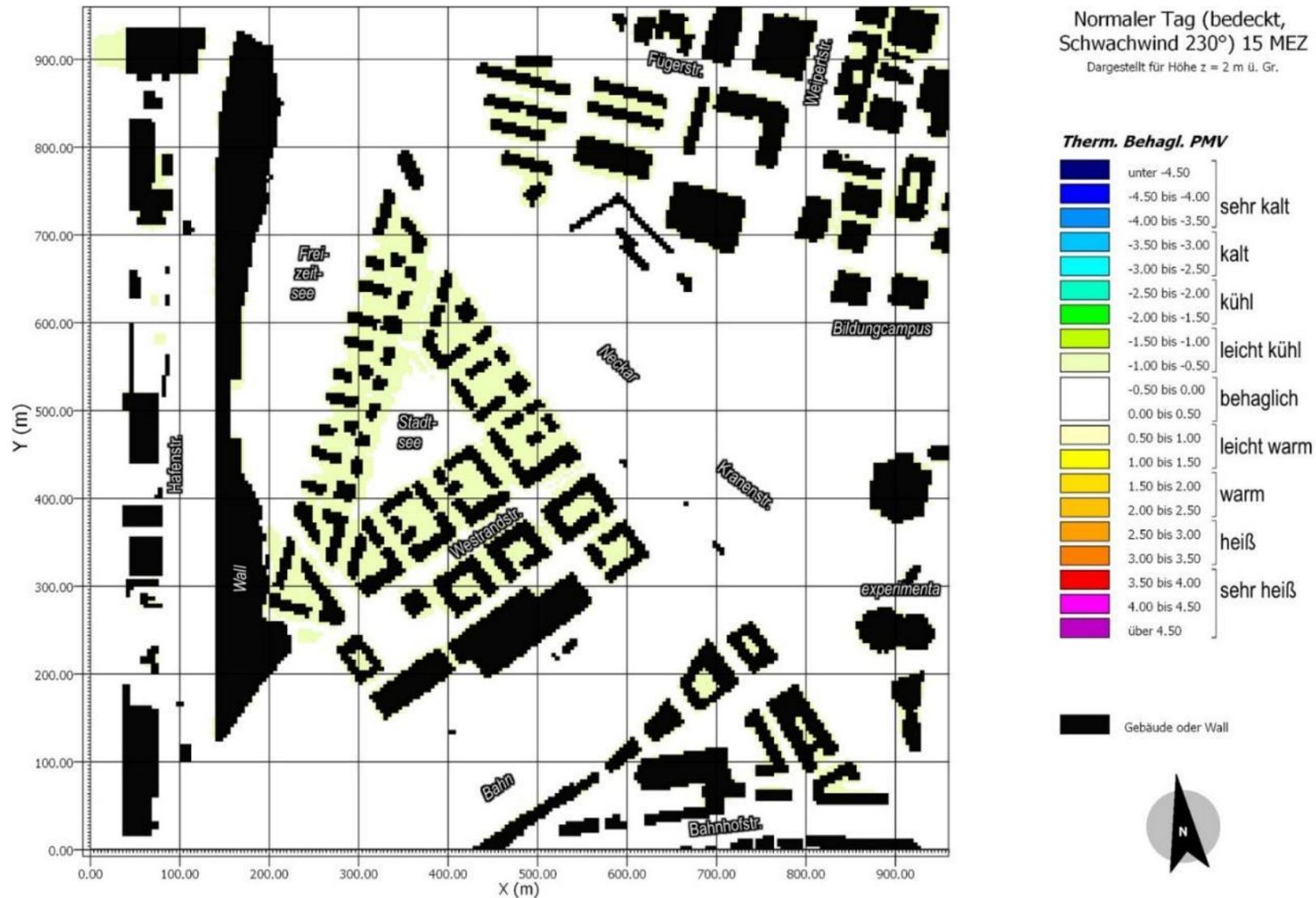


Abb. 29: Verteilung der thermischen Behaglichkeit PMV in 2 m ü. Gr. im Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ für 15 Uhr MEZ für durchschnittliche mittlere Verhältnisse mit Bedeckung und schwachem Südwestwind

5.2.3.2 Nachtsituation (23 Uhr MEZ)

In der Nacht nimmt die Lufttemperatur gegenüber 15 Uhr um ca. 2,3 K ab und erreicht im Plangebiet Werte zwischen 10,5°C und 11,2°C (**Abb. 30**). Aufgrund der gebietsinternen Temperaturspannweite von nur 0,7 K ist das Gebiet als quasi gleichmäßig temperiert einzustufen, wobei die Bereiche des Dreiecksgebäudeensembles, des östlichen Gewerbegebietes, der Hafenanlage sowie des Bahngeländes tendenziell minimal wärmer sind. Zwischen den Vegetations- und Gewässerflächen sind hingegen fast keine Unterschiede feststellbar.

Das Windregime bleibt bezüglich Geschwindigkeit und Strömung (**Abb. 31**) gegenüber 15 Uhr weitgehend erhalten. Das Windgeschwindigkeitsniveau ist gebietsweit nur um 0,1 m/s bis 0,2 m/s reduziert.

Entsprechend stellt sich das Bioklima (**Abb. 32**) uniform dar. Die thermische Behaglichkeit beträgt -1,0 PMV bis -1,5 PMV und ist als „leicht kühl“ einzustufen. Eine bioklimatische Belastung ist somit nicht festzustellen.

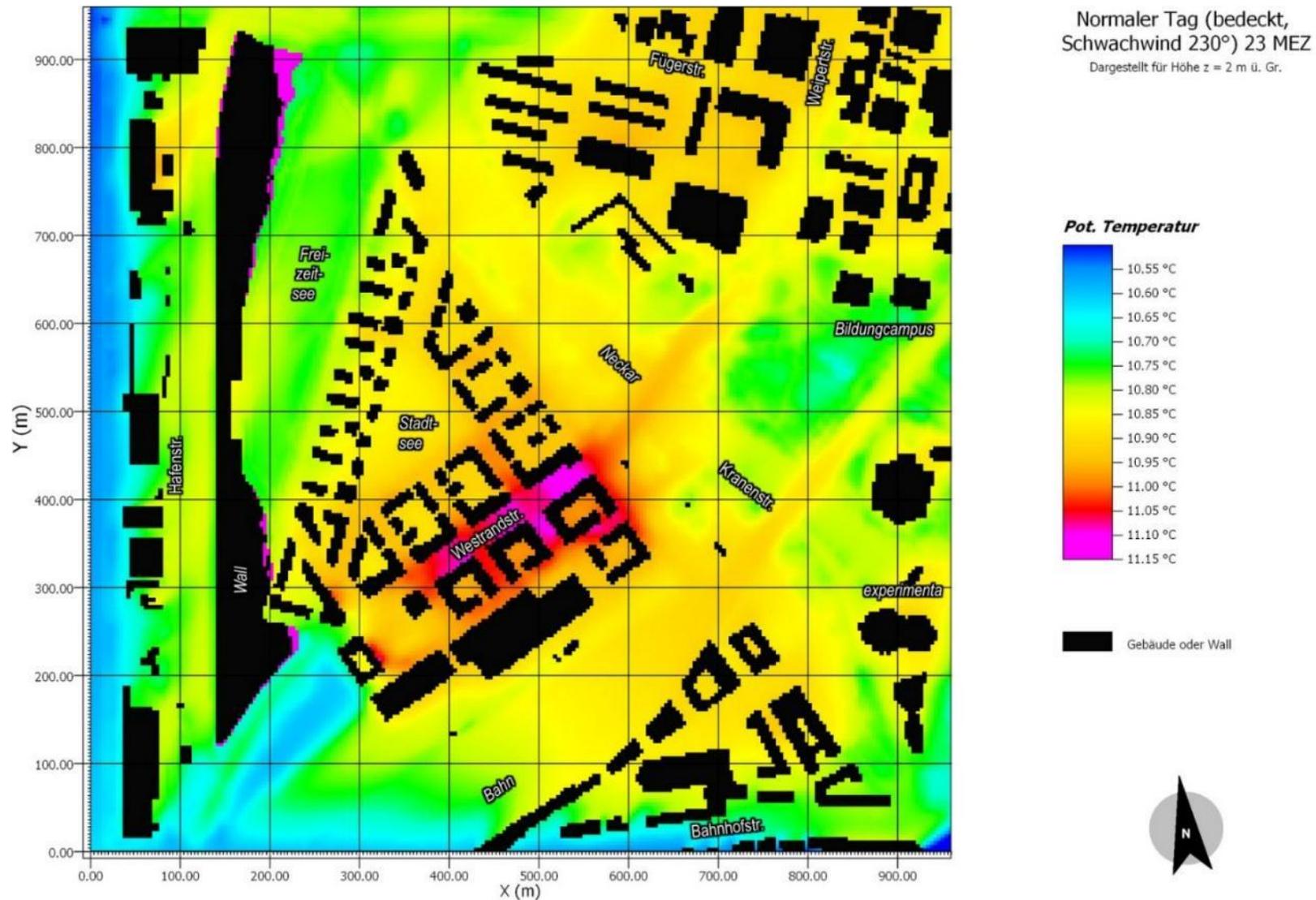


Abb. 30: Verteilung der potenziellen Lufttemperatur in 2 m ü. Gr. im Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ für 23 Uhr MEZ für durchschnittliche mittlere Verhältnisse mit Bedeckung und schwachem Südwestwind

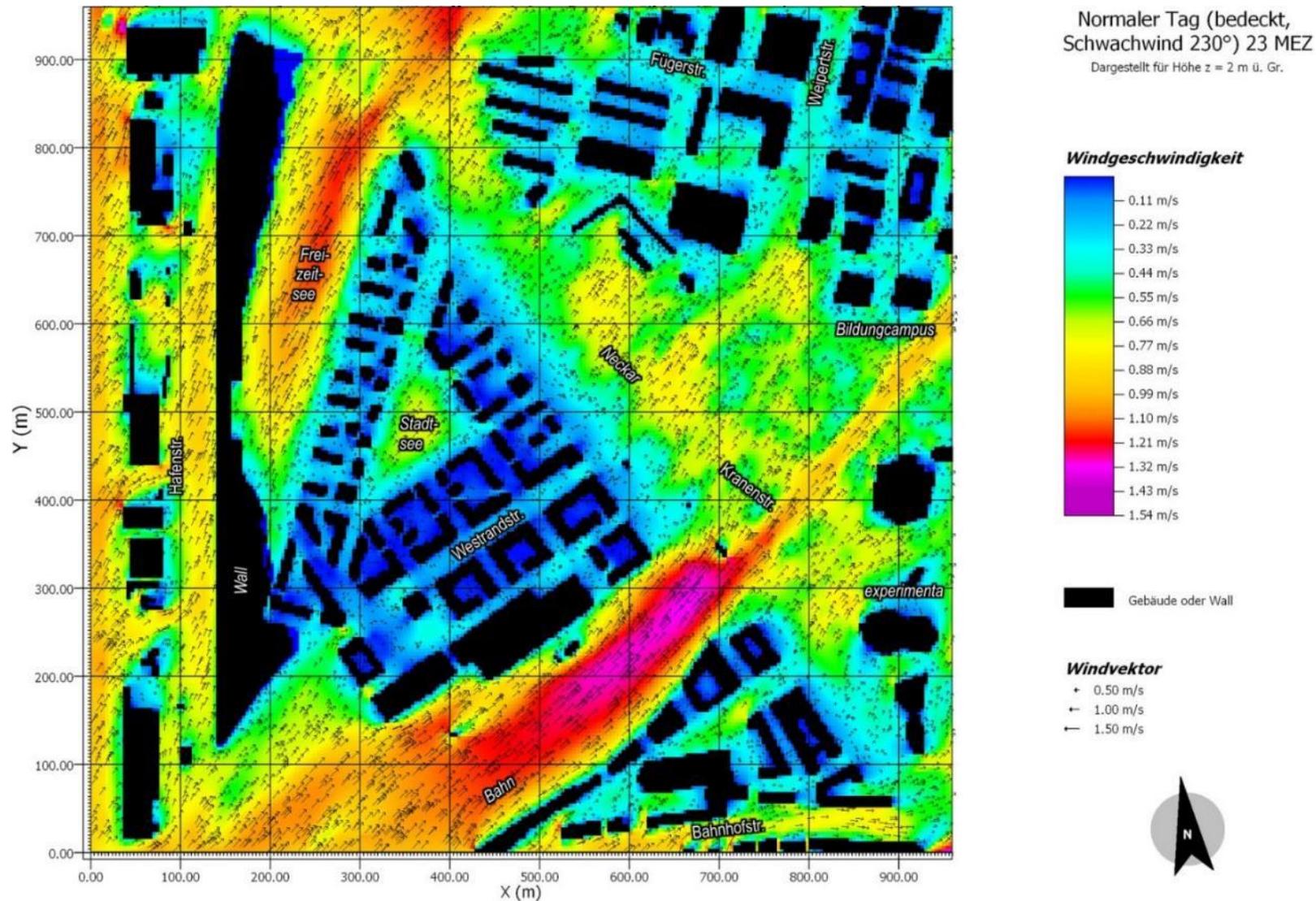


Abb. 31: Verteilung der Strömungsverhältnisse in 2 m ü. Gr. im Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ für 23 Uhr MEZ für durchschnittliche mittlere Verhältnisse mit Bedeckung und schwachem Südwestwind

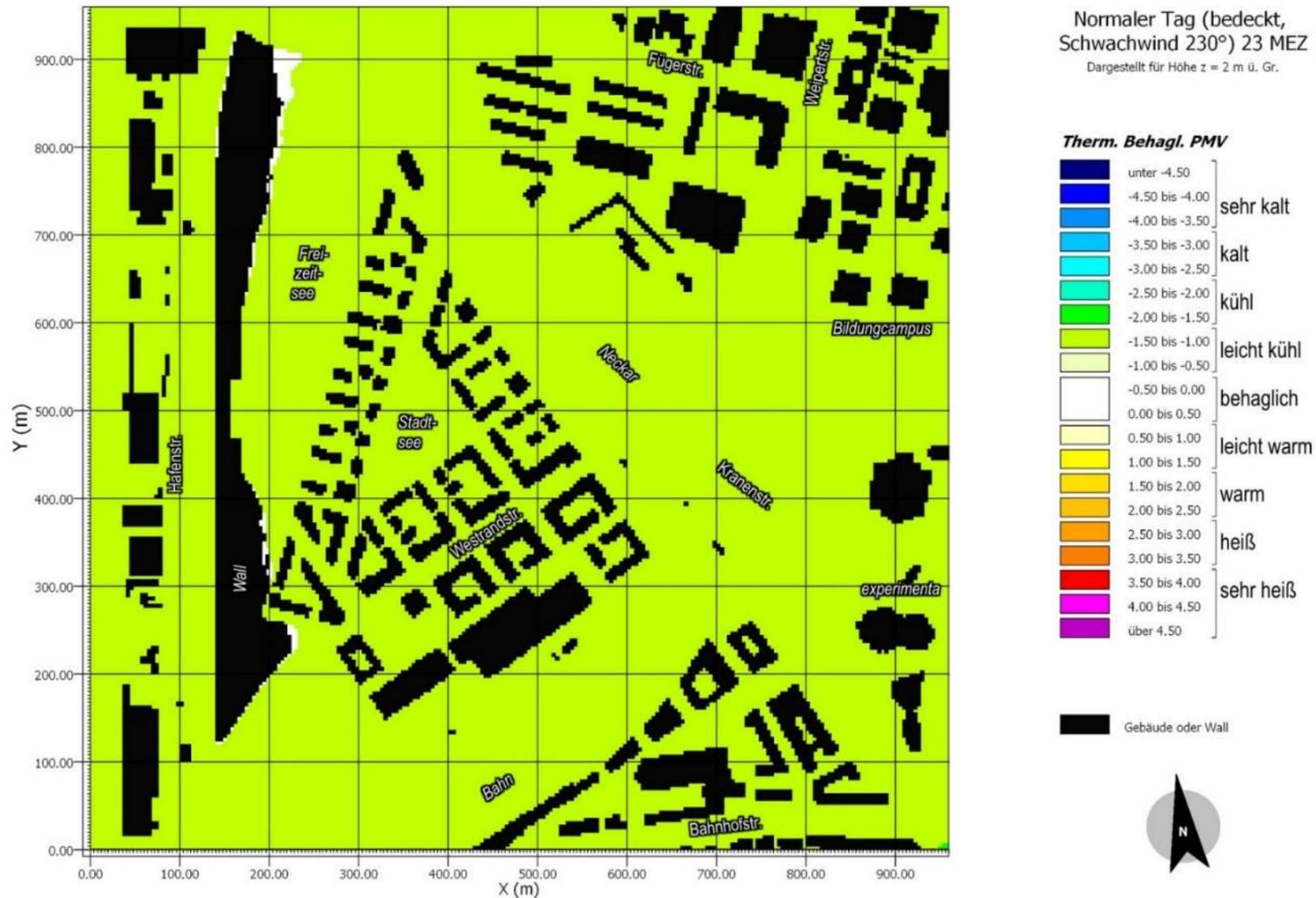


Abb. 32: Verteilung der thermischen Behaglichkeit PMV in 2 m ü. Gr. im Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ für 23 Uhr MEZ für durchschnittliche mittlere Verhältnisse mit Bedeckung und schwachem Südwestwind

5.2.3.3 Morgensituation (5 Uhr MEZ)

Am Morgen erreicht die Lufttemperatur gebietsweit 9,8°C bis 10,5°C (**Abb. 33**). Gegenüber 23 bzw. 15 Uhr beträgt die Temperaturerniedrigung ca. 0,7 K bzw. 2,3 K. Aufgrund der gebietsinternen Temperaturspannweite von nur 0,7 K ist das Gebiet auch in diesem Fall als quasi gleichmäßig temperiert einzustufen, wobei die Bereiche des Dreiecksgebäudeensembles, des östlichen Gewerbegebietes sowie des Bahngeländes tendenziell minimal wärmer sind.

Der östliche Rand des Walls zeigt stellenweise violette Temperatursignaturen mit der höchsten im Gebiet registrierten Lufttemperatur von 10,6°C an. An diesen Stellen ist der Hangfußbereich genauso hoch wie die Höhe des dargestellten Temperaturfeldes (2 m ü. Gr.), sodass hier die Temperatur der Grasnarbe (Boden) abgebildet wird. Diese Werte werden hier nicht weiter interpretiert.

Bei den Windverhältnissen ist gegenüber der 23-Uhr-Situation keine Änderung festzustellen (siehe **Abb. 34**), sodass die Aussagen zur 23-Uhr-Situation hier gleichermaßen gültig sind.

Das Bioklima (**Abb. 35**) weist keine Besonderheiten auf. Die thermische Behaglichkeit beträgt -1,0 PMV bis -2,0 PMV und ist als „leicht kühl“ einzustufen. Eine bioklimatische Belastung ist somit nicht festzustellen.

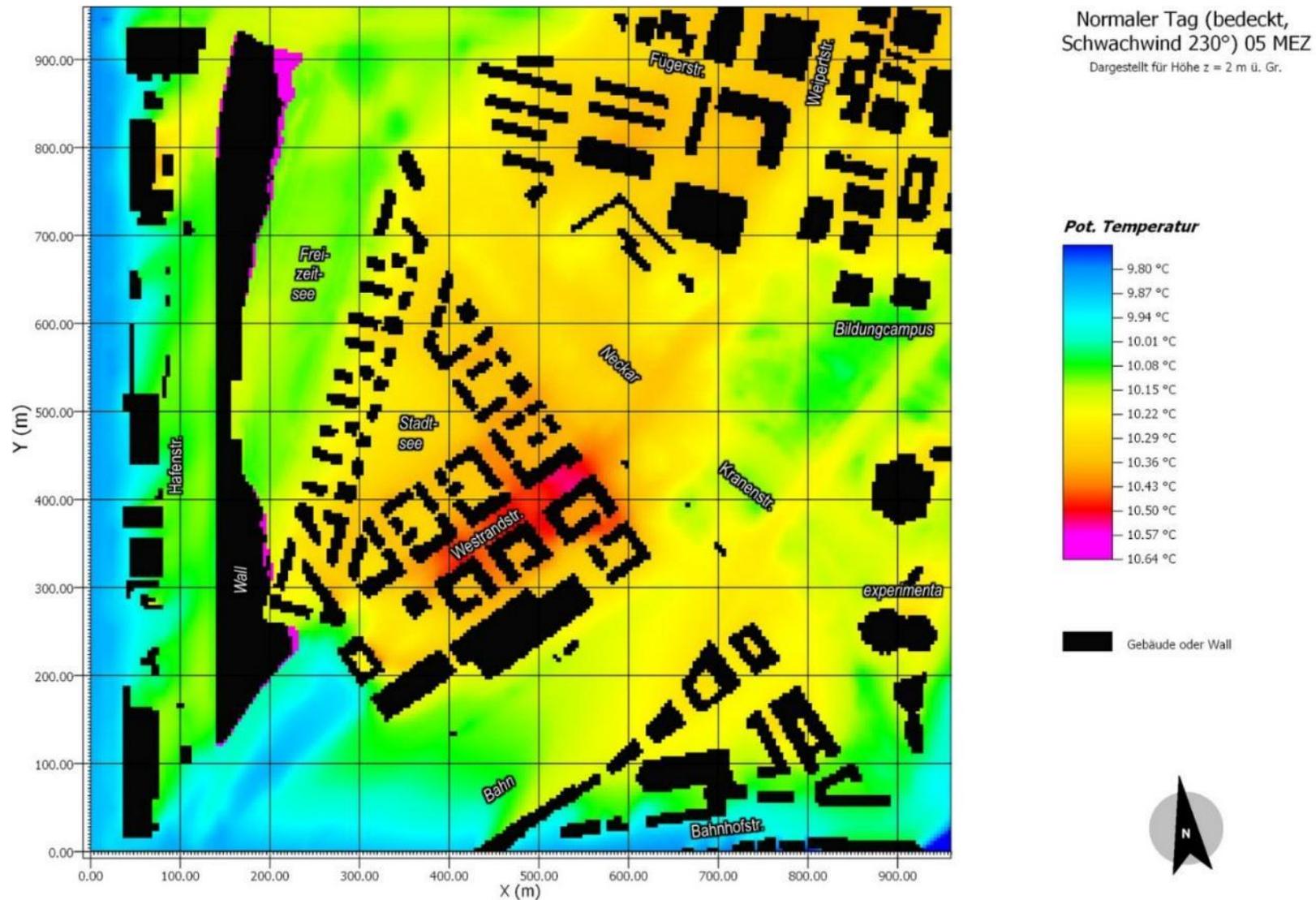


Abb. 33: Verteilung der potenziellen Lufttemperatur in 2 m ü. Gr. im Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ für 05 Uhr MEZ für durchschnittliche mittlere Verhältnisse mit Bedeckung und schwachem Südwestwind

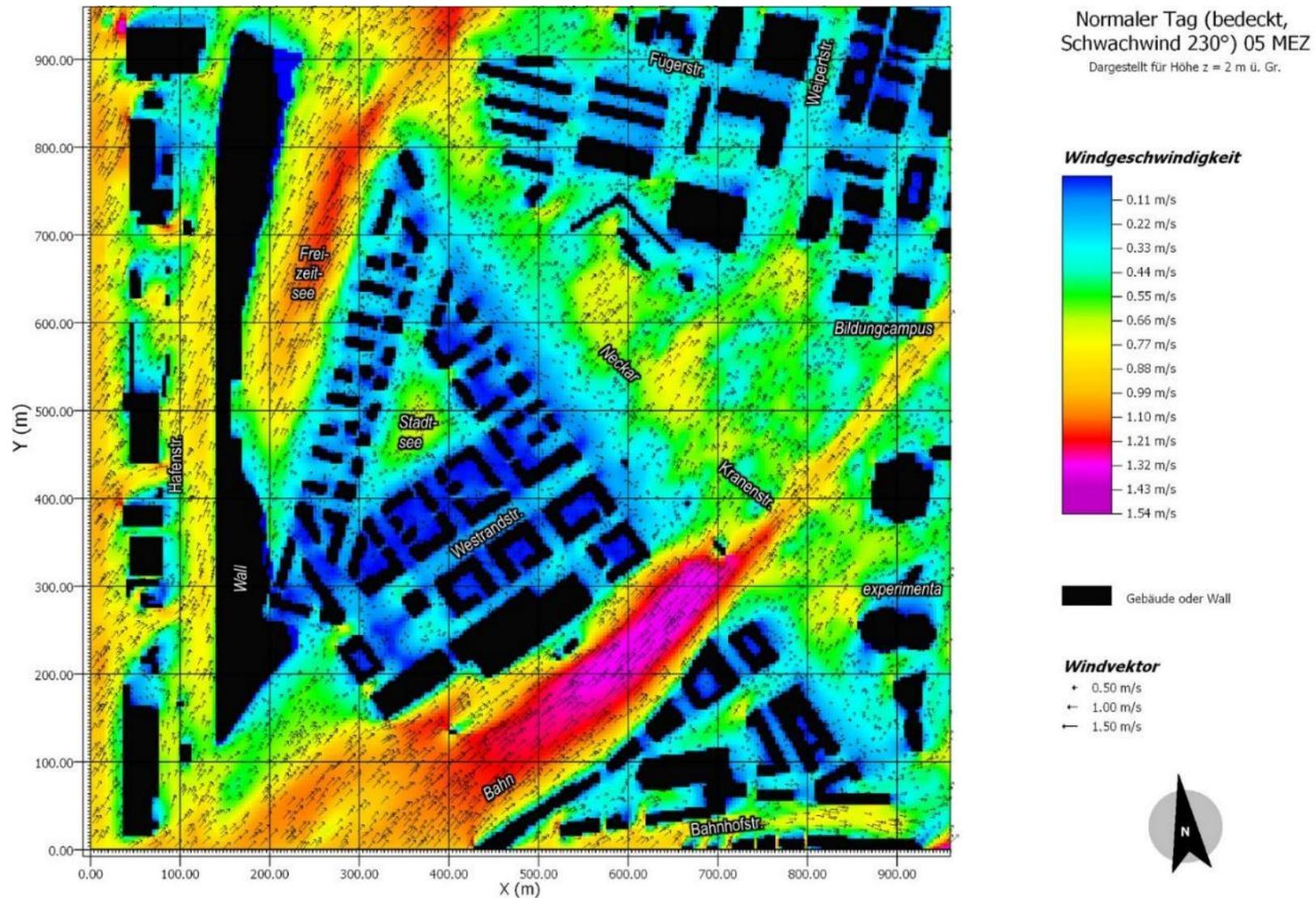


Abb. 34: Verteilung der Strömungsverhältnisse in 2 m ü. Gr. im Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ für 5 Uhr MEZ für durchschnittliche mittlere Verhältnisse mit Bedeckung und schwachem Südwestwind

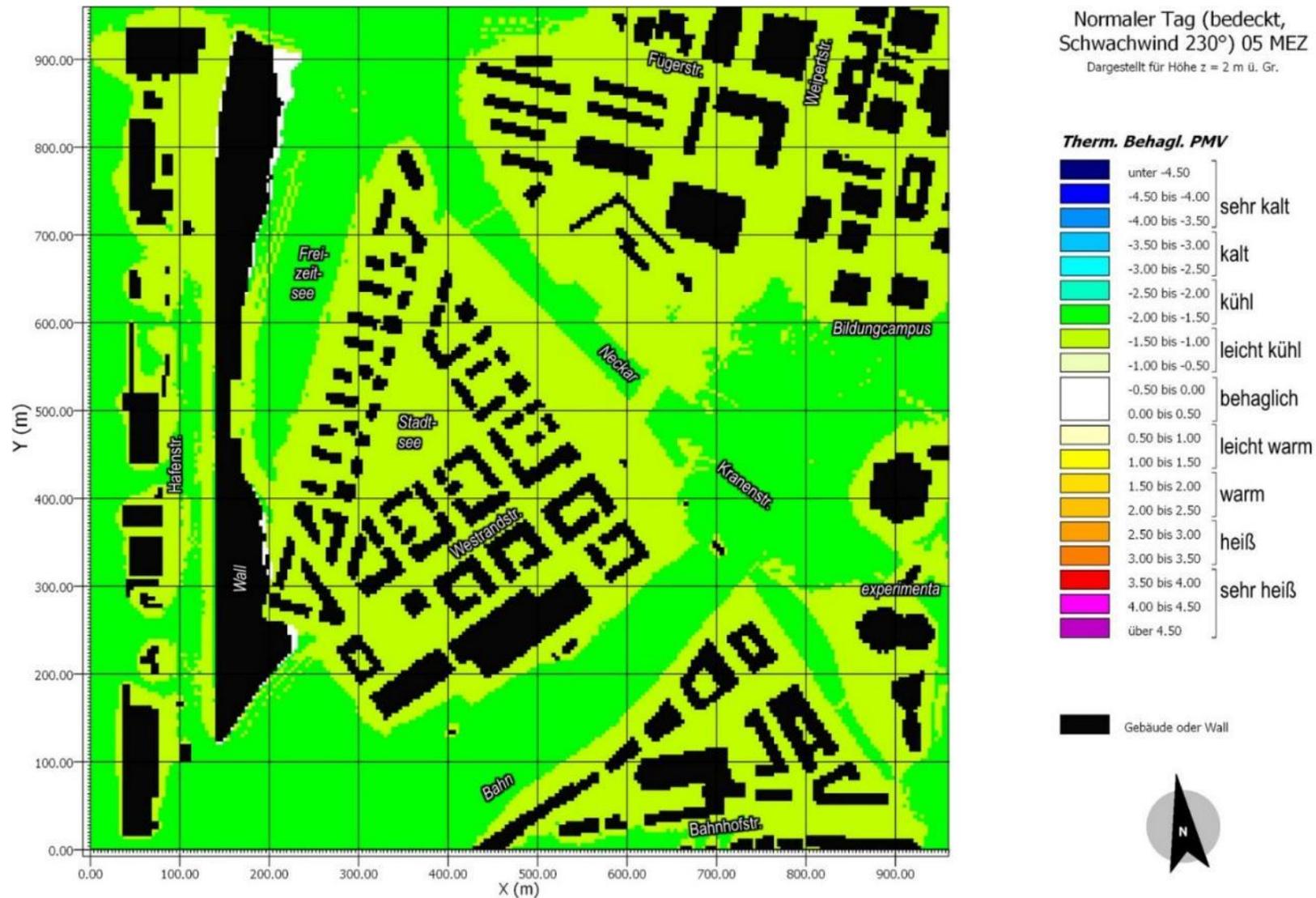


Abb. 35: Verteilung der thermischen Behaglichkeit PMV in 2 m ü. Gr. im Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes „Heilbronn Neckarbogen“ für 05 Uhr MEZ für durchschnittliche mittlere Verhältnisse mit Bedeckung und schwachem Südwestwind

5.2.4 Zusammenfassung der Ergebnisse des Planentwurfs

Hinsichtlich der planungsrechtlich relevanten Schutzgüter „Klima“ und „Luft“ sind zwei Aspekte von Bedeutung: Die Wärmebelastung während Hitzeepisoden sowie vor dem Hintergrund möglicher Spurenstoffbelastungen im urbanen Raum die generellen Austauschverhältnisse, unabhängig von den Witterungsbedingungen.

Wie die Untersuchung gezeigt hat, ist die Wärmebelastung im Freien nur während der Tagstunden heißer Tage aufgrund hoher Sonneneinstrahlung von Relevanz. Offene, sonnenexponierte Flächen (Gewässer, Wiesen) sind besonders betroffen, während im Schattenbereich der Gebäude und Bäume die Wärmebelastung wesentlich weniger kritisch ist.

Zu den übrigen Tageszeiten sowie während anderer Witterungsbedingungen stellt die Wärmebelastung hingegen kein Problem dar.

Bei den Durchlüftungsverhältnissen ist zwischen offenen Flächen und bebauten oder mit Bäumen bestandenen Arealen zu unterscheiden. Auf offenen Flächen (Gewässer, Wiesen) ist der Austausch in der Regel gewährleistet. Gebäude, Baumgruppen (Gehölze) und einzelne große Bäume stellen jedoch aerodynamische Strömungshindernisse dar, die generell und unabhängig von den Witterungs- und übergeordneten Windverhältnissen zur Reduzierung der Durchlüftung in Bodennähe führen [23] [24]. Dabei nimmt die Windgeschwindigkeitsreduktion mit der Lagedichte von Gebäuden und Bäumen deutlich zu. Die ungünstigste Durchlüftungssituation tritt ein, wenn die dicht angeordneten Strömungshindernisse in ihrer Längsausrichtung quer zur Hauptanströmrichtung liegen und dadurch einen kaum zu durchdringenden Riegel bilden.

Von der Durchlüftungsproblematik sind im Untersuchungsgebiet alle bebauten Gebiete einschließlich des neuen Quartiers auf dem Fruchtschuppenareal betroffen, wobei die Innenhöfe der Gebäude beiderseits der Westrandstraße den Worst-Case darstellen.

5.2.5 Stadtklimatisch kritische Punkte des Planentwurfs auf einen Blick

- Vereinzelte, ungeschützte Gebäudefassaden mit Ausrichtung nach SE bis SW sind einer hohen Wärmebelastung ausgesetzt.
- Die Innenhöfe im dreieckigen Gebäudeensemble des neuen Quartiers sind nur schwach durchlüftet.
- Äußerst problematisch sind dabei die fast geschlossenen Innenhöfe der Gebäude entlang der Westrandstraße, in denen faktisch Windstille herrscht.
- Auch im Straßenraum führt die räumlich dichte Verzahnung von Gebäuden und Bäumen zu kritischen Durchlüftungsverhältnissen: Die Westrandstraße ist schwach durchlüftet, da ein fast geschlossenes Kronendach im Dachniveau den vertikalen Austausch verhindert. Je nach prognostiziertem Verkehrsaufkommen ist möglicherweise mit erhöhten lufthygienischen Belastungen zu rechnen.

6 Bodennahe Windverhältnisse und Windkomfort

Wie in **Kapitel 3.2** „Methodik“ erläutert, werden im Rahmen dieser Studie kleinräumige Simulationsrechnungen durchgeführt. In diesem Kapitel werden die Grundlagen sowie die Ergebnisse der Simulationsrechnungen zur Bewertung der bodennahen Windverhältnisse und des Windkomforts für das Gebiet des Rahmenplans beschrieben und vorgestellt.

6.1 Grundlagen

6.1.1 Modell

Für die Ermittlung der bodennahen Strömungsfelder innerhalb des Plangebietes wird das mikroskalige, prognostische Strömungs- und Ausbreitungsmodell MISKAM eingesetzt, das am Institut für Physik der Atmosphäre Mainz entwickelt wurde [25] [26] und mittlerweile in der Version 6.03 (2014) vorliegt. Eine ausführliche Beschreibung des Modells ist in der zitierten Arbeit von Eichhorn gegeben. MISKAM gilt in seiner heutigen Version als Standardmodell und dient für andere Modellentwicklungen als Referenz- und Vergleichsmaßstab. MISKAM ist ein dreidimensionales Strömungsmodell, das die Berechnung der Wind- und Turbulenzfelder innerhalb innerstädtischer Bebauungen, in denen sich komplexe, dreidimensionale Strömungszonen wie Nachlaufzonen, Rückströmzonen und Wirbelgebiete ausbilden, erlaubt.

Das Wind- und Turbulenzfeld wird durch die numerische Lösung der Erhaltungsgleichungen für Impuls, Masse und Energie berechnet. Einzelne Gebäude und Hindernisse können somit explizit in ihrer Form aufgelöst werden. Als Turbulenzmodell wird ein Standard-k, ϵ -Modell eingesetzt.

Vergleiche mit Messergebnissen aus Windkanälen zeigen, dass die Um- und Überströmung von Gebäuden und Gebäudekomplexen, die Ausbildung von Rückströmzonen, der Frontwirbelbereich etc. mit MISKAM realistisch abgebildet werden können [27] [28].

6.1.2 Eingangsdaten

Das für die Ermittlung der bodennahen Strömungsverhältnisse gewählte Untersuchungsgebiet hat eine Größe von ca. 740 m in Ost-West-Richtung und ca. 890 m in Nord-Süd-Richtung und umfasst das Plangebiet sowie die angrenzende Umgebungsbebauung. Das Rechengebiet hat im Kernbereich (Plangebiet Neckarbogen) eine horizontale Gitterauflösung von 1,5 x 1,5 m². Außerhalb dieses Kernbereiches nehmen die Maschenweiten bis zum Rand des Rechengebietes kontinuierlich zu. In der Vertikalen wurde bis 2 m Höhe eine Gittermaschenweite von 0,5 m gewählt. Oberhalb von 2 m Höhe erfolgt eine kontinuierliche Spreizung entsprechend der Vorgaben der VDI-Richtlinie 3783, Blatt 9 [29]. Der obere Modellrand wurde mit etwa der 4-fachen Höhe des höchsten Gebäudes im Untersuchungsgebiet festgesetzt, um eine Beeinflussung des Modelloberrandes durch das höchste Gebäude des Untersuchungsgebietes auszuschließen. Die für die Modellrechnungen benötigten Gebäudestrukturen wurden auf Basis der Rahmenkonzeption für den Bereich Wohlgelegen/ Neckarbogen vom März 2014 (vgl. **Abb. 36**)

erarbeitet. Die Festsetzung der Gebäudehöhen innerhalb des Quartiers Neckarbogen erfolgte über die Geschossanzahl. Für das Basisgeschoss wurde im Allgemeinen eine Höhe von 4 m Höhe angesetzt. Alle übrigen Etagen wurden mit 3 m Höhe berücksichtigt. Die Gebäudehöhen bestehender Gebäude wurden ebenfalls aus den vorliegenden Planunterlagen entnommen bzw. im Zuge einer Ortsbesichtigung überprüft. Die Vegetation wurde bei diesen Strömungsberechnungen nicht explizit berücksichtigt.

Ein modelltechnisches Problem stellt der 8-13 m hohe Wall im Westen des Plangebietes dar. Da das Modell kein Relief abbilden kann, wurde der Wall als abgestuftes Gebäude mit einer maximalen Höhe von 13 m abgebildet.

Das MISKAM-Rechengebiet für die Strömungsuntersuchungen ist in dem Lageplan (**Abb. 36**) blau umrandet dargestellt. Das relevante Beurteilungsgebiet ist in der Abbildung rot umrandet und hat eine Ausdehnung von ca. 576 m in Ost-West-Richtung und ca. 750 m in Nord-Süd-Richtung (das Beurteilungsgebiet ist immer kleiner als das eigentliche Untersuchungs-/Rechengebiet, da sich an den jeweiligen Einströmrändern erst ein Strömungs- und Ausbreitungsfeld etablieren muss). Das Beurteilungsgebiet ist somit in etwa identisch mit dem Plangebiet Neckarbogen.

6.1.3 Untersuchungsumfang

Zur detaillierten Beurteilung der bodennahen Windgeschwindigkeiten wurden Simulationsrechnungen für insgesamt 12 Anströmrichtungen (30°-Schritte) bei einer Anströmwindgeschwindigkeit durchgeführt. Bei diesem Untersuchungsschritt steht die mögliche, durch Gebäude verursachte lokale Reduktion bzw. Verstärkung der bodennahen Windgeschwindigkeit im Fokus. Thermische Effekte, die sich erst bei sehr niedrigen Windgeschwindigkeiten einstellen, sind hierbei von untergeordneter Bedeutung. Bei diesem etwas höheren Windgeschwindigkeitsniveau sind die Strömungsverhältnisse in erster Näherung als Reynolds' unabhängig einzustufen und somit sind die Ergebnisse aus den Berechnungen mit einer gewählten Referenz-Anströmgeschwindigkeit auf andere Geschwindigkeiten übertragbar.

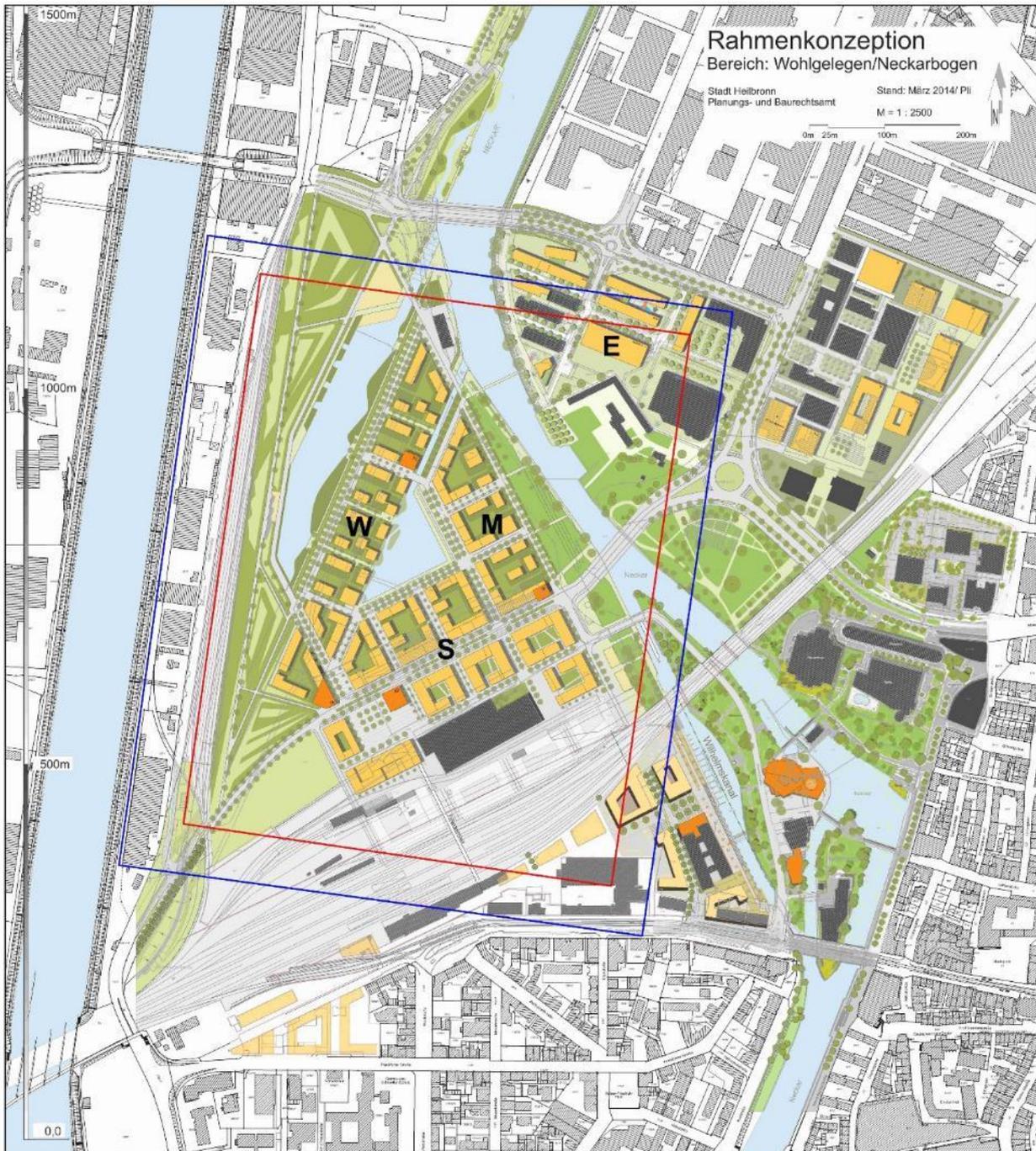


Abb. 36: Rahmenkonzeption für den Bereich Neckarbogen - Planungsstand März 2014 mit Abgrenzung des Detailgebietes für die Windfelduntersuchungen (Berechnungsgebiet: Blauer Umriss. Beurteilungsgebiet: Roter Umriss)

6.2 Qualitative Ermittlung und Beurteilung der bodennahen Windverhältnisse

Zur qualitativen Beurteilung der bodennahen Windverhältnisse innerhalb des Plangebietes Neckarbogen wird für jede untersuchte Anströmrichtung das Verhältnis aus den durch Gebäude lokal beeinflussten mittleren bodennahen Windgeschwindigkeiten zu der in derselben Höhe zu erwartenden Windgeschwindigkeit ohne lokalen Bebauungseinfluss, gebildet. Betrachtet werden die Verhältnisse in Lauf- und Verweilhöhe von 1,75 m über Grund.

Ein Faktor >1 bedeutet Erhöhungen der stundengemittelten Windgeschwindigkeit durch bspw. Düseneffekte und Beschleunigungseffekte im Nahbereich höherer Gebäude, ein Faktor <1 bedeutet eine Reduzierung der stundengemittelten Windgeschwindigkeit durch Windschatteneffekte. Die Referenzwindgeschwindigkeit ohne direkten Bebauungseinfluss wird dabei für eine Rauigkeitsstruktur ermittelt, die der Rauigkeitsstruktur des Beurteilungsgebietes – in diesem Fall dem Plangebiet Neckarbogen – entspricht. In den **Abb. A 1** bis **Abb. A 12** im Anhang sind für das Beurteilungsgebiet die Geschwindigkeitsverhältnisse für die verschiedenen Anströmrichtungen in 30°-Auflösung dargestellt. Die Grüntöne stehen für eine gebäudeinduzierte Geschwindigkeitsreduzierung im Vergleich zu ungestörten Verhältnissen, die Blautöne bedeuten eine gebäudeinduzierte Verstärkung der Windgeschwindigkeiten in 1,75 m über Grund. Der rote Farbton gibt die Zonen mit einer zu erwartenden Windgeschwindigkeitsverstärkung um mehr als den Faktor 2 (mehr als 100%) an. Die weißen Bereiche zeigen Geschwindigkeitsreduktionen von mehr als 75%.

Analog zu den **Abb. A 1** bis **Abb. A 12** ist in der nachfolgenden **Abb. 37** beispielhaft ein Plot für die Geschwindigkeitsverhältnisse bei der relativ häufigen Anströmrichtung aus 240° dargestellt. Die im Plot nummerierten Zonen 1-10 werden im nachfolgenden Kapitel 6.3 bezüglich des Windkomforts ausgewertet.

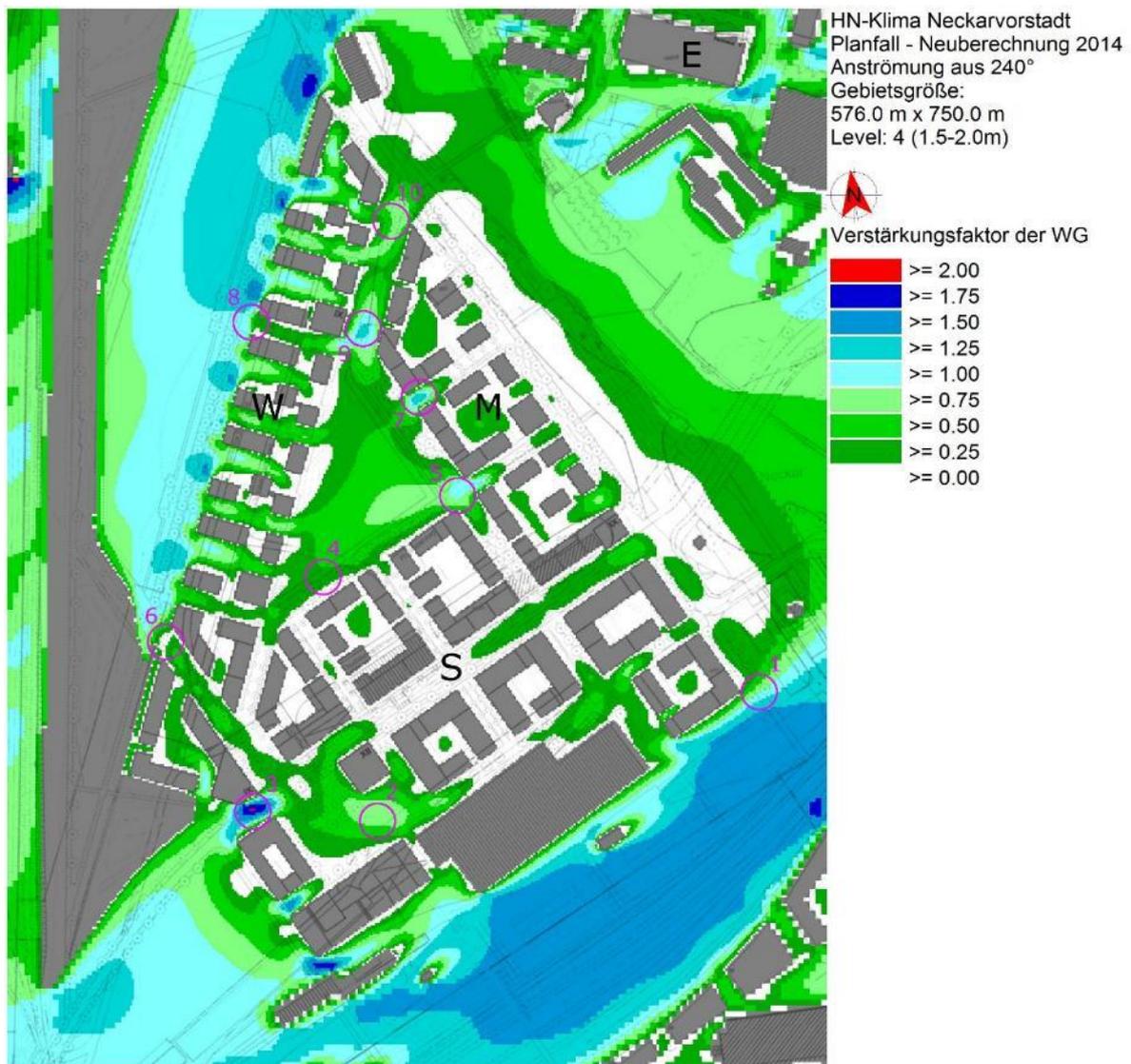


Abb. 37: Geschwindigkeitsverhältnisse innerhalb des Beurteilungsgebietes bei einer Anströmrichtung aus 240°

Bei einer nördlichen Anströmung (0° ; **Abb. A 1**) ist im Bereich des westlich gelegenen Freizeitsees, im Bereich des Altneckars und entlang der westlich verlaufenden Hafenstraße mit einer Erhöhung der bodennahen Windgeschwindigkeiten um großflächig zwischen 25 bis 50% zu rechnen. Die südlich des Plangebietes verlaufenden Gleisanlagen zeigen ebenfalls über weite Bereiche eine leichte Erhöhung der mittleren Windgeschwindigkeiten. Innerhalb des gesamten Plangebietes Neckarbogen wird die bodennahe Windgeschwindigkeit fast durchgängig reduziert, am stärksten im Bereich der Gebäude im Bereich S und M. Im Bereich des Schenkels W des dreiecksförmig gestalteten Gebäudeensembles ist wegen der etwas aufgelockerten Gebäudeanordnung die Geschwindigkeitsreduktion etwas schwächer ausgeprägt. Lüftungsschneisen deuten sich bei dieser Anströmrichtung am nordöstlichen Rand zwischen den Schenkeln W und M sowie an der Südwestecke an. Die lokale Windgeschwindigkeitserhöhung verliert jedoch recht schnell an Wirkung. Im Bereich des Stadtsees sowie auf dem Freiplatz westlich der ABX-Halle ist die Geschwindigkeitsreduzierung etwas geringer als zwischen den Gebäudekörpern.

Im Bereich des HIP-Areals zeigt sich entlang der Erschließungsstraßen eine gute Durchlüftung mit einer Geschwindigkeitsverstärkung; zwischen den Gebäuden findet eine Geschwindigkeitsreduktion von bis zu 50% statt.

Bei einer Anströmung aus NNO (30° ; **Abb. A 2**) ist im Bereich des westlich gelegenen Freizeitsees und im nördlichen Bereich der westlich verlaufenden Hafenstraße sowie im Bereich der südlich gelegenen Gleisanlagen die Durchlüftung gut. Ein Teil des Altneckars zwischen Bebauung Neckarbogen und HIP-Areal gerät durch die in Luv liegende Bebauung des Hip-Areals in den Windschatten mit einer einhergehenden Reduktion der bodennahen Windgeschwindigkeiten. Innerhalb des Gebäudeensembles Neckarbogen wird die Geschwindigkeit wieder stark reduziert. Die lokal auftretenden Geschwindigkeitserhöhungen am Ostrand des Schenkels M werden schnell durch die hohe gebäudeinduzierte Rauigkeit abgebaut und setzen sich nicht bis in die Innenhofbereiche der Gebäudeblöcke fort. Eine Lüftungsschneise bildet sich bei dieser Anströmrichtung am nordöstlichen Rand zwischen den Schenkeln W und M aus; sie reicht bis in den Bereich des Stadtsees. Im Bereich des HIP-Areals zeigt sich wieder eine gute Durchlüftung mit einer Geschwindigkeitsverstärkung; zwischen den Gebäudeblöcken findet allerdings eine Geschwindigkeitsreduktion von mehr als 50% statt. Lokal ist eine deutliche Geschwindigkeitserhöhung an dem an der Südostecke gelegenen Gebäude erkennbar, das bei Winden aus NNO frei angeströmt wird. Dies ist typisch für ein frei stehendes, höheres Solitärgebäude.

Bei einer Anströmung aus ONO (60° ; **Abb. A 3**) sind im nördlichen Bereich des Freizeitsees, im Bereich der Freiflächen westlich des Europaplatzes sowie im Bereich der südlich gelegenen Gleisanlagen ausgeprägte Zonen mit einer Geschwindigkeitserhöhung (und damit einer guten

Durchlüftung) gegeben. Bei dieser Windrichtung werden in Lee der Bebauung W und S sowie in Lee des Walls im Bereich der Hafenstraße die bodennahen Windgeschwindigkeiten zum Teil großflächig stark reduziert. Die lokal auftretenden Geschwindigkeitserhöhungen am Ostrand des Schenkels M sind etwas stärker ausgeprägt als bei der zuvor betrachteten Anströmung aus NNO; die Zonen mit stark reduzierter Windgeschwindigkeit im Bereich des Schenkels M sind damit weniger stark ausgeprägt. Eine Lüftungsschneise bildet sich bei dieser Anströmrichtung am nordöstlichen Rand zwischen den Schenkeln W und M aus, die aber bis Erreichen des Stadtsees an Effektivität verliert. Auch bei dieser Anströmrichtung ist die Bebauung im Bereich der Westrandstraße schlecht durchlüftet. Im Bereich des HIP-Areals zeigen sich wieder Zonen mit besserer Durchlüftung. Zwischen den Gebäudeblöcken findet eine Geschwindigkeitsreduktion von großräumig 25% bis 50% statt.

Bei einer Anströmung aus O (90°; **Abb. A 4**) bleibt nordöstlich des Schenkels M bis zum Hip-Areal die Geschwindigkeit nahezu unverändert bzw. nimmt leicht zu. Im Bereich der südlich gelegenen Gleisanlagen bilden sich großräumig Zonen mit einer Geschwindigkeitserhöhung (und damit einer guten Durchlüftung) von bis zu 50% aus. Großflächige Geschwindigkeitsreduktionen treten zwischen Bebauung Neckarbogen (westlich des Schenkels W) und Wall, westlich des Walls bzw. im Bereich des HIP-Areals östlich des Neckaraltarms auf. Auch im Bereich der beiden Seen wird die bodennahe Windgeschwindigkeit doch deutlich gegenüber dem ungestörten Zustand reduziert. Am stärksten ausgeprägt und räumlich am meisten ausgedehnt ist die Geschwindigkeitsreduktion auch bei dieser Windrichtung im Innenbereich der Bebauungsblöcke nördlich und südlich der Westrandstraße sowie in der Westrandstraße selbst.

Bei einer Anströmung aus OSO (120°; **Abb. A 5**) bildet sich wieder eine deutlich erhöhte Geschwindigkeit entlang des Altneckararms und der anrainenden Freiflächen aus. In Lee der Bebauung südöstlich der Gleisanlagen wird die Geschwindigkeit reduziert. Wie schon bei 90° treten großflächige Geschwindigkeitsreduktionen zwischen Bebauung Neckarbogen (westlich des Schenkels W) und Wall bzw. westlich des Walls auf. Im HIP-Areal östlich des Neckaraltarms sowie im Bereich der Bebauung des Schenkels W wechseln Zonen mit einer Geschwindigkeitsreduktion und einer Geschwindigkeitserhöhung ab. Im Bereich der beiden Seen wird die bodennahe Windgeschwindigkeit deutlich gegenüber dem ungestörten Zustand reduziert. Am stärksten ist die Geschwindigkeitsreduktion auch bei dieser Windrichtung im Innenbereich der Bebauungsblöcke nördlich und südlich der Westrandstraße, wenn auch nicht so stark ausgeprägt wie bei den zuvor betrachteten Anströmrichtungen. Lokal sind deutliche gebäudeinduzierte Geschwindigkeitsverstärkungen zu erkennen, so z.B. westlich der ABX-Halle, am Ostrand der ABX-Halle oder auch im Bereich der Verbindung des Stadtsees mit dem Altneckararm zwischen Schenkel W und M.

Bei einer Anströmung aus SSO (150°; **Abb. A 6**) bildet sich wie bei der Anströmung aus OSO wieder eine deutlich erhöhte Geschwindigkeit entlang des Altneckararms und der anrainenden Freiflächen aus. Im Bereich in Lee der Bebauung südöstlich der Gleisanlagen wird die Geschwindigkeit großräumig reduziert. Wie schon bei 90° und 120° treten ebenfalls großflächige Geschwindigkeitsreduktionen zwischen Bebauung Neckarbogen (westlich des Schenkels W) und Wall bzw. westlich des Walls auf. Im Bereich der beiden Seen wird die bodennahe Windgeschwindigkeit deutlich gegenüber dem ungestörten Zustand reduziert. Im Bereich der Bebauungsblöcke W, M und S sind die Geschwindigkeitsreduktionen wieder stark ausgeprägt, wobei sich die Verhältnisse in der Westrandstraße sowie zwischen der Bebauung südlich davon etwas günstiger darstellen als bei den vorab betrachteten Anströmrichtungen. Lokal sind wieder deutliche gebäudeinduzierte Geschwindigkeitsverstärkungen zu erkennen, so z.B. in Lee der ABX-Halle, am Ostrand der ABX-Halle sowie im Bereich der geplanten Neubebauung südwestlich der ABX-Halle. Im HIP-Areal östlich des Neckaraltarms ist im Bereich der beiden Straßenzüge eine gute Durchlüftung gegeben, die sich positiv auf die Bereiche im Bereiche zwischen der Bebauung auswirken dürfte.

Bei einer Anströmung aus S (180°; **Abb. A 7**) bilden sich ausgeprägte Zonen mit erhöhter bodennaher Geschwindigkeit entlang des Altneckararms und der anrainenden Freiflächen, im Bereich der Gleisanlagen, im südlichen Bereich zwischen Wall und Hafenstraße sowie im Bereich des Freizeitsees östlich des Walls aus. Im Bereich der Freiflächen am Altneckar sind Geschwindigkeitserhöhungen bis maximal dem 2-fachen Wert der ungestörten Anströmgeschwindigkeit in gleicher Höhe möglich. Als gut durchlüftet kann bei dieser Windrichtung auch das HIP-Areal östlich des Neckaraltarms eingestuft werden. Deutliche Geschwindigkeitsreduktionen sind auch bei dieser Anströmrichtung fast im gesamten Plangebiet Neckarbogen zu erwarten, wobei die Geschwindigkeitsreduktion in der Westrandstraße nicht ganz so stark ausfällt. Lokal sind im Eckbereich einzelner höherer Gebäude starke Geschwindigkeitsverstärkungen zu beobachten.

Bei einer Anströmung aus SSW (210°; **Abb. A 8**) bilden sich ausgeprägte Zonen mit einer Geschwindigkeitsverstärkung entlang der Gleisanlagen südlich des Quartiers Neckarbogen, im Bereich des Freizeitsees sowie im südlichen Teil der Hafenstraße aus. Als recht gut durchlüftet kann bei dieser Anströmrichtung das Hip-Areal eingestuft werden. Im östlichen Teil der Gleisanlagen in Richtung des neuen Bildungscampus sind Geschwindigkeitserhöhungen um mehr als 100% möglich. Teile des Grünbereichs entlang des Altneckararmes liegen nun in Lee der geplanten Bebauung mit einer einhergehenden Geschwindigkeitsreduktion. Innerhalb der Bebauung Neckarbogen ist die Durchlüftung im Bereich der Schenkel M und S stärker eingeschränkt als im Bereich des Schenkels W.

Bei einer Anströmung aus WSW (240°; **Abb. A 9**) dehnt sich die Zone mit reduzierter Geschwindigkeit in Lee der geplanten Bebauung bis zum Hip-Areal hin aus. Gut durchlüftet sind auch bei dieser Anströmrichtung die südlich gelegenen Gleisanlagen sowie der Bereich des Freizeitsees. Im Bereich der Hafestraße wechseln sich Zonen mit leichter Geschwindigkeitserhöhung und leichter Geschwindigkeitsreduktion ab. Innerhalb der Bebauung Neckarbogen ist die Durchlüftung im Bereich der Schenkel M und S stark, im Bereich des Schenkels W als gering eingeschränkt einzustufen. Recht gut durchlüftet ist auch bei dieser Anströmrichtung das Hip-Areal.

Die Anströmung aus W (270°; **Abb. A 10**) wird durch die Industriebebauung entlang der Hafestraße und den Wall stark gebremst. Im Bereich der Hafestraße, zwischen Wall und Bebauung Neckarbogen sowie in Lee der Bebauung Neckarbogen zum Hip-Areal hin ist die bodennahe Windgeschwindigkeit großräumig reduziert. Lediglich die Gleisanlagen fungieren weiterhin als Lüftungsschneisen mit einer deutlichen Geschwindigkeitserhöhung. Am Westrand der Bebauung des Schenkels W sowie am Westrand des Schenkels S bilden sich gebäudeinduziert im Bereich der Durchlässe zwischen den Gebäuden Zonen mit lokal erhöhter Windgeschwindigkeit aus. Dies führt dazu, dass die Bebauung des Schenkels W insgesamt als ausreichend durchlüftet eingestuft werden kann. Starke Geschwindigkeitsreduktionen sind bei dieser Anströmrichtung im Bereich der Schenkel M und im östlichen Teil des Schenkels S, im Bereich des Stadtsees sowie im Hip-Areal zu beobachten.

Bei Anströmungen aus WNW (300°, **Abb. A 11**) werden die Geschwindigkeiten im Bereich der Hafestraße sowie zwischen Wall und Bebauung Neckarbogen großräumig reduziert. Dem Gleisbereich südöstlich der ABX-Halle ist jetzt die geplante Bebauung vorgelagert; infolgedessen werden die Geschwindigkeiten reduziert. Geschwindigkeitserhöhungen sind großräumig entlang des Altneckararms sowie am südlichen Rand des Plangebietes zu erwarten. Als gut durchlüftet kann der Schenkel W eingestuft werden. Starke Geschwindigkeitsreduktionen sind bei dieser Anströmrichtung im Bereich der Schenkel M und S sowie östlich des Schenkels W im Bereich des Stadtsees zu erwarten. Im Bereich des Hip-Areals wechseln sich Zonen mit besserer und etwas eingeschränkter Durchlüftung ab.

Bei Anströmungen aus NNW (330°, **Abb. A 12**) ist der gesamte Bereich zwischen Wall und Bebauung Neckarbogen, der Bereich des Altneckars sowie große Bereiche entlang der Hafestraße und entlang der Gleisanlagen als gut durchlüftet einzustufen. Als gut durchlüftet kann auch bei dieser Anströmrichtung die Bebauung des Schenkels W eingestuft werden. Starke Geschwindigkeitsreduktionen sind auch bei dieser Anströmrichtung im Bereich der Schenkel M und S sowie in weiten Teilen des Hip-Areals zu erwarten.

6.2.1 Fazit der qualitativen Beurteilung der Geschwindigkeitsverhältnisse

Insgesamt bestätigen die umfassenden bodennahen Windfeldberechnungen die ersten Einschätzungen bzgl. der Durchlüftung, die bereits auf Basis der bioklimatischen Simulationsrechnungen (s. **Kapitel 5**) für Einzelszenarien getroffen wurden.

Keine wesentlichen Einschränkungen der bodennahen Windgeschwindigkeiten und damit auch der Durchlüftung sind in den die geplante Bebauung Neckarbogen umgebenden Freiflächen zu erwarten. Das sind insbesondere der Bereich entlang der Hafenstraße westlich des Walls, der Bereich des Freizeitsees zwischen Wall und geplanter Bebauung, der von SO nach NW verlaufende Altneckar mit den anrainenden Grünflächen sowie die südlich des Gebietes Neckarbogen gelegenen Gleisanlagen des Heilbronner Hauptbahnhofs.

Im Bereich des geplanten Stadtsees innerhalb der Dreiecksbebauung ist insgesamt gesehen eher mit einer Reduzierung der bodennahen Windgeschwindigkeiten zu rechnen, was bzgl. der Aufenthaltsqualität eher positiv zu bewerten ist (s. auch **Kapitel 6.3**). Zwischen den geplanten Baukörpern wird die bodennahe Windgeschwindigkeit erwartungsgemäß reduziert. Dabei zeigt es sich, dass der westliche Gebäudeschenkel, bei dem die Einzelgebäude locker angeordnet sind, je nach Anströmrichtung zumindest lokal gut durchlüftet ist. Im Bereich des Schenkels M bilden sich zumindest auf der Ostseite zum Altneckar hin bei einigen Anströmrichtungen zwischen den Gebäudekomplexen Zonen mit etwas erhöhter oder zumindest weniger reduzierter Windgeschwindigkeit aus, die insgesamt die Durchlüftung noch akzeptabel gestalten. Kritisch hinsichtlich der Belüftungssituation ist mit Sicherheit die recht geschlossene Blockrandbebauung auf beiden Seiten der Westrandstraße. Hier zeigen die Innenhöfe bei fast allen Anströmrichtungen ausgeprägte Zonen mit sehr niedriger Windgeschwindigkeit. Aber auch in der Westrandstraße findet bei fast allen Anströmrichtungen eine starke Geschwindigkeitsreduktion statt, was auf die relativ massive Bebauung und dem dadurch nicht optimalen Verhältnis von Gebäudehöhe zur Straßenbreite entlang des Straßenverlaufs zurückzuführen ist.

6.3 Ermittlung des Windkomforts

6.3.1 Vorgehensweise

Die in dem vorstehenden Kapitel durchgeführte Interpretation der bodennahen, durch Gebäude induzierten Verstärkungs-/Abminderungsfaktoren gibt einen guten Überblick über die Durchlüftungsverhältnisse. Bereiche mit einer Erhöhung der Windgeschwindigkeit infolge der Bebauung weisen eine bessere Durchlüftung auf und sind bzgl. einer möglichen thermischen und lufthygienischen Belastung positiver zu bewerten als die Bereiche mit einer starken Reduktion der bodennahen Windgeschwindigkeit in Folge der Bebauung. Allerdings kann eine Geschwindigkeitserhöhung so groß sein, dass sie für bestimmte Nutzungen im Außenbereich eher negative Auswirkungen hat. Ob eine Erhöhung oder Minderung der bodennahen stundengemittelten Windgeschwindigkeit durch eine Bebauung in Hinblick auf eine vorgesehene Nutzung relevant ist, kann alleine durch eine Betrachtung der Änderungsfaktoren nicht beurteilt werden. Für eine Bewertung maßgebend sind vielmehr die aus den Verstärkungsfaktoren resultierenden Absolutwerte und die Häufigkeit, mit der diese Werte auftreten. Für die Bewertung bodennaher Windverhältnisse können so genannte Windkomfortkriterien herangezogen werden die für unterschiedliche Nutzungen bzw. Personenaktivitäten die zulässige Überschreitung einer bestimmten Grenzwindgeschwindigkeit festlegen (s. [30] [31] [32]). Stand der Technik war es bisher, Grenzwerte für Böenwindgeschwindigkeiten, die sich aus der stundengemittelten Windgeschwindigkeit, der Turbulenzintensität und einem Böen-Faktor zusammensetzen, für unterschiedliche Nutzungen mit unterschiedlicher jährlicher Überschreitungshäufigkeit zu koppeln. Die Problematik dabei war, dass die Ansätze für die Böen-Faktoren sowie die Grenzwerte und die dafür festgelegten Überschreitungshäufigkeiten in der Literatur nicht einheitlich festgelegt waren. Derzeit wird eine VDI-Richtlinie zum Thema Bewertungsmethoden von Stark- und Schwachwinden in bebauten Gebieten erarbeitet mit dem Ziel, die unterschiedlichen Bewertungsverfahren zu vereinheitlichen.

Dabei sollen zukünftig Stundenmittelwerte der Windgeschwindigkeit als Grenzgeschwindigkeiten herangezogen und mit entsprechenden Überschreitungswahrscheinlichkeiten verknüpft werden [33]. Dieses neue Bewertungsverfahren kommt hier bereits zum Einsatz.

Das lokale Windklima wird in insgesamt vier Windkomfortbereiche (A = sehr hoher Windkomfort bis D = sehr geringer Windkomfort) eingeteilt (siehe **Abb. 38** und **Tab. 3**). Den vier Bereichen werden verschiedene Aktivitätsklassen zugeordnet, da der Grad der Belästigung durch den Wind von der Aktivität der betroffenen Personen abhängt. Unterschieden wird in die Aktivitätsklassen „Längeres Sitzen oder Stehen“ (höchste Anforderung an den Windkomfort), „Kurzzeitiges Sitzen oder Stehen“, „Langsames Flanieren, Bummeln“ und „Zügiges Durchqueren“ (geringste Anforderungen an den Windkomfort). Sind die stundengemittelten Windgeschwindigkeiten mit den zugehörigen Überschreitungswahrscheinlichkeiten größer als der Bereich D, sollte die

genauere Überschreitungswahrscheinlichkeit durch eine Zeitreihenanalyse der Windgeschwindigkeit ermittelt werden. Um eine Gefährdung durch Wind weitgehend auszuschließen, sollte die lokale stundengemittelte Windgeschwindigkeit von $15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (dies entspricht einer 3-s-Böe von $23,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) in maximal 0,01 % der Zeit überschritten werden.

Zur Ermittlung der Überschreitungswahrscheinlichkeiten werden die Ergebnisse der numerischen Simulationen mit MISKAM, wie in **Kapitel 6.2** beschrieben, mit der Häufigkeitsverteilung für Windgeschwindigkeit und Windrichtung einer geeigneten Referenzstation gekoppelt. Im vorliegenden Fall werden die über einen Zeitraum von 10 Jahren an der LUBW-Station in der Hans-Rießer-Straße, ca. 2 km nordöstlich des Plangebietes, stündlich gemessenen mittleren Windgeschwindigkeiten und Windrichtungen, herangezogen. Die Windverhältnisse an dieser Station können als repräsentativ für das Plangebiet eingestuft werden.

Zur Ermittlung der Überschreitungswahrscheinlichkeit einer Grenzgeschwindigkeit für einen beliebigen Beurteilungspunkt werden je Beurteilungspunkt und Windrichtung in einem ersten Schritt aus den Ergebnissen der numerischen Simulation oder der Windkanalversuche die sogenannten Windgeschwindigkeitsverhältnisse ψ , bezogen auf eine Referenzgeschwindigkeit bestimmt. Dabei ist ψ das Verhältnis zwischen der lokalen stundengemittelten Geschwindigkeit in der Lauf- und Verweilhöhe von 1,75 m und der stundengemittelten Geschwindigkeit in Referenzhöhe in der numerischen Simulation.

Die Überschreitungswahrscheinlichkeit einer Grenzgeschwindigkeit u_{Grenz} für diesen Beurteilungspunkt und Windrichtungssektor ergibt sich aus der als bekannt voraus gesetzten Wahrscheinlichkeitsverteilung der Referenzgeschwindigkeit der meteorologischen Station. Mit der Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit für einen bestimmten Windrichtungssektor am Referenzpunkt lässt sich die Gesamtüberschreitungswahrscheinlichkeit als Summe über alle untersuchten Windrichtungssektoren (im gegebenen Fall 12 Sektoren) ermitteln. Die für jeden interessierenden Untersuchungspunkt ermittelte Gesamtüberschreitungshäufigkeit wird dann mit den in **Abb. 38** angegebenen zulässigen Auftretenswahrscheinlichkeiten bzw. Windgeschwindigkeiten verglichen.

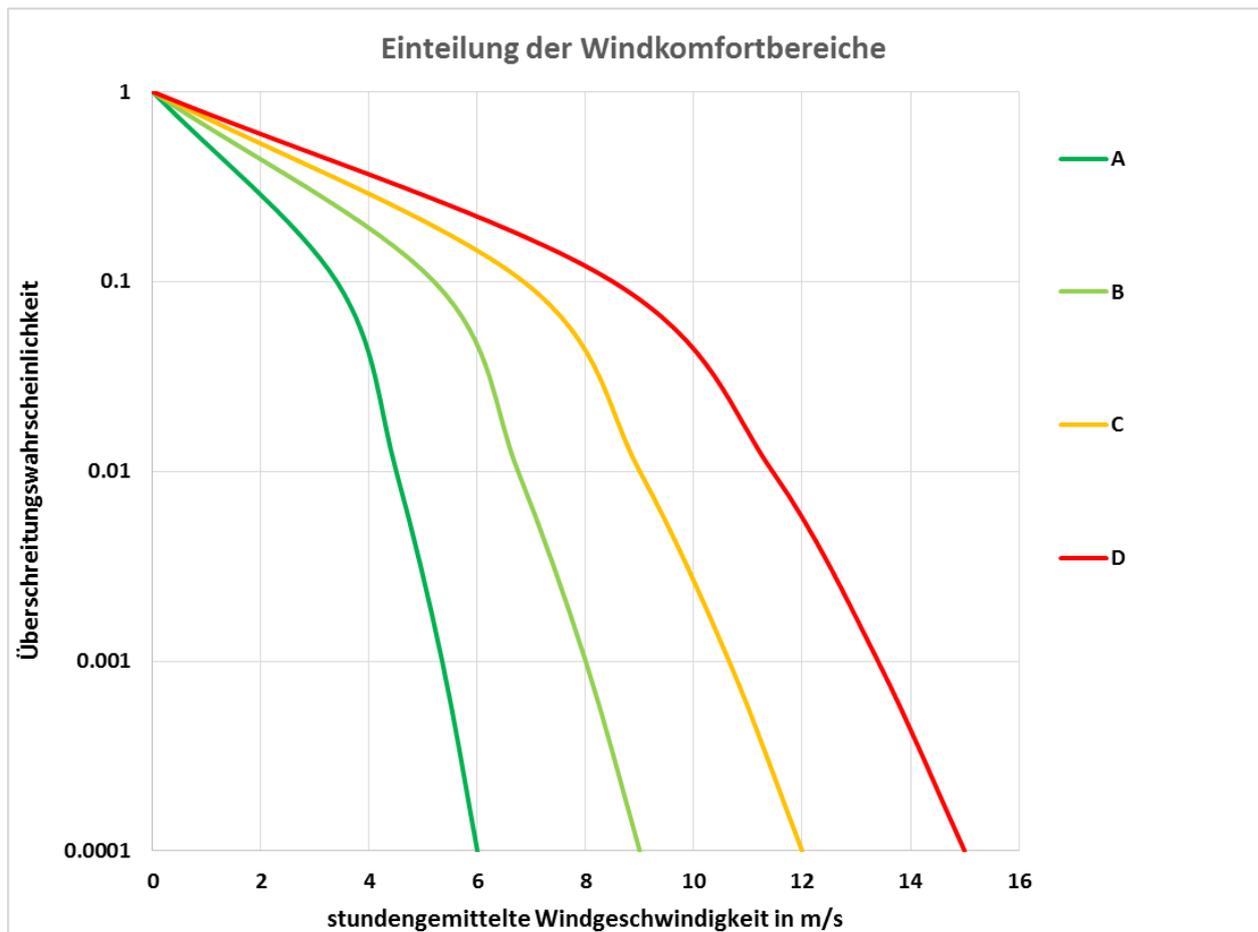


Abb. 38: Einteilung der Windkomfortbereiche bei mittleren bis stärkeren Windgeschwindigkeiten in Lauf- und Verweilhöhe

Tab. 3: Kriterien zur Beurteilung des lokalen Windklimas auf Belästigungen durch Wind

Windkomfortbereich	Aktivitätsklasse			
	Längeres Sitzen oder Stehen (z. B. Parkanlagen, Marktplätze, Straßencafes, Biergärten, Spielplätze, Ruhezone)	Kurzzeitiges Sitzen oder Stehen (z. B. Bahn- oder Bussteige, sonstige Wartebereiche im Freien)	Langsames Flanieren, Bummeln (z. B. Ladenzeilen, Eingangsbereiche)	Zügiges Durchqueren (z. B. Passagen, Parkplätze)
A	geeignet	geeignet	geeignet	geeignet
B	mäßig geeignet	geeignet	geeignet	geeignet
C	ungeeignet	mäßig geeignet	geeignet	geeignet
D	ungeeignet	ungeeignet	mäßig geeignet	noch geeignet

6.3.2 Auswahl von Beurteilungspunkten

Im derzeitigen Planungsstand für das Gebiet Neckarbogen sind Details zu einer zukünftigen Nutzung noch nicht bekannt. Aus diesem Grund wurden zur beispielhaften Darstellung des Windkomforts für die geplante Bebauung in dem Plangebiet Neckarbogen auf Basis der flächendeckend ermittelten Strömungsgeschwindigkeiten (s. **Kapitel 6.2**) insgesamt 10 Punkte definiert. An diesen Punkten werden innerhalb des Plangebiets unterschiedliche Charakteristiken hinsichtlich der Strömungsstrukturen erwartet. Des Weiteren sind die Punkte so gewählt, dass die Ergebnisse auch für Bereiche mit ähnlicher Gebäudeanordnung und Struktur übertragbar sind. Die ausgewählten Punkte sind in **Abb. 37** dargestellt und werden im Folgenden näher beschrieben.

Punkt 1 liegt an der Südwestecke des Plangebietes im Einflussbereich des Eckgebäudes; die dort zu erwartende Strömungssituation ist als typisch einzustufen für die Wind- und Turbulenzverhältnisse im Nahbereich eines höheren Solitärgebäudes bei freier Anströmung.

Punkt 2 liegt in dem südlichen Freiraum zwischen ABX-Halle im Westen und Westrandstraße im Norden. Die Verhältnisse dort sind typisch für eine kleinere Freifläche innerhalb einer Bebauungsstruktur. Einerseits ist eine Abschottung durch die umgebenden Gebäude gegeben, andererseits „greift“ die Strömung und Turbulenz bei einigen Anströmrichtungen bis in den bodennahen Bereich durch.

Punkt 3 liegt am Südwestrand der geplanten Bebauung in einem Durchgangsbereich einem sechs- und einem neugeschossigen Gebäude. Aus Südwesten ist eine freie Anströmung gegeben, die durch den Verlauf des Walls noch leicht kanalisiert wird.

Die **Punkte 4 und 5** stehen für die zu erwartenden bodennahen Strömungsverhältnisse am Rand des Freizeitsees; die dort zu erwartende Strömungssituation ist als typisch einzustufen für die Wind- und Turbulenzverhältnisse im Einflussbereich höherer Gebäude einerseits und einer größeren, von Gebäuden umgebenen Freifläche (Stadtsee) andererseits.

Punkt 6 gibt die Verhältnisse in dem Durchgang der außenliegenden Freifläche (Bereich zwischen Wall und Gebäudeschenkel W) und der Bebauung wieder. Allerdings ist die freie Anströmung bei westlichen Windrichtungen durch den vorgelagerten Wall reduziert.

Punkt 7 spiegelt die typischerweise zu erwartenden Verhältnisse im Durchgang zwischen innenliegender Freifläche (Stadtsee) und dem Außenbereich wieder.

Punkt 8 gibt die Strömungsverhältnisse am westlichen Rand der etwas lockeren Bebauung des Schenkels W wieder und ist typisch für Großteile des westlichen Bebauungsrandes mit freier Anströmung bei westlichen Windrichtungen über den Freizeitsee.

Die **Punkte 9 und 10** geben die Verhältnisse im Durchgangsbereich zwischen Gebäudeschenkel W und M im Bereich der Verbindung von Stadtsee und Altneckar wieder, und zwar einmal im Innenbereich (Punkt 9) und einmal im Außenbereich (Punkt 10).

6.3.3 Bewertung des Windkomforts für die zehn ausgewählten Punkte

Die Ergebnisse der Windkomfortbewertung an den zehn ausgewählten Punkten sind in **Abb. 39** eingetragen. Die Punkte in der Grafik liegen alle links der Kurve D. Das bedeutet, dass an keinem der untersuchten Punkte lokal eine stundengemittelte Windgeschwindigkeit von 15 m/s erreicht wird. Mit einer Gefährdung, auch nur kurzfristig, ist nicht zu rechnen.

Die Punkte 1 und 3 liegen teilweise zwischen den Grenzkurven der Bereiche C und D. In Bereichen, die der Lage-Charakteristik der beiden Punkte 1 und 3 entsprechen, ist insgesamt mit einer Einschränkung des Windkomforts zu rechnen. Entsprechend den definierten Aktivitäten ist ein zügiges Durchqueren möglich, ein etwas längerer Aufenthalt allerdings nicht zu empfehlen.

Die Punkte 7 bis 9 liegen teilweise zwischen den Grenzkurven der Bereiche B und C. Bereiche, die der Lage-Charakteristik dieser drei Punkte entsprechen, sind entsprechend der definierten Aktivitäten für langsames Bummeln und Flanieren geeignet, aber weniger für einen kurzfristigen Aufenthalt (sitzenderweise oder stehenderweise). Die drei Punkte markieren die Durchgangsbereiche zwischen dem Innenbereich des Plangebietes und dem Außenbereich.

Punkt 10 liegt recht eindeutig zwischen den Grenzkurven der Bereiche A und B. Orte in dem Übergangsbereich der geplanten Bebauung zur Freifläche des Altneckars auf der Nordostseite sind für einen kurzfristigen Aufenthalt geeignet.

An den Punkten 2 sowie 4 bis 6 ist ein hoher Windkomfort gegeben. Die Freiflächen an der Südostseite des Stadtsees sowie im Bereich der Freifläche westlich der ABX-Halle scheinen grundsätzlich für einen längeren Aufenthalt (Sitzen und/oder Stehen) geeignet. Ebenso ergibt sich auch für den Punkt 6 eine positive Einstufung, obwohl dieser Punkt im Bereich eines Durchgangs zwischen Bebauung und Freizeitsee liegt. Der Grund dafür ist, dass vor allem bei südwestlichen bis nordwestlichen Anströmrichtungen der Wall abschirmend wirkt und das bodennahe Geschwindigkeitsniveau reduziert.

Nicht explizit geprüft in Hinblick auf den Windkomfort wurden die Bereiche entlang der Westrandstraße sowie die Verhältnisse innerhalb der Blockrandbebauung nördlich und südlich der Westrandstraße. Die bodennahen Windfelder, die in Kapitel 6.2 ausführlich diskutiert wurden, zeigen in diesen Bereichen sehr starke Geschwindigkeitsreduktionen. Das bedeutet, dass in diesen Bereichen theoretisch bzgl. des Windkomforts gute Bedingungen vorherrschen. Allerdings sind vor allem in den Innenhofbereichen der genannten Baublöcke die bodennahen Windgeschwindigkeiten dermaßen gering, dass von einer thermischen Belastung an windschwachen Sommertagen ausgegangen werden muss, da auf Grund der Dimensionen der

Blockinnenräume die so genannte Überdachströmung nicht in den bodennahen Bereich durchgreift.

Die für die ausgewählten Einzelpunkte durchgeführte Windkomfortbewertung dient in diesem Planungsstadium lediglich als Orientierung und soll Hinweise darauf geben, in welchen Bereichen bei Vorliegen einer konkreten Planung und unter Berücksichtigung der schlussendlich geplanten Nutzung der Windkomfort noch einmal genauer geprüft werden sollte.

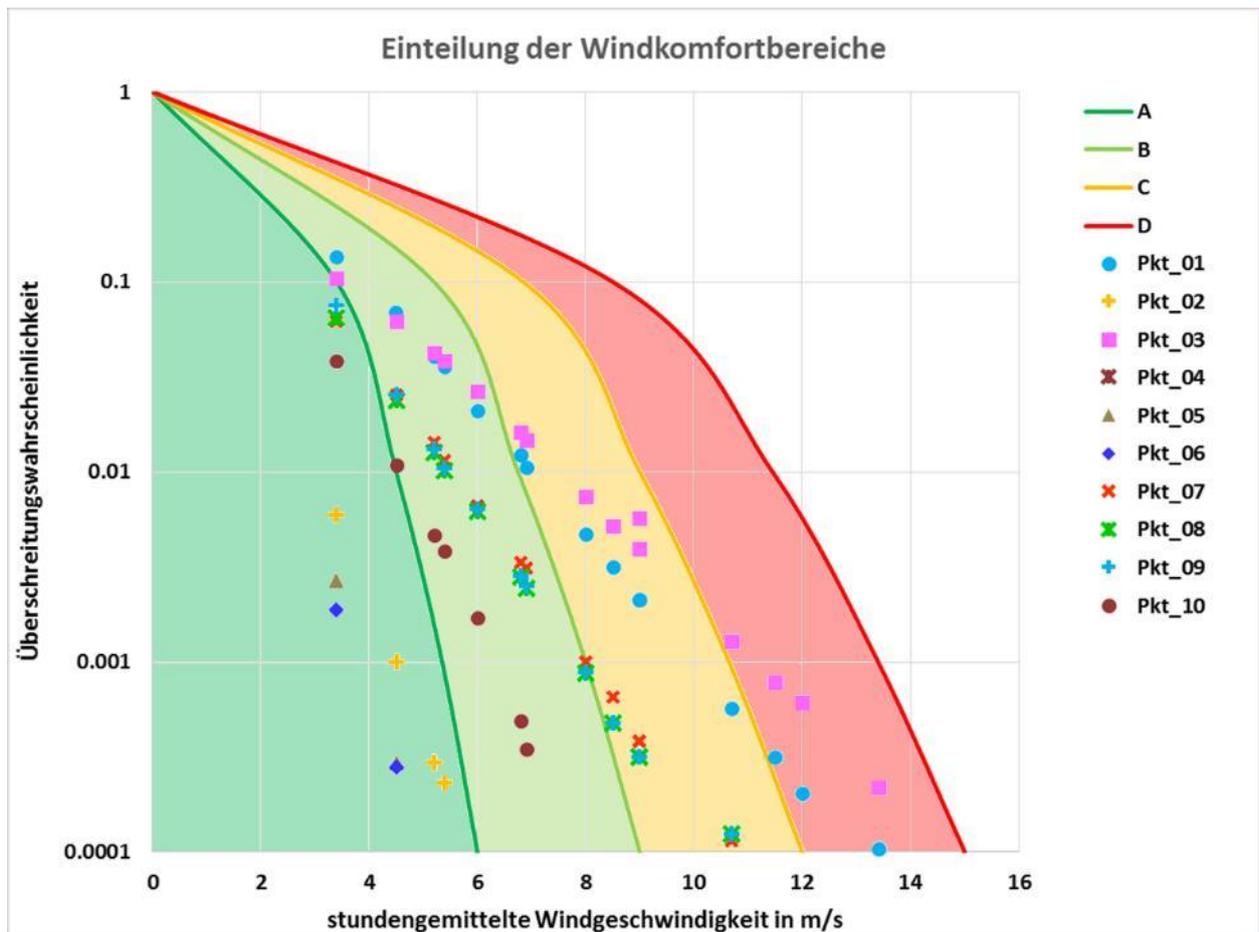


Abb. 39: Ergebnisse der Windkomfortberechnungen für die zehn exemplarisch gewählten Punkte bei mittleren bis stärkeren Windgeschwindigkeiten in Lauf- und Verweilhöhe

7 Zusammenfassung und abschließende Empfehlungen

In den Detailanalysen, die in **Kapitel 5** für die thermischen Verhältnisse sowie in **Kapitel 6** für die bodennahen Strömungsverhältnisse durchgeführt wurden, zeigt es sich, dass der aktuelle Planentwurf aus stadtklimatischer Sicht gesehen insgesamt bereits ein durchaus akzeptables Mikroklima gewährleistet. So ergaben die bioklimatischen Berechnungen, dass die Wärmebelastung im Freien nur während der Tagstunden an heißen Sommertagen auf Grund der hohen Sonneneinstrahlung von Relevanz ist. Zu den übrigen Tageszeiten bzw. während anderer Witterungsbedingungen stellt die Wärmebelastung kein nennenswertes Problem dar.

Die bioklimatischen als auch die detaillierten strömungsmechanischen Untersuchungen zeigen eine durchaus akzeptable lokale Durchlüftungssituation auf den das geplante Dreieckensemble umgebenden Flächen zwischen Wall und westlicher Bebauung im Bereich der offenen Flächen (Wiesen, Freizeitsee), im Bereich des Neckaraltarms sowie den angrenzenden Freiflächen, im Bereich der Gleisanlagen im Süden sowie entlang der Hafenstraße westlich des Walls. Als durchaus akzeptabel einzustufen sind bzgl. der Durchlüftung der Bereich des Hip-Areals sowie der Bereich des gesamten westlichen geplanten Gebäuderiegels wegen der dort vorgesehenen lockeren Gebäudeanordnung. Die bioklimatischen als auch die detaillierten strömungsmechanischen Untersuchungen zeigen übereinstimmend weniger gute Bedingungen, sowohl bzgl. der thermischen Belastung als auch der Durchlüftung, für alle Innenhöfe der Gebäudekomplexe beidseitig entlang der Westrandstraße. Hier ist das Verhältnis von Gebäudehöhe zu Grundfläche der Innenhöfe derart ungünstig, dass sich in Folge der Überströmung keine Wirbelstruktur, die bis in Bodennähe durchgreift, ausbilden kann. Vor allem an heißen, windschwachen Sommertagen kann sich in diesen Innenhöfen die Hitze stauen und zu einer deutlichen Minderung der Aufenthaltsqualität führen. Die Westrandstraße selbst ist sorgfältig zu planen. Hier ist ein Kompromiss anzustreben zwischen ausreichender Durchlüftung (um einen Abtransport der durch den Kfz-Verkehr verursachten Emissionen zu gewährleisten) und einer ausreichenden Beschattung der südorientierten Gebäudefassaden durch möglichst hohe Bäume.

Die Windkomfortberechnungen zeigen, dass in den von der Bebauung umgebenden Freiflächen westlich der ABX-Halle und am Rande des Stadtsees ein guter Komfort gegeben ist. Je nach vorgesehener Nutzung ist ggf. im Bereich der Durchgänge zwischen den einzelnen Gebäudekomplexen der etwas eingeschränkte Windkomfort zu beachten. Eine Gefährdung durch Wind in Extremfällen spielt, wegen des in der Heilbronner Tallage insgesamt niedrigen Windgeschwindigkeitsniveaus und der im Plangebiet Neckarbogen maximal vorgesehenen Höhe der Gebäude, eher eine untergeordnete Rolle. An einigen wenigen windexponierten Stellen ist in Hochhausnähe ggf. eine Einschränkung des Windkomforts zu beachten.

Insgesamt ergeben sich einige Punkte, die im Zuge der weiteren Detailplanung aus unserer Sicht zur Optimierung der thermischen und der strömungsmechanischen Verhältnisse Berücksichtigung finden könnten.

7.1 Optimierung der Baumstandorte

Aus planerischer und stadtklimatischer Sicht entsteht gerade bei der klimagerechten Gestaltung von Stadtquartieren der Konflikt, dass große Bäume optimalen Hitzeschutz bieten, während sie gleichzeitig den Luftaustausch erschweren. Insbesondere in dichten Gebäudeanordnungen sind daher bei der Umsetzung dieser Optimierungsziele in der Regel Kompromisse einzugehen, da auf engem Raum beide Ansprüche selten gleichzeitig realisiert werden können (vgl. [34] [35] [36]). Es wird empfohlen, dass die verbleibenden, nicht verschatteten Gebäude durch effizient platzierte Bäume bzw. Verschattungseinrichtungen hinreichend gegen Aufheizung geschützt werden, ohne die Ventilation im Bereich der Gebäude deutlich zu verschlechtern. Konkret sollte die Möglichkeit geprüft werden, bei sämtlichen Einzelgebäuden die südlichen bis westlichen Gebäudefassaden durch die Pflanzung nahestehender, hoher Bäume vor besonnungsbedingter Fassadenaufheizung, falls noch nicht vorgesehen, zu schützen.

Im Gegenzug sollten an möglichst vielen Gebäuden die Nord- und Ostfassaden von Bäumen freigehalten werden, da sie durch die überwiegende Schattenlage keine bis nur geringe besonnungsbedingte Fassadenaufheizung erfahren, gleichzeitig aber eine massive Bepflanzung die Durchlüftungssituation im gesamten Gebiet verschlechtern kann.

Beispielhaft genannt sei die Allee der Westrandstraße. Durch Entfernung der Baumreihe am südlichen Fahrbahnrand wird die Durchlüftung verbessert, während die Baumreihe am nördlichen Fahrbahnrand erhalten bleibt und somit Schutz der sonnenexponierten Südfassaden vor Sonneinstrahlung bietet.

7.2 Neuausrichtung der Gebäudelage zur Verbesserung der Durchlüftung in Quartieren

Eine Optimierung der Durchlüftung kann durch die Variation der Lage und Gestalt einzelner Gebäude erreicht werden. Wir empfehlen für die aktuelle Planung hier konkret die folgenden Maßnahmen:

- Entlang der Westrandstraße sollten die Gebäudeabstände zwischen den einzelnen Baublöcken vergrößert werden.
- Der Abstand zwischen der ABX-Halle und den Gebäuden auf der Südseite der Westrandstraße sollte vergrößert werden.
- Das neu geplante Gebäude westlich der ABX-Halle sollte um 90° gedreht werden.

7.3 Verbesserung der Durchlüftung in den Innenhofbereichen

Eine Verbesserung der thermischen Verhältnisse sowie der Durchlüftung im Bereich der nahezu geschlossenen Innenhöfe der Baublöcke beidseitig entlang der Westrandstraße könnte durch folgende Maßnahmen erzielt werden:

- Offene Unterführungen von mindestens 10 m Breite und 4 m Höhe sowohl an den West- als auch den Ostflanken zur Induktion einer schwachen bodennahen Strömung im Bereich der Innenhöfe.
- Die Alternative wäre eine Auflockerung der Gebäudeanordnung entlang der Westrandstraße; die Untersuchungen zeigen bspw. recht deutlich, dass die zum Freizeitsee hin orientierte westliche Bebauung insgesamt eine deutlich bessere Durchlüftung aufweist.

8 Literaturverzeichnis

- [1] Ingenieurbüro Rau, *Klimauntersuchung für den Rahmenplan Heilbronn Neckarbogen*, Heilbronn: im Auftrag der Stadt Heilbronn, Planungs- und Baurechtsamt, 2012.
- [2] Ingenieurbüro Rau, *Masterplan Neckarvorstadt: Einschätzung der lufthygienischen und klimatischen Verhältnisse*, Heilbronn: im Auftrag der Stadt Heilbronn, Planungs- und Baurechtsamt, 2008.
- [3] Bigalke, K., *Berechnung von Ausbreitungsklassenstatistiken auf Basis der synthetischen Windstatistiken für Baden-Württemberg*, Pinneberg: Im Auftrag der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, 2007.
- [4] Bigalke, K.; Ahrens, D.; Rau, M., *Synthetische Ausbreitungsklassenstatistiken zur Verwendung in Immissionsprognosen, Gefahrstoffe Reinhaltung der Luft 68. Jahrgang (2008)*, 2008.
- [5] Bigalke, K.; Rau, M., *Synthetische Ausbreitungsklassenstatistiken für Baden-Württemberg - Hinweise für Anwender*, Pinneberg, Heilbronn: Auftraggeber: Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, 2013.
- [6] Bigalke, K., Rau, M. et al., *Dokumentation - Synthetische Ausbreitungsklassenstatistiken - SynAKS für Deutschland - Berechnung - Qualitätssicherung - Anwendung (Version 1.1)*, Pinneberg, Heilbronn: www.metsoft.de, 2013.
- [7] VDI-Fachbereich Umweltmeteorologie, *VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 - Umweltmeteorologie - Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung - Teil I: Klima*, Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN - Normenausschuss KRdL, 2008.
- [8] Stadt Heilbronn, *Städtebaulicher Rahmenplan Neckarbogen - Anhang 1: Bestandsuntersuchungen* (http://www.eilbronn.de/dateien/wir_inn/zukunftsprojekte/neckarbogen/1_Rahmenplan_NeBo_Teil_3_minimiert.pdf), Heilbronn: Stadt Heilbronn, 2010.
- [9] Stadt Heilbronn, *Modellprojekt Neckarbogen - Fortschreibung der Rahmenplanung - Gestaltungsplan 1:1000 vom 30.10.2013*, Heilbronn: Stadt Heilbronn, 2013.
- [10] Stadt Heilbronn, *Rahmenkonzeption - Bereich Wohlgelegen/Neckarbogen 1:2500 - Stand März 2014*, Heilbronn: Stadt Heilbronn, Planungs- und Baurechtsamt, 2014.
- [11] Stull, R.B., *An introduction to boundary layer meteorology*, Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, 1988.
- [12] Bongardt, B., *Stadtklimatische Bedeutung kleiner Parkanlagen - dargestellt am Beispiel des Dortmunder Westparks*, Hohenwarsleben: Essener Ökologische Schriften - 24. Ausgabe - 228 S., 2006.
- [13] Bruse, M.; Fleer, H., *Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model*, Environmental Modelling and Software, 13. S. 373-384, 1998.
- [14] Bruse, M., *Updated overview over ENVI-met 3.0*, 12 S., Bochum: <http://www.envi-met.com>, 2004.
- [15] Stadt Heilbronn, *Luftbild der Befliegung*, Heilbronn: Stadt Heilbronn, Planungs- und Baurechtsamt, 2012.
- [16] Stadt Heilbronn, *Baugrundmanagement - Bereich Neckarbogen zur BUGA 2019 in Heilbronn - Leistungsverzeichnis Erdbau: Kap. 02 Lageplan LSW mit Darstellung der Höhenlinien OK Rekultivierung, Phase LV, Anlage 2*, Heilbronn: Stadt Heilbronn, 2014.

- [17] Stadt Heilbronn, *Städtebaulicher Rahmenplan Neckarbogen - Anhang 5: Risikomanagement Untergrund*, Heilbronn: http://www.heilbronn.de/dateien/wir_inn/zukunftprojekte/neckarbogen/1_Rahemnplan_NeBo_Teil_5_minimiert.pdf, 2010.
- [18] Stadt Heilbronn, *Modellprojekt Neckarbogen - Interdisziplinäre Fortschreibung der Rahmenplanung - 7. Arbeitsgruppe vom 12 Sept. 2013*, Heilbronn: Stadt Heilbronn, 2013.
- [19] Hupfer, P.; Kuttler, W., *Witterung und Klima - Eine Einführung in die Meteorologie und Klimatologie - 12. überarbeitete Auflage*, Wiesbaden: Teubner Verlag 554 S., 2006.
- [20] Kuttler, W.; Müller, N.; Düttemeyer, D.; Barlag, A.-B., *Prognose- und Diagnoseanalysen zur Verbesserung des Stadtklimas - Stadtklimatische Untersuchungen in Oberhausen und Simulationen verschiedener Minderungsstrategien zur Reduktion der thermischen Belastung im Hinblick auf den Klimawandel*, Berlin: dynaklim-Publikation Nr.25, BMBF 41 S. - www.dynaklim.de - interdisziplinäres Verbundforschungsprojekt des Bundesministeriums für Bildung und Forschung, 2012.
- [21] Kuttler, W.; Püllen, H.; Düttemeyer, D.; Barlag, A.-B., *Unterirdische Wärmeinsel in Oberhausen - Untersuchung subterranean Wärme- und Energieflüsse in versch. Klimatopen*, Berlin: dynaklim-Publikation Nr.23, BMBF 38 S. - www.dynaklim.de - interdisziplinäres Verbundforschungsprojekt des Bundesministeriums für Bildung und Forschung, 2012.
- [22] Oke, T.R., *Observing urban weather and climate using 'standard' stations*, Genf: Biometeorology and Urban Climatology at the turn of the millenium - WMO/TD No. 1026, S443-448, 1999.
- [23] Düttemeyer, D., *Urban-orographische Bodenwindssysteme in der städtischen Peripherie Köln, Hohenwarsleben*: Essener Ökologische Schriften, 12. 171 S., 2000.
- [24] Düttemeyer, D.; Barlag, A.-B.; Kuttler, W., *Planungsrelevante Stadtklimatologie am Beispiel der beabsichtigten Flächenumwidmung einer Industriebrache*, UVP-Report 18, Heft 1, S. 21-26, 2004.
- [25] Eichhorn, J., *Entwicklung und Anwendung eines dreidimensionalen, mikroskaligen Stadtklimamodells. Diss. Meteorol. Inst. Univ. Mainz*, Mainz, 1989.
- [26] Eichhorn, J., *MISKAM Handbuch zu Version 6*, Wackernheim: giese-eichhorn umweltmeteorologische software, 2011.
- [27] Röckle, R.; Richter, C.-J., *"Ermittlung des Strömungs- und Konzentrationsfeldes im Nahfeld typischer Gebäudekonfigurationen - Modellrechnungen -"*, Abschlussbericht PEF 92/007/02, Forschungszentrum Karlsruhe. (<http://bwplus.fzk.de>), 1995.
- [28] Rau, M., *Vergleich berechneter (MISKAM) und gemessener (Windkanal) Wind- und Konzentrationsfelder für ein U-Gebäude*, Projekt im Auftrag des Landesumweltamtes Nordrhein-Westfalen; unveröffentlicht, 2000.
- [29] VDI-Fachbereich Umweltmeteorologie, *VDI-Richtlinie 3783, Blatt 9 - Umweltmeteorologie - Prognostische mikroskalige Windfeldmodelle - Evaluierung für Gebäude- und Hindernisumströmung*, Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN - Normenausschuss KRdl, 2005.
- [30] Gandemer, J.; Guyot, A., *Intégration du phénomène vent dans la conception du milieu bâti*, Paris: La Documentation Francaise, 1976.
- [31] Hunt, J.C.R., *The effects of wind on people - New criteria based on wind tunnel experiments*, Pergamon Press Vol. 11, pp. 15-28, 1976.

-
- [32] Ratcliff, M.A.; Peterka, J.A., *Comparison of pedestrian wind acceptability criteria*, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 36, pp. 791-800, 1990.
- [33] Koss, H., *Windkomfortkriterien im Vergleich - FORCE Technology, Division of Maritime Industry(DMI), Lyngby (Copenhagen) - Dänemark*, Aachen: Windwirkung auf Bauwerke und deren Umgebung, Graubner (Hrsg.), WtG, Aachen - ISBN 3-928909-07-X, S. 143-160, 2003.
- [34] Steinrücke, M.; Snowdon, A. (RVR); Kuttler, W; Dütemeyer, D.; Barlag, A.-B. (Univ. Du-E); Hasse, J. (FiW); Roesler, C.; Lorke, V. (Difu), *Handbuch Stadtklima - Maßnahmen und Handlungskonzepte für Städte und Ballungsräume zur Anpassung an den Klimawandel (Langfassung)*, Düsseldorf: MUNLV - Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW (Hrsg.), 2010.
- [35] Helbig, A.; Baumüller, J.; Kerschgens, M.J., *Stadtklima und Luftreinhaltung*, Berlin: Springer Verlag, 2.Aufl., 1999.
- [36] Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg, *Städtebaulichen Klimafibel online [<http://www.staedtebauliche-klimafibel.de>]*, Stuttgart: Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg (Hrsg.), 2012.

Anhang A

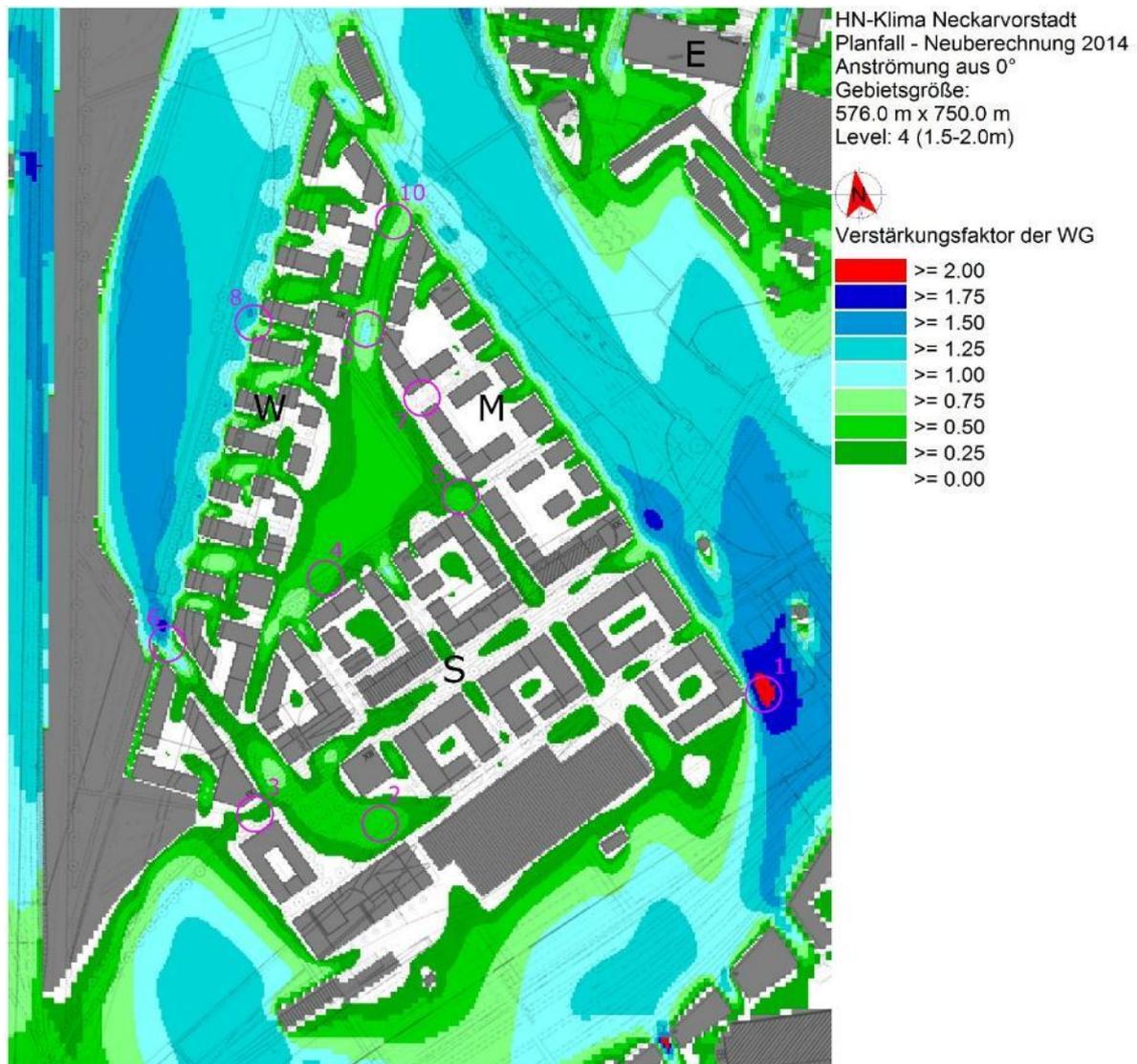


Abb. A 1: Geschwindigkeitsverhältnisse innerhalb des Beurteilungsgebietes bei einer Anströmrichtung aus 0°

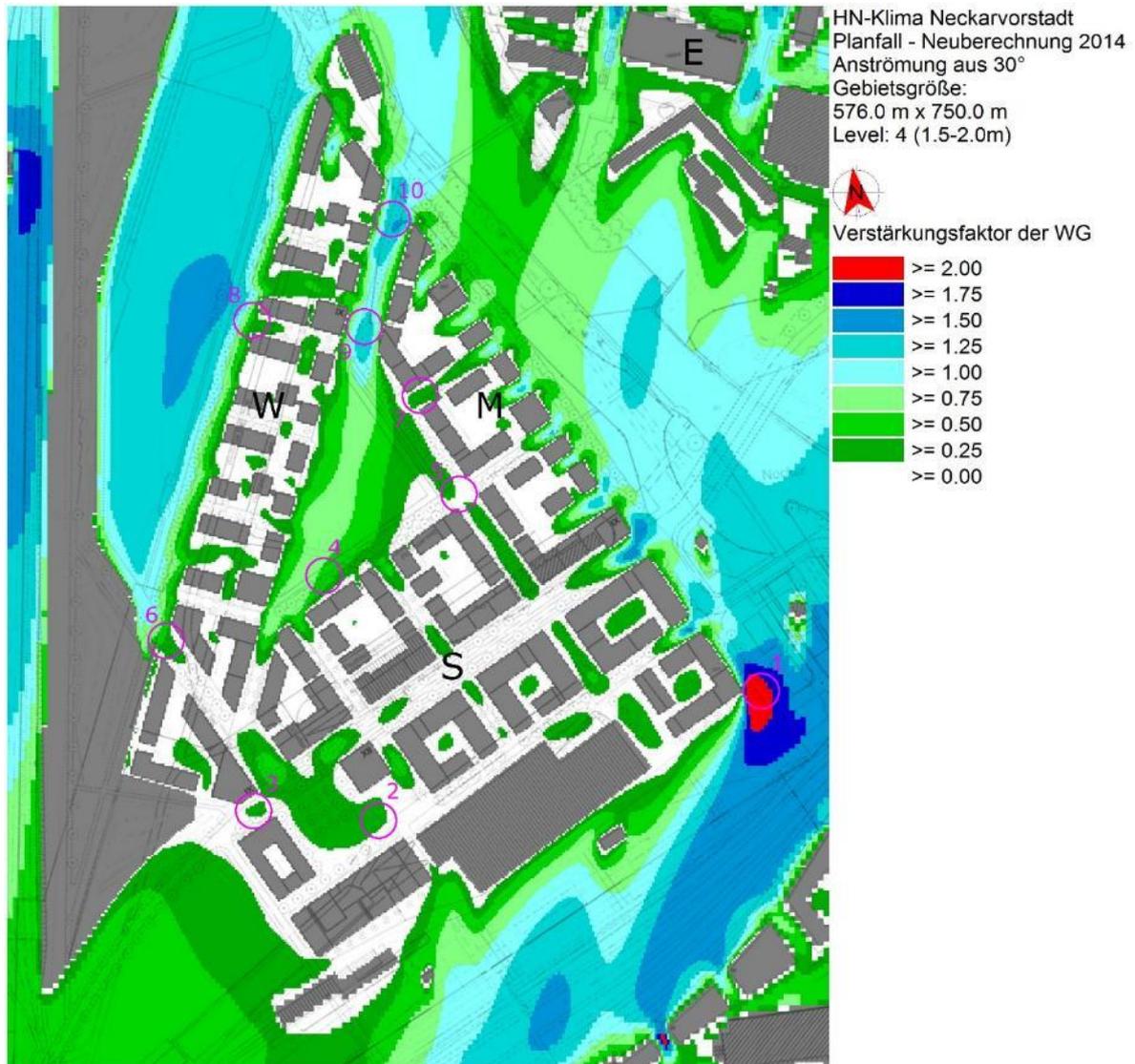


Abb. A 2: Geschwindigkeitsverhältnisse innerhalb des Beurteilungsgebietes bei einer Anströmrichtung aus 30°

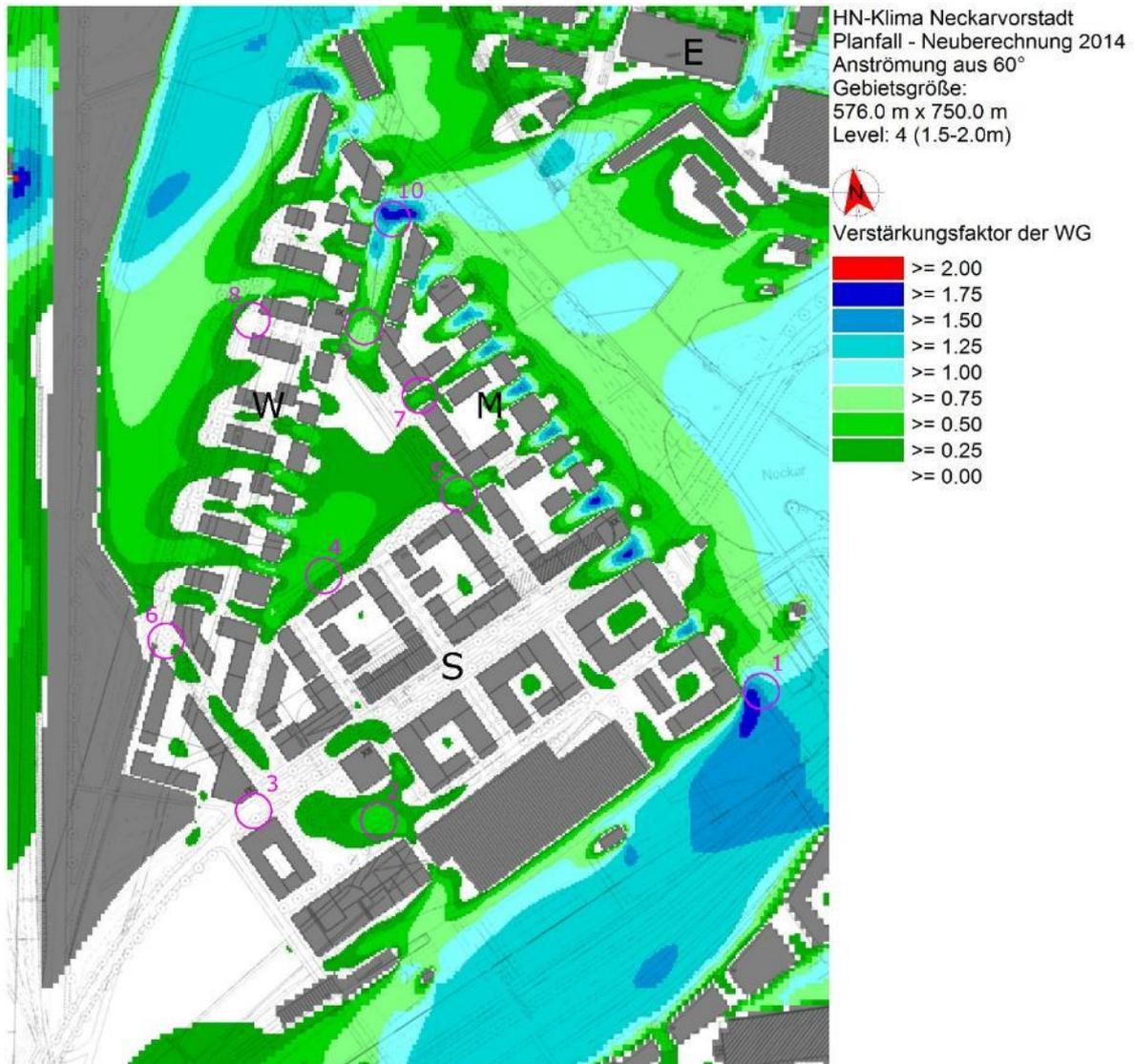


Abb. A 3: Geschwindigkeitsverhältnisse innerhalb des Beurteilungsgebietes bei einer Anströmrichtung aus 60°

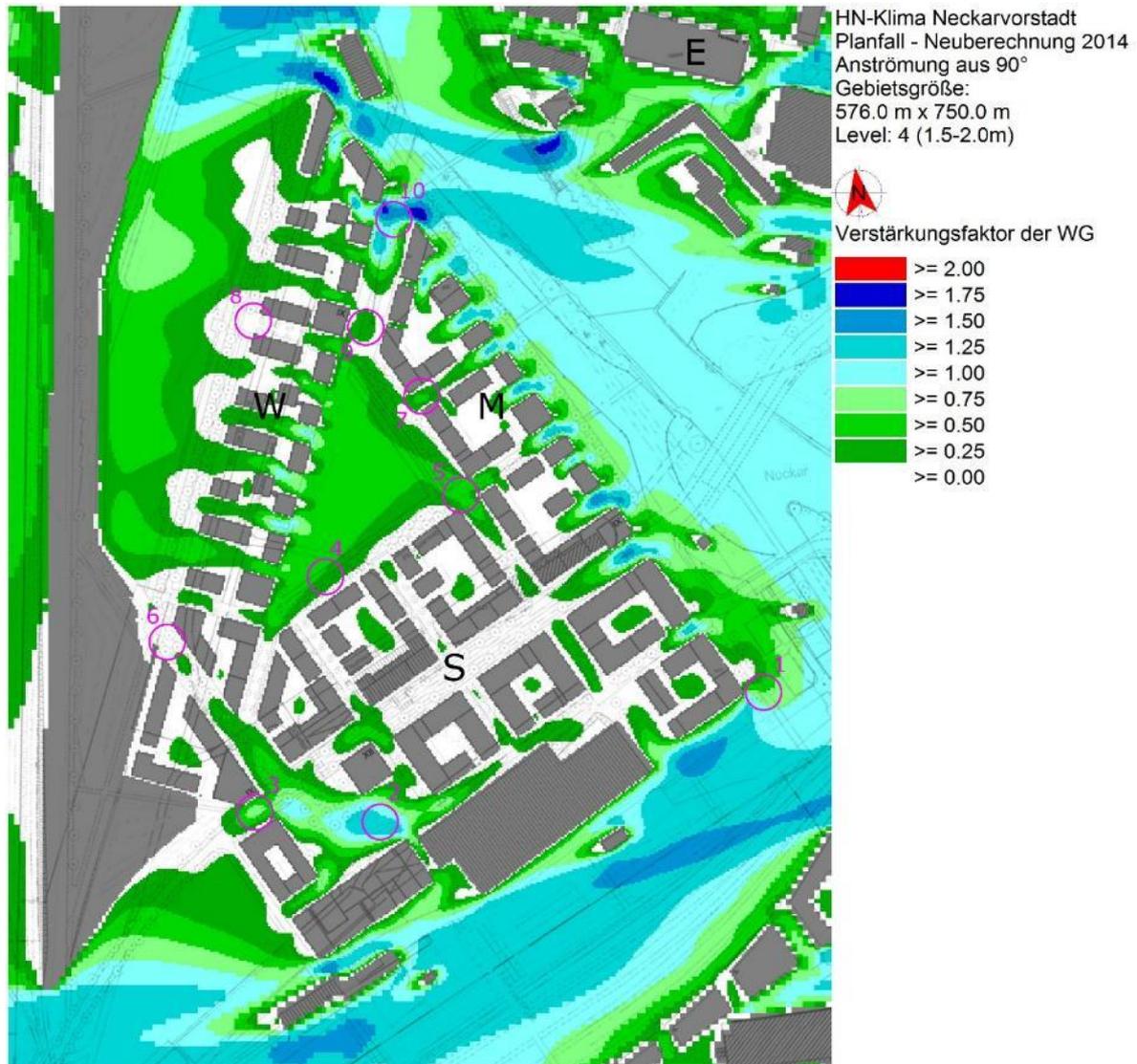


Abb. A 4: Geschwindigkeitsverhältnisse innerhalb des Beurteilungsgebietes bei einer Anströmrichtung aus 90°

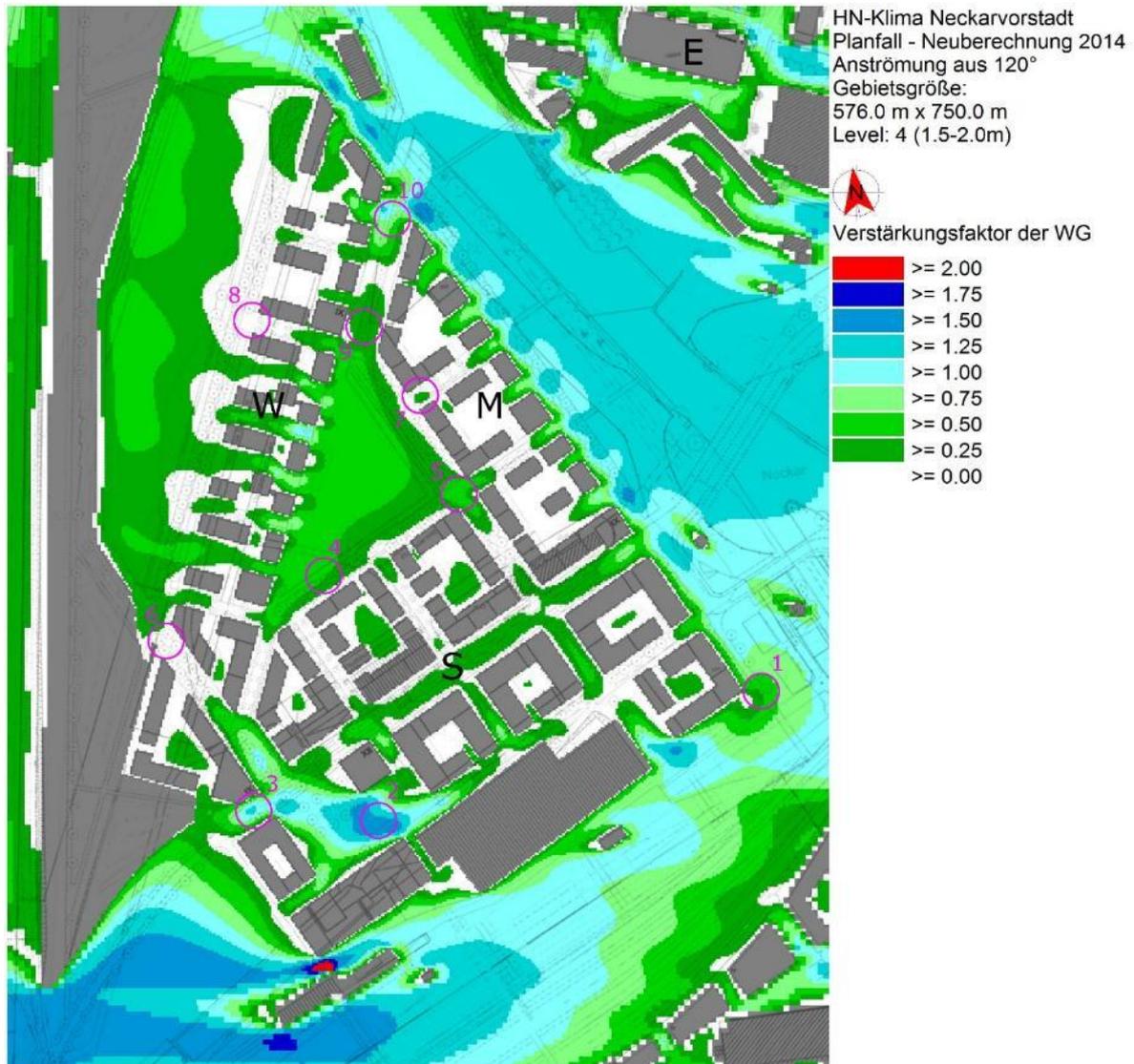


Abb. A 5: Geschwindigkeitsverhältnisse innerhalb des Beurteilungsgebietes bei einer Anströmrichtung aus 120°

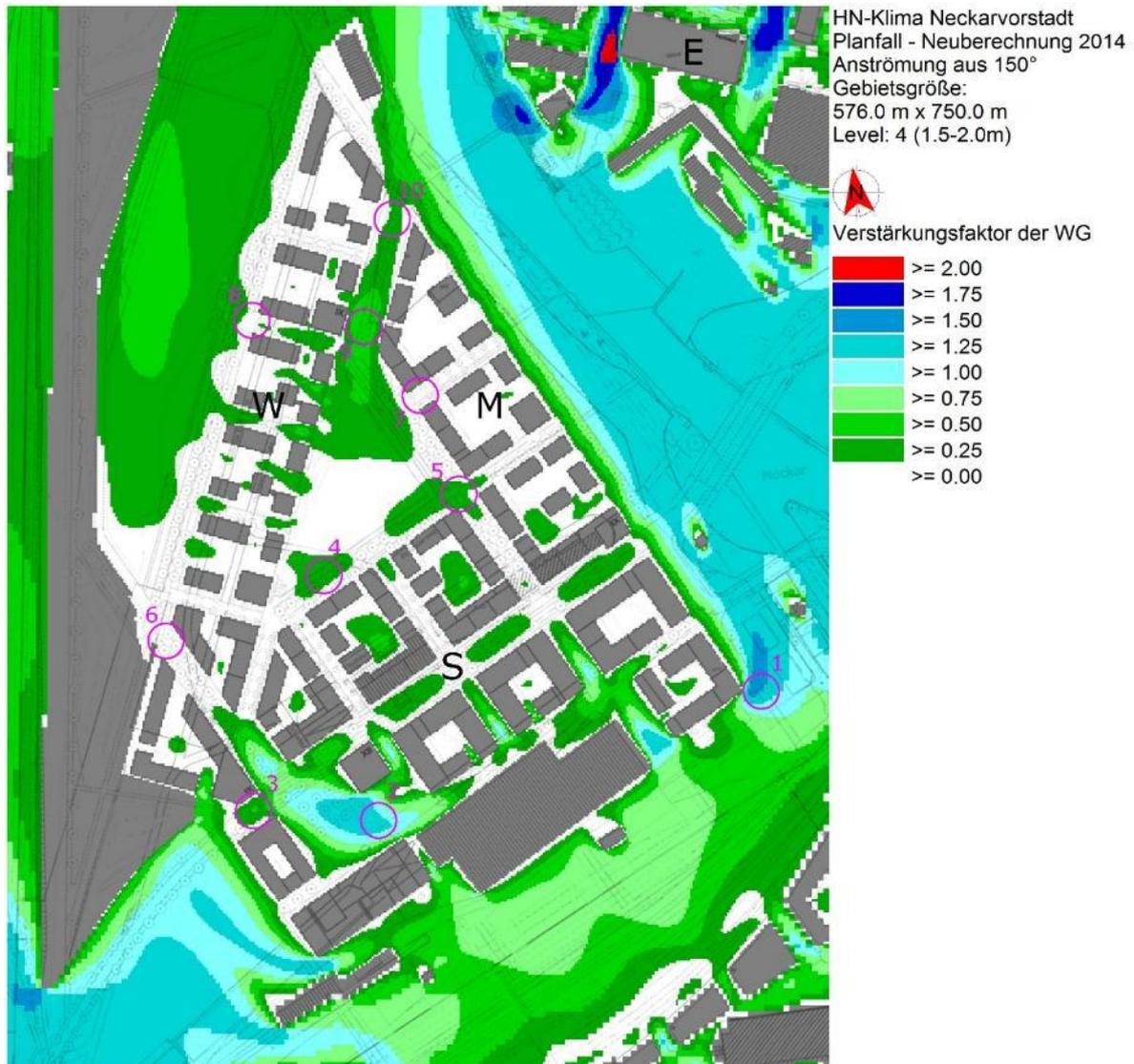


Abb. A 6: Geschwindigkeitsverhältnisse innerhalb des Beurteilungsgebietes bei einer Anströmrichtung aus 150°

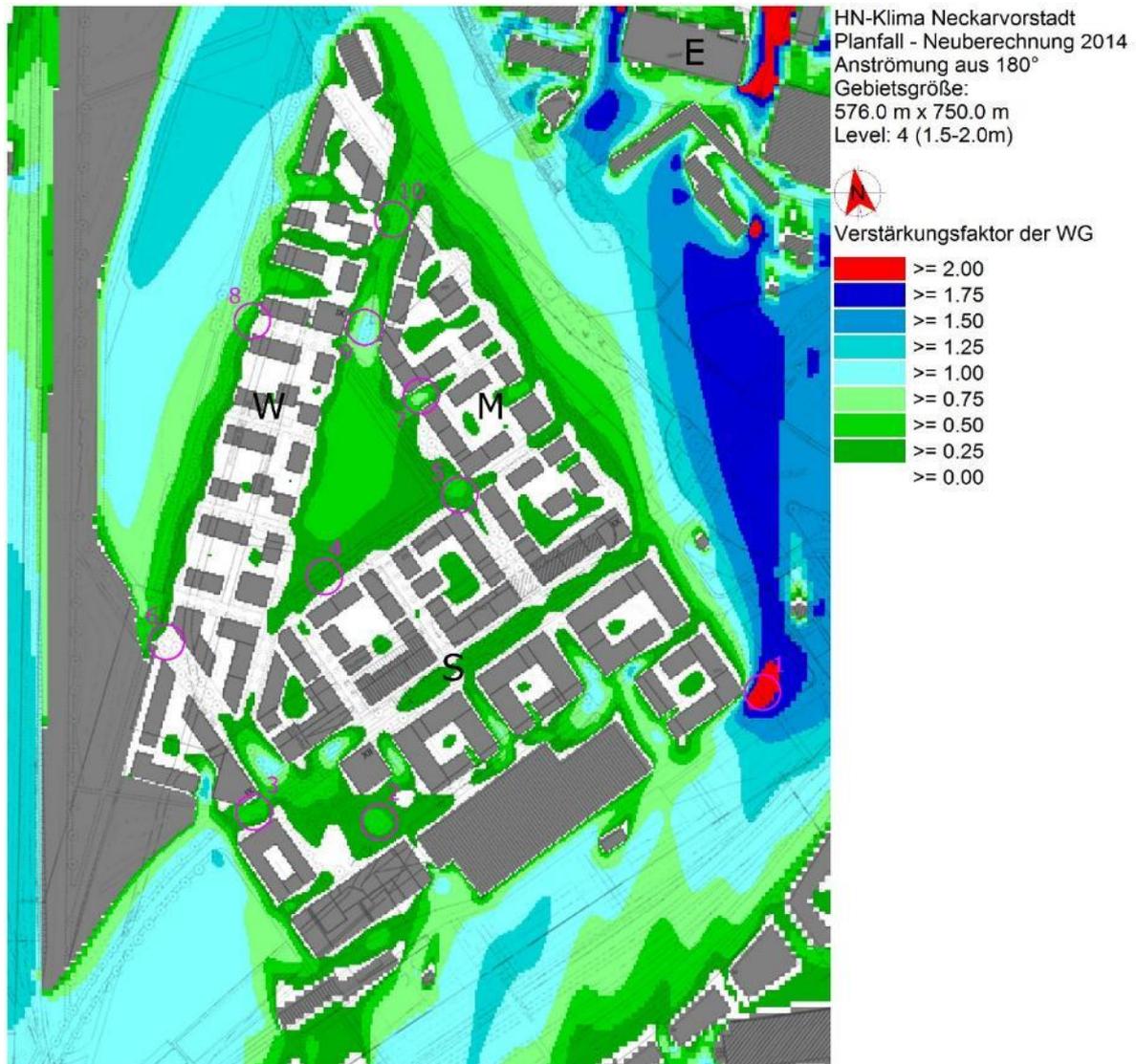


Abb. A 7: Geschwindigkeitsverhältnisse innerhalb des Beurteilungsgebietes bei einer Anströmrichtung aus 180°

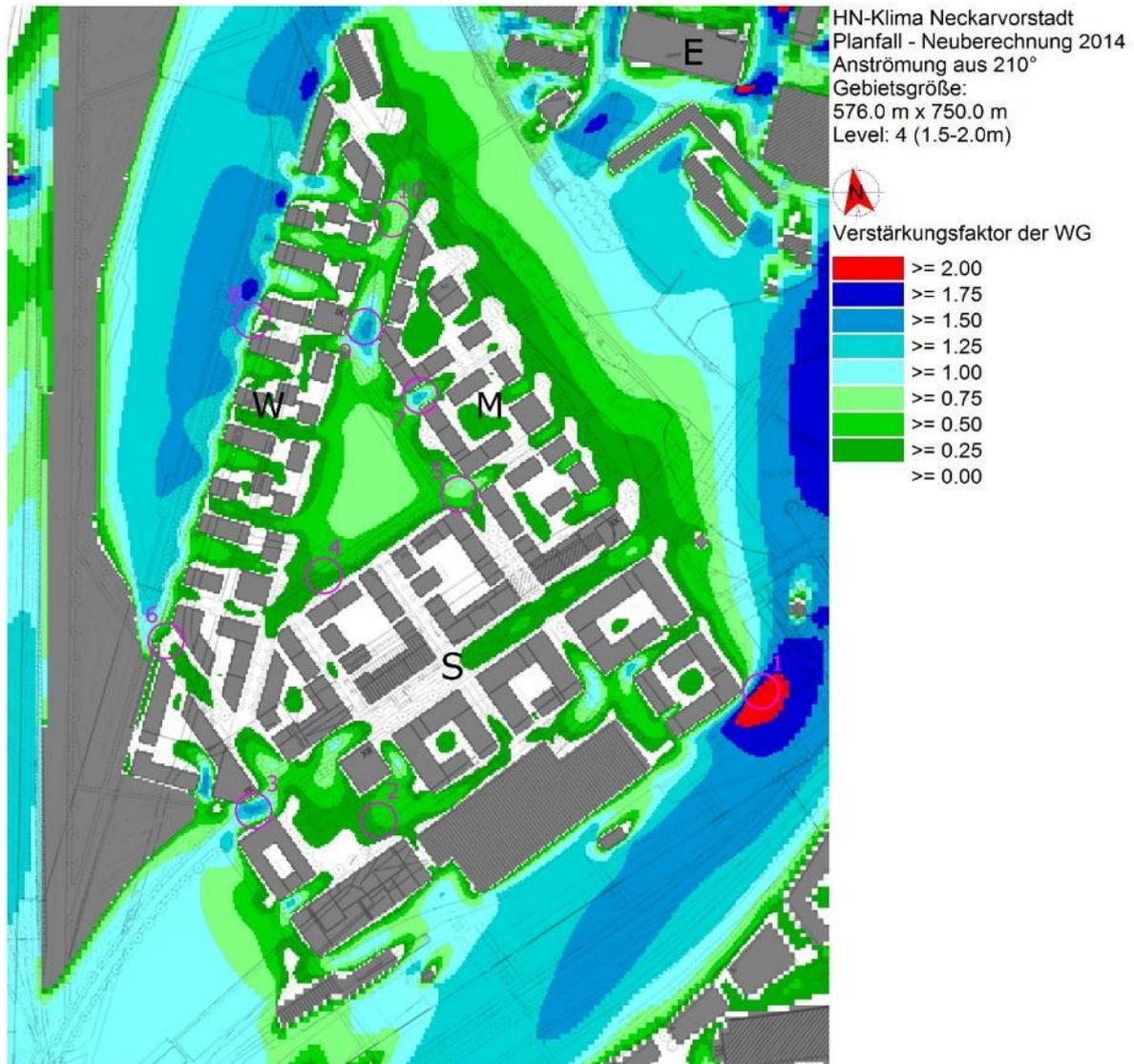


Abb. A 8: Geschwindigkeitsverhältnisse innerhalb des Beurteilungsgebietes bei einer Anströmrichtung aus 210°

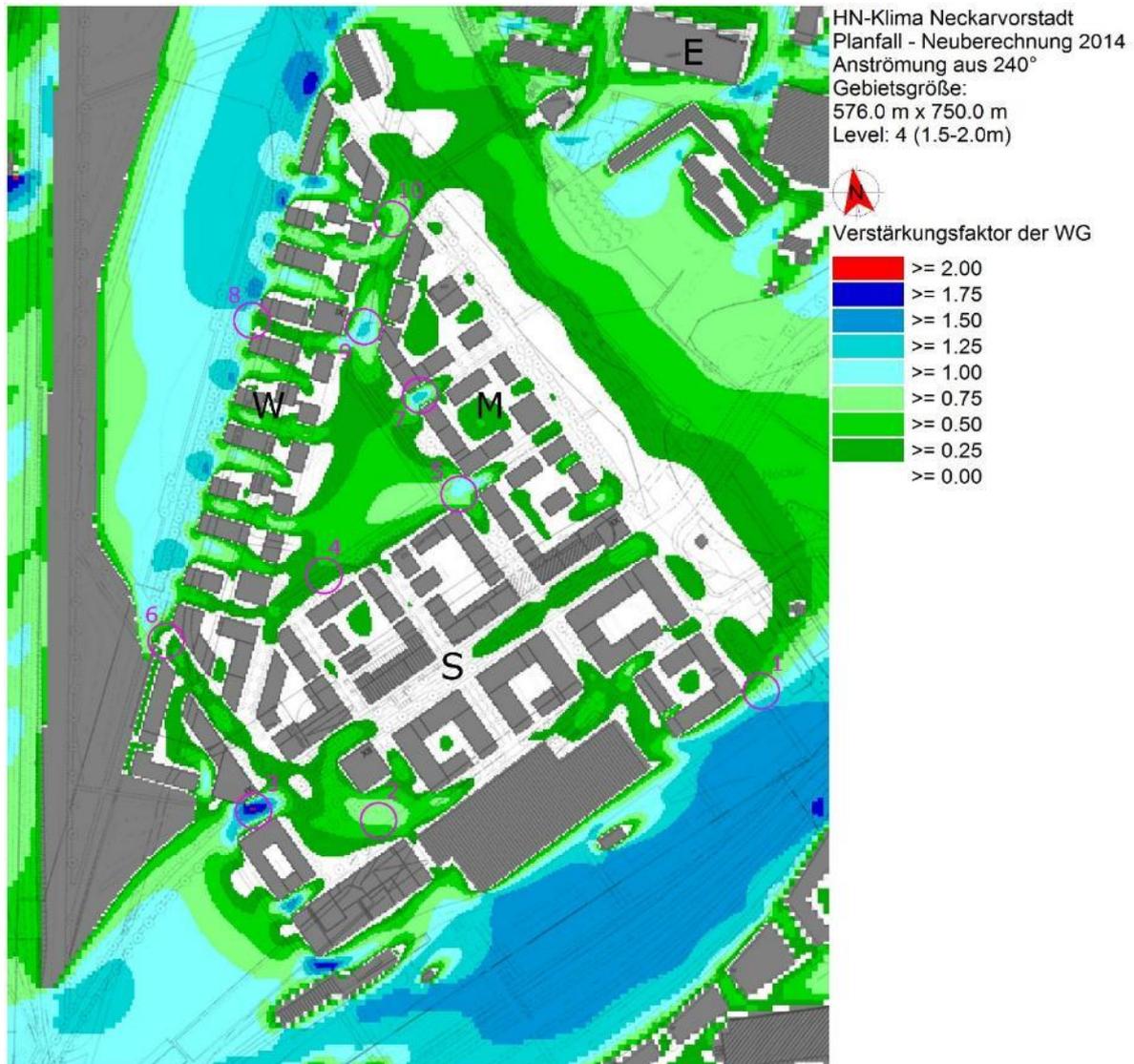


Abb. A 9: Geschwindigkeitsverhältnisse innerhalb des Beurteilungsgebietes bei einer Anströmrichtung aus 240°

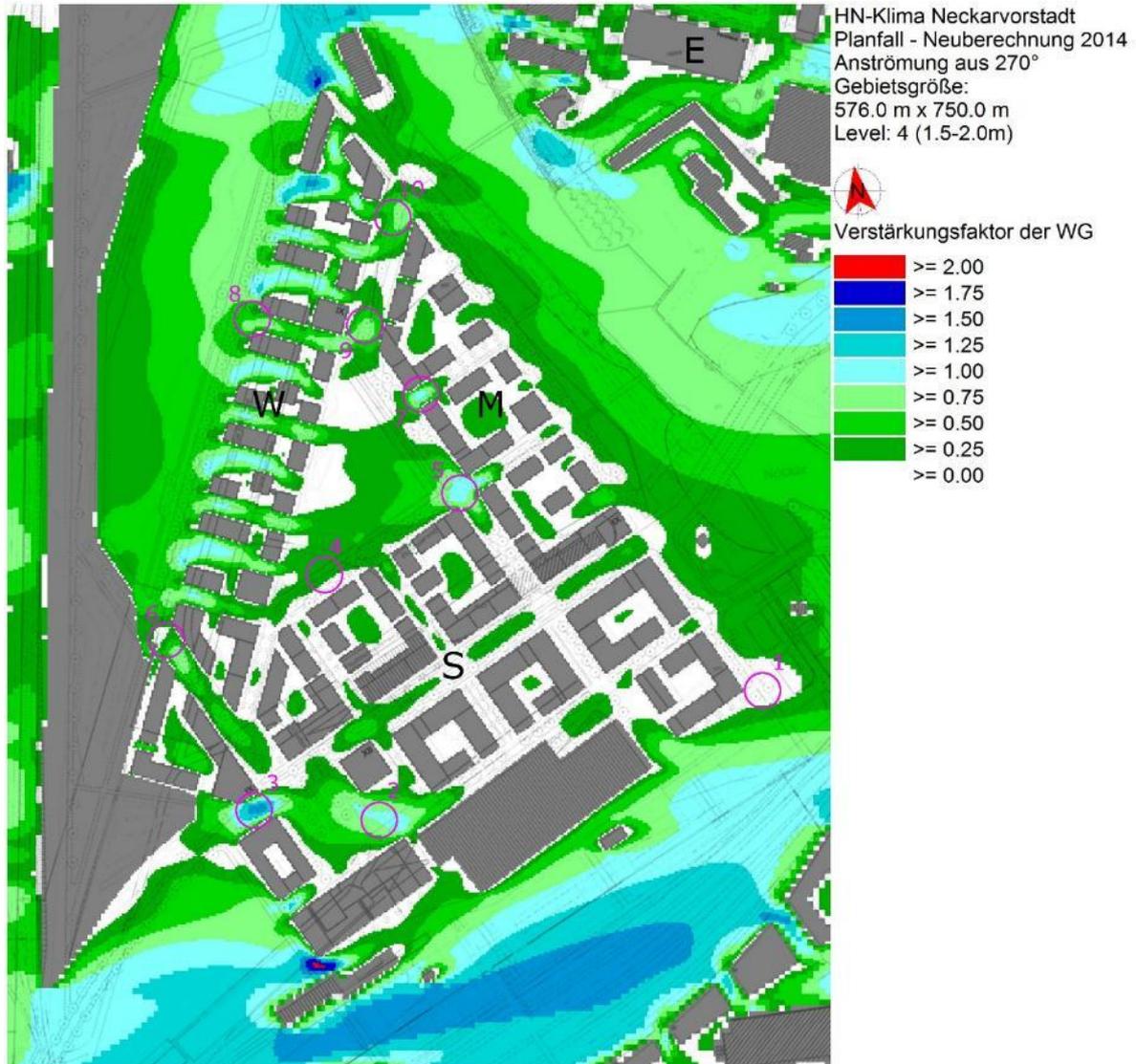


Abb. A 10: Geschwindigkeitsverhältnisse innerhalb des Beurteilungsgebietes bei einer Anströmrichtung aus 270°

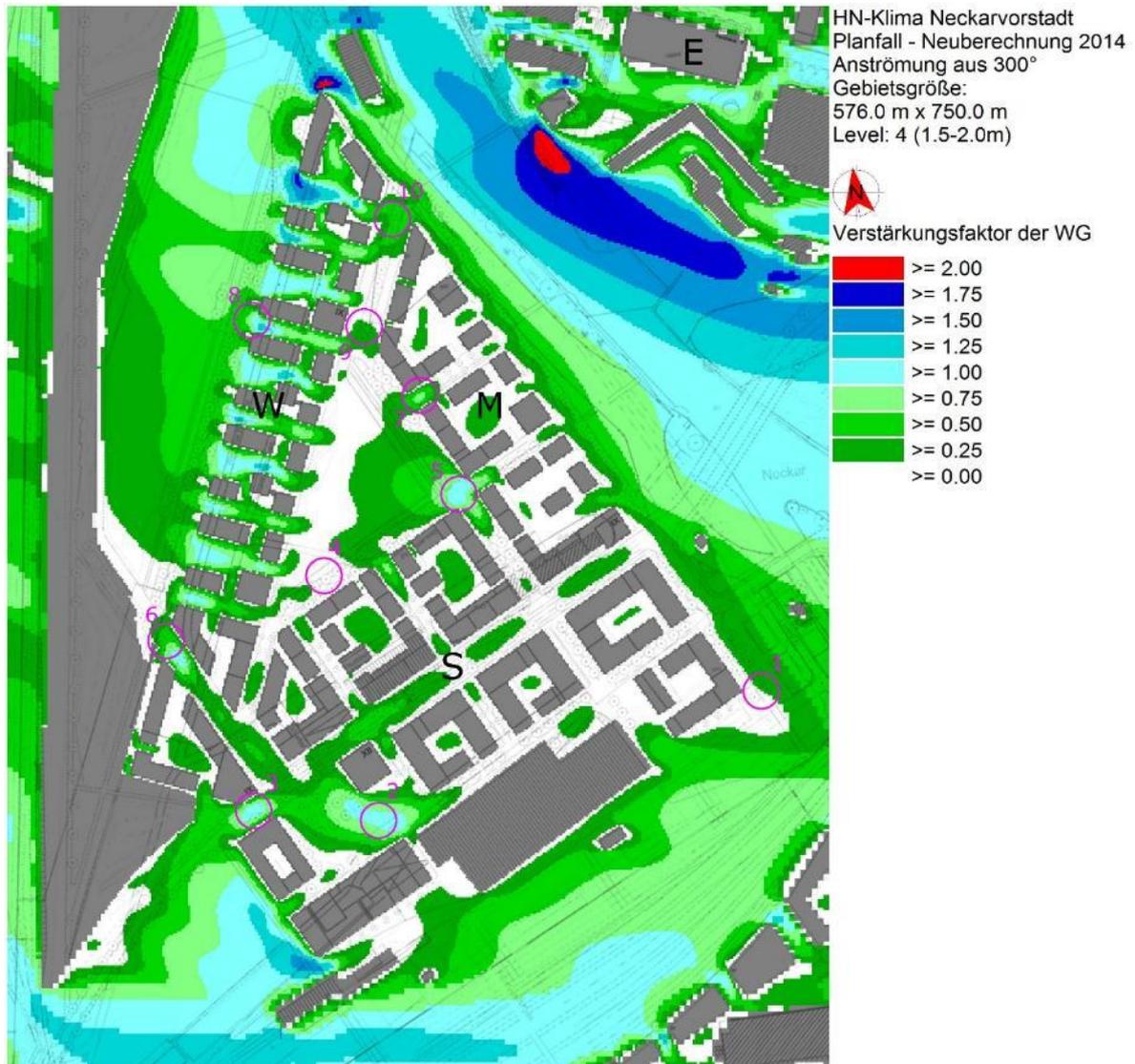


Abb. A 11: Geschwindigkeitsverhältnisse innerhalb des Beurteilungsgebietes bei einer Anströmrichtung aus 300°

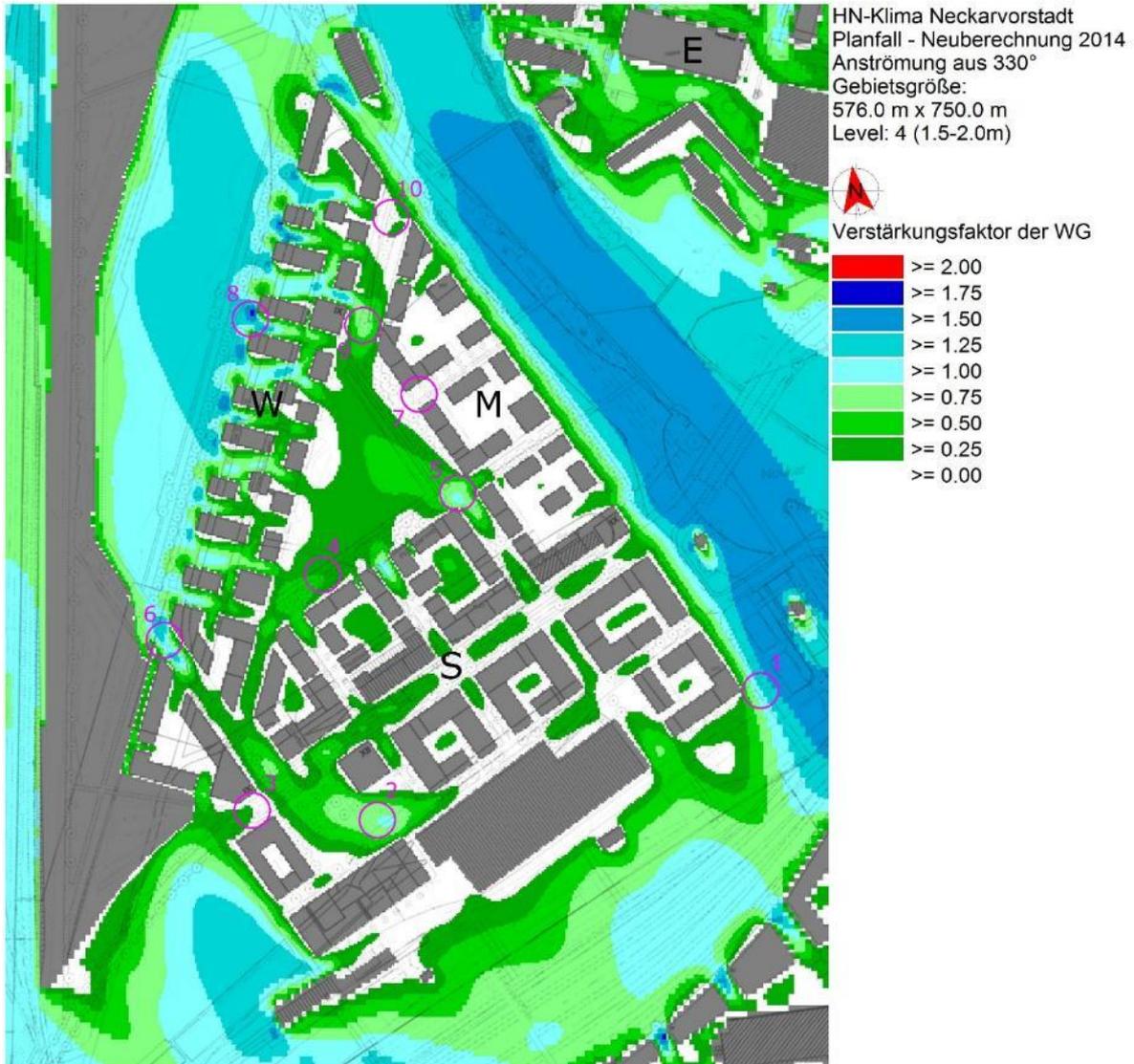


Abb. A 12: Geschwindigkeitsverhältnisse innerhalb des Beurteilungsgebietes bei einer Anströmrichtung aus 330°