

Neuer Stadtteil Dietenbach
Klimasimulation und Planungshinweise zur Klimaadaptation



Neuer Stadtteil Dietenbach
Klimasimulation und Planungshinweise zur Klimaadaptation

Auftraggeber: Stadtplanungsamt Freiburg im Breisgau

Bearbeiter: INKEK GmbH
Institut für Klima- und Energiekonzepte
Schillerstraße 50 in 34253 Lohfelden



Dipl.-Ing. Sebastian Kupsi
(Geschäftsführer)

Lohfelden, 21. Oktober 2019

Inhalt	Seite
1. Aufgabenstellung.....	4
2. Erhebungsmethodik.....	6
2.1 Aufbau der Analyse	7
2.2 Stadtklimatische Bewertung über den thermischen Index PET	10
2.3 Planungsrelevanz.....	11
3. Mikroklimakarten (Teil A: Klimasimulation)	12
3.1 Windfeld	12
3.2 PET	15
3.3 Nächtliche Lufttemperatur	18
3.4 Zukünftige klimatische Situation.....	19
4. Ergebnisse Teil B: Planerische Hinweise zur Optimierung des städtebaulichen und freiräumlichen Entwurfs	21
5. Fazit	26
6. Literatur	27
7. Anhang	28

Bei allen Bezeichnungen, die auf Personen bezogen sind, meint die gewählte Formulierung beide Geschlechter, auch wenn aus Gründen der leichteren Lesbarkeit und Verständlichkeit die männliche Form gewählt wurde.

Die Erstellung des Gutachtens erfolgte nach Stand der Technik sowie nach bestem Wissen und Gewissen. Klimatische Analysen und Wetterbedingungen unterliegen einer entsprechenden Variabilität, das tatsächliche Eintreten kann naturgemäß nicht sicher prognostiziert werden.

1. Aufgabenstellung

Lage des Gebiets / Kontext *(aus Leistungsbeschreibung)*

Das rund 108 ha große Gebiet des neuen Stadtteils Dietenbach liegt etwa vier Kilometer westlich des Freiburger Stadtzentrums zwischen den Stadtteilen Rieselfeld (im Süden), Weingarten (im Osten) und Lehen (im Norden). Im Westen grenzen die Waldbereiche des sog. Mooswaldes an, Teil des europäischen Vogelschutzgebiets „Mooswälder bei Freiburg“. Am Nordwestrand des Dietenbachgeländes verläuft die autobahnähnlich ausgebaute B 31a mit zwei Fahrstreifen je Richtung. Nördlich der B 31a schließt sich die Dreisamniederung als übergeordnete, lineare Freiraumachse an. Diese hat als Frischluftschneise gesamtstädtische Bedeutung. Im Süden befindet sich zwischen dem Dietenbachgelände und dem Stadtteil Rieselfeld ein Waldstreifen, der in reduzierter Form auch künftig eine räumliche Zäsur zwischen beiden Stadtteilen bilden wird. Hier befinden sich überwiegend Sportnutzungen. Im Osten liegt schließlich mit dem Dietenbachpark im Stadtteil Weingarten (und abgetrennt durch die Besanconallee) eine weitere größere Grünfläche.

Das Dietenbachgelände selbst wird derzeit noch intensiv landwirtschaftlich genutzt. Darüber hinaus dient das Gebiet auch zur Naherholung für die Bewohner und Bewohnerinnen der angrenzenden Stadtteile. Prägendes Landschaftselement ist das namensgebende Gewässer Dietenbach, welches den Entwicklungsbereich von Südosten Richtung Nordwesten durchmisst. Die Baum- und Gehölzgruppen am Dietenbach sollen zusammen mit weiterem, vereinzelt im Gebiet vorhandenem Bewuchs / Biotopen (unter anderem in Teilbereichen des ehemaligen Käserbachs), erhalten werden.

Der Bau des Stadtteils wird zu einer Veränderung der bioklimatischen Eigenschaften und Funktionen des Standorts führen. (aus: Leistungsbeschreibung Klimagutachten)



Abbildung 1: Untersuchungsgebiet – Dargestellt ist das Simulationsgebiet (rote Markierung), der Bestand/ Nachbarschaft (Luftbild) und zentral der städtebauliche Entwurf (Siegerentwurf K9 Architekten).

2. Erhebungsmethodik

Für die mikroskalige Analyse von Stadträumen wird das Modell ENVI-met (Bruse und Fler, 1998) verwendet. Mit Hilfe des Programms können Mikroklimakarten produziert werden, die unterschiedliche Parameter, wie beispielsweise Windgeschwindigkeit, mittlere Strahlungstemperatur oder thermische Indizes, flächendeckend im Untersuchungsgebiet abbilden. In einem Forschungsprojekt der Universitäten Freiburg, Kassel und Mainz (KLIMES) wurden ENVI-met Modellierungen mit Messungen validiert und über zeitgleich durchgeführte Befragungen, der thermische Index einer subjektiven Bewertung der Menschen zugeordnet. Diese Zuordnung basiert auf einem sogenannten „Norm-Menschen“ (männlich, 35 Jahre, 1,75m, 75kg, leichter Sommeranzug und langsames Gehen) (Jendritzky et al. 1990), der stellvertretend den Berechnungen zugrunde liegt. Je nach Alter, Geschlecht und physiologischem Zustand gibt es daher eine bestimmte Varianz in der Wahrnehmung thermischer Zustände.

Für die Realisierung der Berechnungen wurde neben den meteorologischen Eingangsdaten das Untersuchungsgebiet digitalisiert, wobei Gebäudehöhen, realistische Bodenmaterialien und Baumstandorte in das Modell integriert wurden (siehe Kap. 2.1).

Das Modell liefert als Ausgabe die Strahlungsbedingungen, die solare Sonneneinstrahlung sowie Gebäudeabstrahlung, Windverhältnisse, Lufttemperatur und Luftfeuchte (Hitzestress), ausgedrückt als physiologisch äquivalente Temperatur (PET) (Höppe, 1999) und weitere meteorologische Parameter.

Die biometeorologische Kenngröße PET beschreibt unter Berücksichtigung der thermophysiological Zusammenhänge das thermische Empfinden des Menschen (Brandenburg und Matzarakis, 2007) und ist somit eine physikalische Kenngröße für das Wohlbefinden, das vom thermischen Wirkungskomplex abhängig ist (siehe auch Abbildung 2). Neutralität herrscht dann, wenn so viel Wärme vom menschlichen Körper aufgenommen wird, wie auch selbstständig wieder abgegeben werden kann.

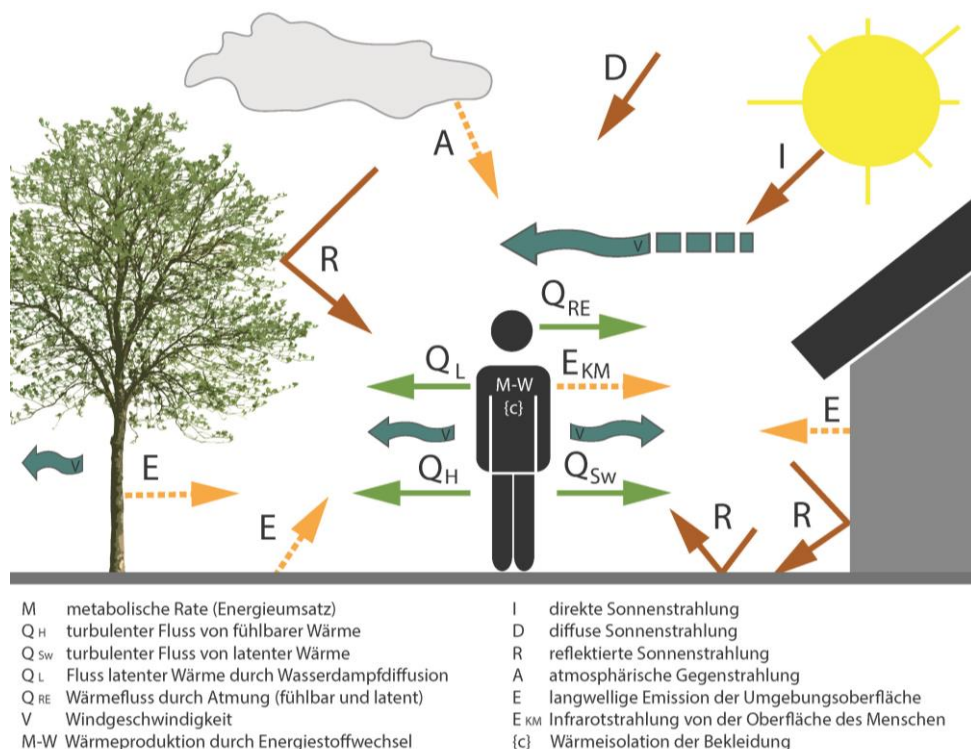


Abbildung 2: Thermischer Wirkungskomplex.

Die beschriebene Methode (nach VDI-Richtlinie 3787 Blatt 1) kann sowohl für ein existierendes Stadtquartier als auch in einem frühen Stadium des Planungsentwurfs angewandt werden, um Problembereiche zu identifizieren und Strategien zur Verbesserung des Komforts wie Beschattung oder Windschutz einzuleiten.

2.1 Aufbau der Analyse

Es wurde ein Modelllauf von 48 Stunden auf Grundlage der Plangrundlagen durchgeführt. Neben den Eingangsdaten in Form des Klimaanpassungskonzeptes der Stadt Freiburg im Breisgau (2019) konnten Luftbilder, Messergebnisse sowie Plangrundlagen des Betrachtungsraums genutzt werden.

Eingangsdaten:

Dem Modell stehen materialspezifische Eingangsdaten zur Verfügung. Um eine möglichst realistische Simulation durchführen zu können, wurden die typischen Materialien für das Untersuchungsgebiet ausgewählt und im Modell nachgebildet.

Für den Bodentyp wurde ein standardisiertes Lehmbodenprofil gewählt. Typischerweise wurden für die Fahrwege Asphalt (Farbe dunkelgrau) und für die Gehwege und Plätze entsprechende Betonbeläge (Farbe hellgrau) gewählt. Für die Plan-Situation wurden die detaillierten Informationen (siehe Abb. 1) entsprechend der Gitternetzgröße angepasst und umgesetzt.

Bestandsgebäude wurden nachgebildet und die Neuplanungen wurden mit entsprechenden Höhenangaben modelliert.

Für die Rasenflächen wurden typische Vegetationsformen gewählt. Bäume, Hecken und Büsche wurden mit einem durchschnittlichen LAD (leaf area density = Blattflächendichte), bezogen auf den spezifischen Kronendurchmesser, simuliert.

Eingesetzte Bäume bei dem zukünftigen Szenario:

Baumkategorie 1:	12 m hoch, 8 m Kronendurchmesser
Baumkategorie 2:	8 m hoch, 6 m Kronendurchmesser
Baumkategorie 3:	Bestandsbäume im Plangebiet, unterschiedliche Größen

Initialisierungsdaten:

Für den Simulationslauf wurde ein durchschnittlicher mitteleuropäischer Sommertag mit einer abgeleiteten Lufttemperatur, aus dem oben genannten Klimaanpassungskonzept und dazugehörige Messdaten angesetzt. Windrichtung und -geschwindigkeit wurden für eine charakteristische Sommerlage mit schwachen Winden festgelegt, der im Laufe des Tages in Richtung und Geschwindigkeit wechselt.

<i>Datum</i>	<i>Uhrzeit</i>	<i>Windgeschwindigkeit [m/s]</i>	<i>Windrichtung [Grad]</i>	<i>Datum</i>	<i>Uhrzeit</i>	<i>Windgeschwindigkeit [m/s]</i>	<i>Windrichtung [Grad]</i>
21. Jun	07:00:00	1	225	22. Jun	05:30:00	1	140
21. Jun	07:30:00	1	225	22. Jun	06:00:00	1	150
21. Jun	08:00:00	1	225	22. Jun	06:30:00	1	160
21. Jun	08:30:00	1	225	22. Jun	07:00:00	1	170
21. Jun	09:00:00	1	225	22. Jun	07:30:00	1	180
21. Jun	09:30:00	2	225	22. Jun	08:00:00	1	190
21. Jun	10:00:00	2	225	22. Jun	08:30:00	1	200
21. Jun	10:30:00	2	225	22. Jun	09:00:00	1	210
21. Jun	11:00:00	2	225	22. Jun	09:30:00	2	215
21. Jun	11:30:00	2	225	22. Jun	10:00:00	2	220
21. Jun	12:00:00	3	225	22. Jun	10:30:00	2	225
21. Jun	12:30:00	3	225	22. Jun	11:00:00	2	225
21. Jun	13:00:00	3	225	22. Jun	11:30:00	2	225
21. Jun	13:30:00	3	225	22. Jun	12:00:00	3	225
21. Jun	14:00:00	3	225	22. Jun	12:30:00	3	225
21. Jun	14:30:00	3	225	22. Jun	13:00:00	3	225
21. Jun	15:00:00	3	225	22. Jun	13:30:00	3	225
21. Jun	15:30:00	3	225	22. Jun	14:00:00	3	225
21. Jun	16:00:00	2	220	22. Jun	14:30:00	3	225
21. Jun	16:30:00	2	215	22. Jun	15:00:00	3	225
21. Jun	17:00:00	2	210	22. Jun	15:30:00	3	225
21. Jun	17:30:00	2	200	22. Jun	16:00:00	2	220
21. Jun	18:00:00	1	190	22. Jun	16:30:00	2	215
21. Jun	18:30:00	1	180	22. Jun	17:00:00	2	210
21. Jun	19:00:00	1	170	22. Jun	17:30:00	2	200
21. Jun	19:30:00	1	160	22. Jun	18:00:00	1	190
21. Jun	20:00:00	1	150	22. Jun	18:30:00	1	180
21. Jun	20:30:00	1	140	22. Jun	19:00:00	1	170
21. Jun	21:00:00	1	130	22. Jun	19:30:00	1	160
21. Jun	21:30:00	1	120	22. Jun	20:00:00	1	150
21. Jun	22:00:00	1	110	22. Jun	20:30:00	1	140
21. Jun	22:30:00	1	100	22. Jun	21:00:00	1	130
21. Jun	23:00:00	1	100	22. Jun	21:30:00	1	120
21. Jun	23:30:00	1	100	22. Jun	22:00:00	1	110
22. Jun	00:00:00	1	100	22. Jun	22:30:00	1	100
22. Jun	00:30:00	1	100	22. Jun	23:00:00	1	100
22. Jun	01:00:00	1	100	22. Jun	23:30:00	1	100
22. Jun	01:30:00	1	100	23. Jun	00:30:00	1	100
22. Jun	02:00:00	1	100	23. Jun	01:00:00	1	100
22. Jun	02:30:00	1	100	23. Jun	01:30:00	1	100
22. Jun	03:00:00	1	100	23. Jun	02:00:00	1	100
22. Jun	03:30:00	1	100	23. Jun	02:30:00	1	100
22. Jun	04:00:00	1	110	23. Jun	03:00:00	1	100
22. Jun	04:30:00	1	120	23. Jun	03:30:00	1	100
22. Jun	05:00:00	1	130	23. Jun	04:00:00	1	110
				23. Jun	04:30:00	1	110

Um eine maximale solare Einstrahlung zu simulieren, wurde ein wolkenloser Sommertag (21. Juni), mit einer Lufttemperatur von 16,85° C um 7 Uhr, gewählt.

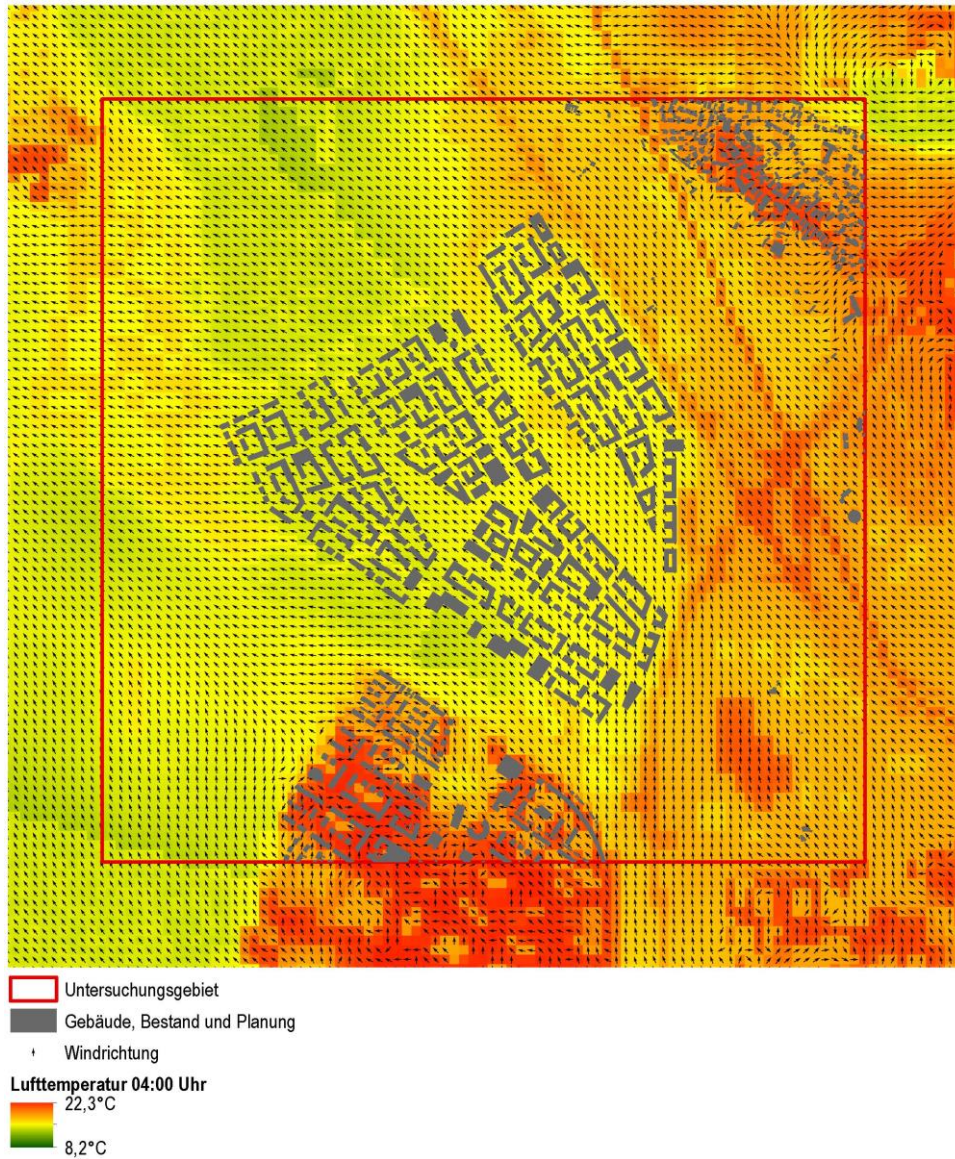


Abbildung 3: Ausschnitt der KFK Freiburg im Breisgau (nächtliche Lufttemperatur und Anströmungsrichtung) mit Legende und markierter Lage des Untersuchungsgebietes.

2.2 Stadtklimatische Bewertung über den thermischen Index PET

Für eine planerische Bewertung ist die physiologisch äquivalente Temperatur (PET) von besonderer Bedeutung, da hier die Einflussgrößen auch getrennt betrachtet werden können, und somit die Auswirkungen planerischer Maßnahmen direkt ablesbar werden.

Die physiologisch äquivalente Temperatur wird als Funktion von der mittleren Strahlungstemperatur, der Windgeschwindigkeit, der Lufttemperatur und des Wasserdampfdrucks [$PET = f(t_{mrt}, v, e, t_a)$], basierend auf dem unter 2. beschriebenen Norm-Menschen, berechnet.

Die mittlere Strahlungstemperatur (t_{mrt}) (mean radiant temperature) stellt die langwelligen und kurzwelligen Strahlungsflüsse aus den vier Himmelsrichtungen, sowie von oben und unten, die auf den Menschen einwirken, zusammengefasst als eine Temperatur, dar. Sie hat den größten Einfluss auf das thermische Empfinden. Hauptfaktor ist die direkte Sonnenstrahlung, die schnell zum Hitzestress an heißen Sommertagen führen kann. Zusätzlich werden diffuse und reflektierte Strahlungsflüsse von der Umgebung, als auch die langwelligen horizontalen Strahlungsflüsse, mit aufgenommen. Über die Erhebung der mittleren Strahlungstemperatur können die Effekte der bebauten Umwelt (Beton, Asphalt, etc.) in ihren Auswirkungen quantitativ analysiert werden.

Im oben beschriebenen Modellansatz können die Strahlungsflüsse auch als separater Parameter dargestellt werden, wodurch sich Baumaterialien über ihre Speicherung und ihren Reflexionsgrad (Albedo) in ihrer Wirkung auf den Wärmehaushalt des Menschen bewerten lassen.

Die Windgeschwindigkeit ist ein weiterer wichtiger Parameter, da die Ventilation die Wärmeflüsse des menschlichen Körpers mitbestimmt, und über höhere Windgeschwindigkeiten die thermische Belastung reduziert werden kann.

<i>PET</i> (°C)	Thermisches Empfinden	Belastungskategorie
$PET \leq 4$	sehr kalt	extremer Kältestress
$4 < PET \leq 8$	kalt	starker Kältestress
$8 < PET \leq 13$	kühl	moderater Kältestress
$13 < PET \leq 18$	leicht kühl	leichter Kältestress
$18 < PET \leq 23$	komfortabel (neutral)	kein thermischer Stress
$23 < PET \leq 29$	leicht warm	leichte Wärmebelastung
$29 < PET \leq 35$	warm	moderate Wärmebelastung
$35 < PET \leq 41$	heiß	starke Wärmebelastung/Hitzestress
> 41	sehr heiß	extrem starke Wärmebelastung/Hitzestress

Abbildung 4: Bereiche von Hitzestress in Abhängigkeit des Bewertungsindex PET (VDI 3787 Bl.2 2019).

In den Klimakarten des Kapitels 3 ‚PET‘ werden die PET-Werte flächendeckend dargestellt. Der Betrachtungszeitraum ist jeweils zwischen 10 und 18 Uhr gewählt, die Ergebnisse in diesem Zeitfenster sind gemittelt. Zusätzlich wurde eine PET-Karte für den Zeitpunkt 14 Uhr angefertigt, um die Belastungsspitze darzustellen.

Betrachtungsbereich der Karten ist stets in einer Höhe von ca. 1,5 m über dem Erdboden, da sich in diesem Bereich die thermophysiologische Mitte des stehenden Norm-Menschen befindet.

2.3 Planungsrelevanz

Wie bereits aufgeführt, werden die Stadträume primär hinsichtlich heißer, sommerlicher Tage bewertet. Während der Tageslichtstunden tritt die größte Hitzebelastung für Bewohner im städtischen Freiraum auf. Im Sommer dominiert die Anzahl der Tageslichtstunden gegenüber den Nachtstunden. Für Frühjahr und Herbst gelten jeweils durchaus die entsprechenden Abstufungen und Verteilungen der PET-Karten der Sommersimulationen, allerdings auf einem niedrigeren Niveau. Durch den veränderten Sonneneinfallswinkel fallen die Schattenbereiche größer aus, so dass hitzestressgefährdete Bereiche quantitativ kleiner werden, und die weiteren Abstufungen sich anteilig vergrößern. So können Räume, die im Sommer als belastet gelten, in anderen Jahreszeiten als angenehm empfunden werden.

3. Mikroklimakarten (Teil A: Klimasimulation)

3.1 Windfeld

Simuliert wurde eine sommerliche Hochdruckwetterlage, die durch niedrige Windgeschwindigkeiten gekennzeichnet ist. Um den heterogenen und zeitlich variierenden lokalen Anströmungen gerecht zu werden, wurde ein aufwendiges Verfahren genutzt, um diese tagesgangabhängigen und komplexen Bedingungen in Freiburg korrekt zu berücksichtigen. Somit wurde während der Tagstunden eine Anströmung aus Südwesten, entlang des Rheingrabens angesetzt, die mit Einbruch der Dämmerung in eine östliche Anströmung (Aufnahme des Höllentälers) umschwenkt.

Bei der Ergebnisdarstellung der unterschiedlichen Windfeldkarten (Abbildungen 5-7), zeigen sich erwartungsgemäß deutliche Windfeldveränderungen im Innenbereich der Gebäudekomplexe. Dieser Bereich ist charakterisiert von sehr heterogenen Windverhältnissen in Lee-Bereichen (windgeschützt) und zwischen Gebäudeteilen mit Kanten- und Düseneffekten. Verursacht wird diese Situation durch die Ausrichtung der Bauteile zur gewählten Anströmung und den unterschiedlichen, teilweise sehr großen Gebäudehöhen.

Die Ist-Situation zeigt die Anströmung aus Südwesten, die ungehindert über die landwirtschaftlich genutzten Flächen strömen kann. Hier treten lediglich die bebauten Randbereiche (Bestand) des südlichen Rieselfeld und des nördlichen Lehens auf, sowie die Windbremsungen der Vegetation (Waldflächen).

In Abbildung 6 ist die Plan-Situation um 10 Uhr visualisiert. Das bedeutet, die beiden Anströmsituationen sind miteinander vergleichbar. Auffällig sind die Windfeldveränderungen, die durch die Neuplanung des Stadtteils Dietenbach eintreten. Diese sind aber nur lokal auf das Plangebiet beschränkt. Einen Einfluss auf die Belüftungsverhältnisse des Stadtteils Lehens ist durch die Neuplanung nicht zu erwarten. Auch bei der gesondert betrachteten Lärmschutzwand (Abbildung 7), sind keine negativen Auswirkungen zu erwarten. Aufgrund des Abstandes mit der breiten Bundesstraße, dem Freiraum und der Dreisam kann sich das Windfeld wieder regenerieren und belüftet den Bestand Lehens in gewohnter Qualität.

Die beiden im Entwurf aufgenommenen Belüftungsschneisen (entlang des Dietenbachs und angedeutet mit teilweise geringerem Querschnitt im südlichen Grünzug) wirken vor allem während der Nachtstunden, wenn die Anströmung aus östlichen Richtungen kommt (Abbildung 8). Die Lage der Ausrichtung ist gut gewählt und sorgt für die natürliche Belüftung des Stadtteils. Aber auch die weiteren Straßenzüge sind aufgrund der Ausrichtung entlang der Anströmungsachsen gut belüftet, nur die Bereiche mit Innenhofcharakter sind problematisch zu bewerten. Zusammenfassend lässt sich das Gebiet als gut belüftet bewerten und es sind keine negativen Auswirkungen auf die Nachbarschaft zu erwarten.

IST-SITUATION, Freiburg Dietenbach - Windfeld

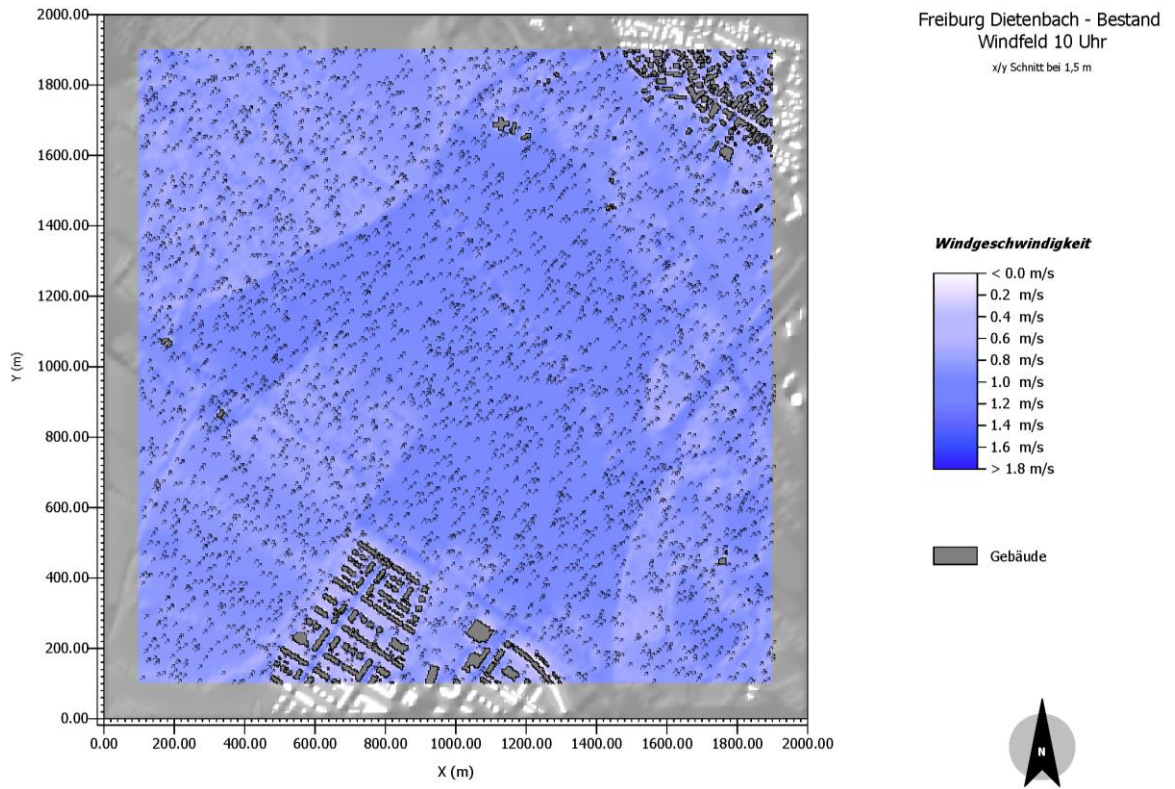


Abbildung 5: Ist-Situation; Windfeld in einer Höhe von 1,5 m; Vektoren symbolisieren die Windrichtung.

PLAN-SITUATION, Freiburg Dietenbach - Windfeld

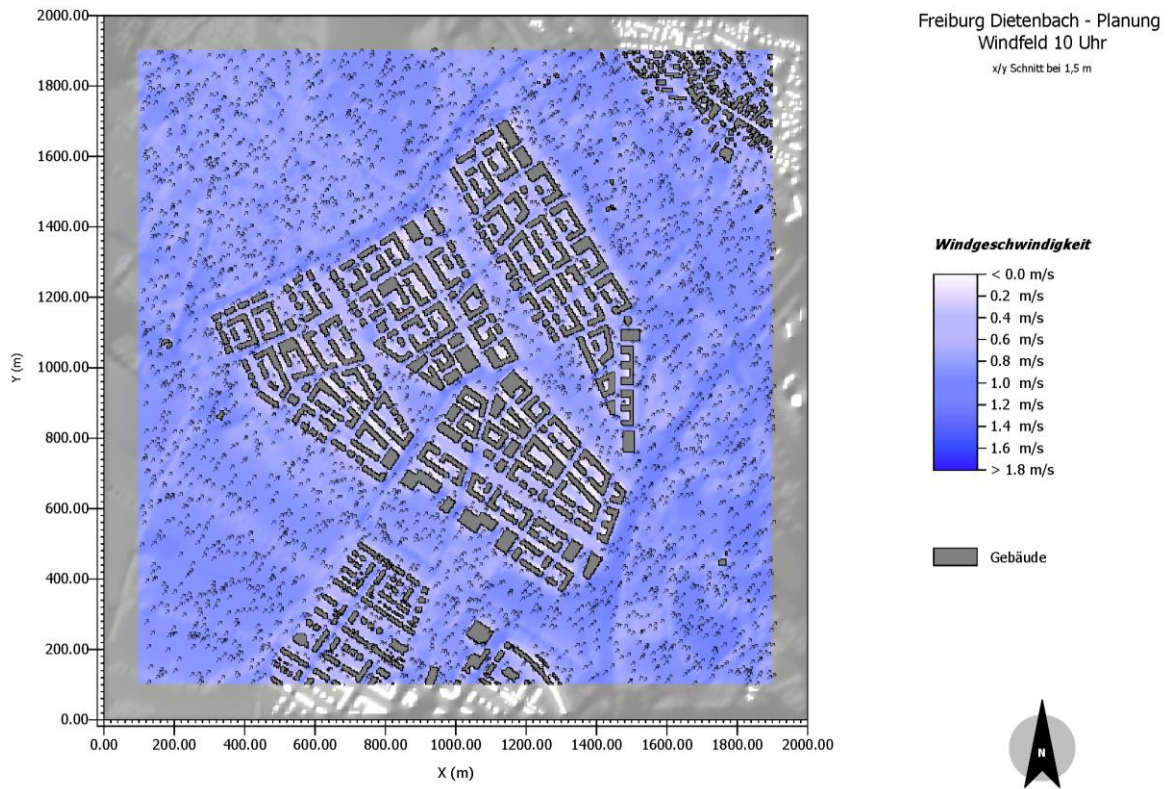


Abbildung 6: Plan-Situation; Windfeld in einer Höhe von 1,5 m; Vektoren symbolisieren die Windrichtung.

DETAIL, Lärmschutzwand, Freiburg Dietenbach – Windfeld 10 Uhr

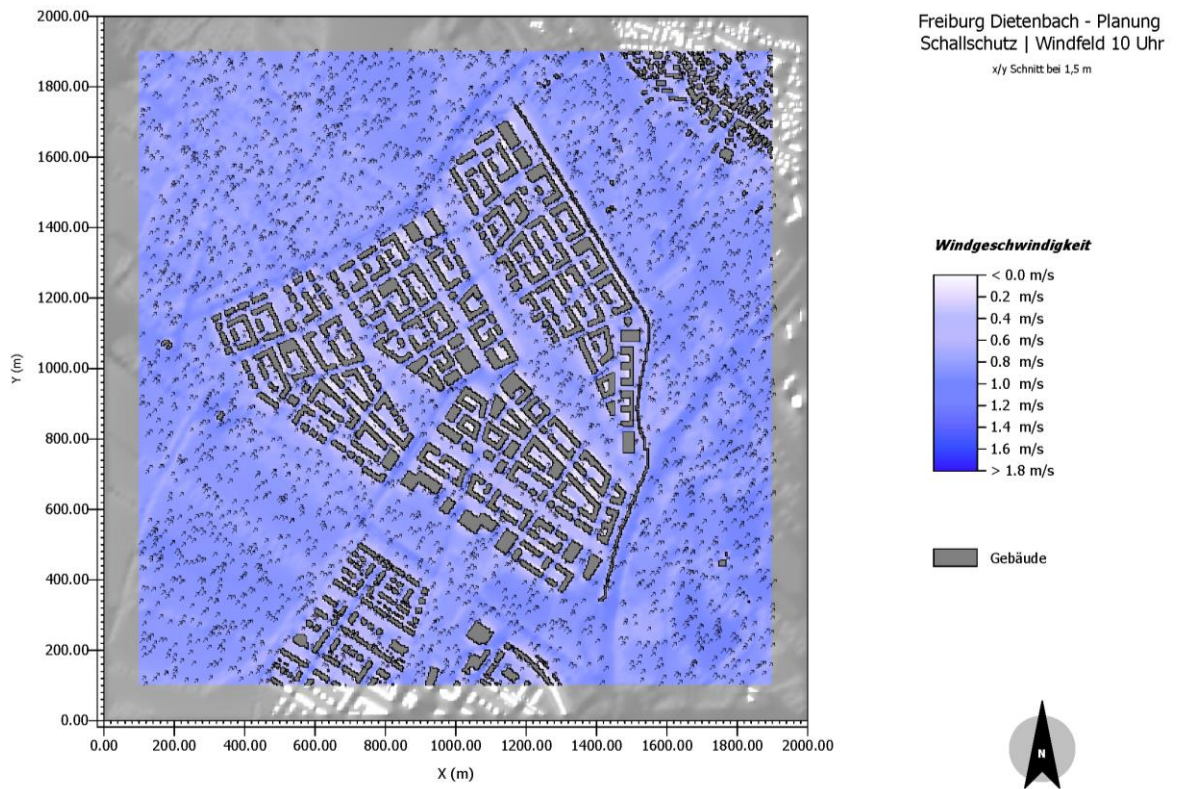


Abbildung 7: Detail: Lärmschutzwand; Windfeld 10 Uhr in einer Höhe von 1,5 m.

DETAIL, Lärmschutzwand, Freiburg Dietenbach – Windfeld 23 Uhr

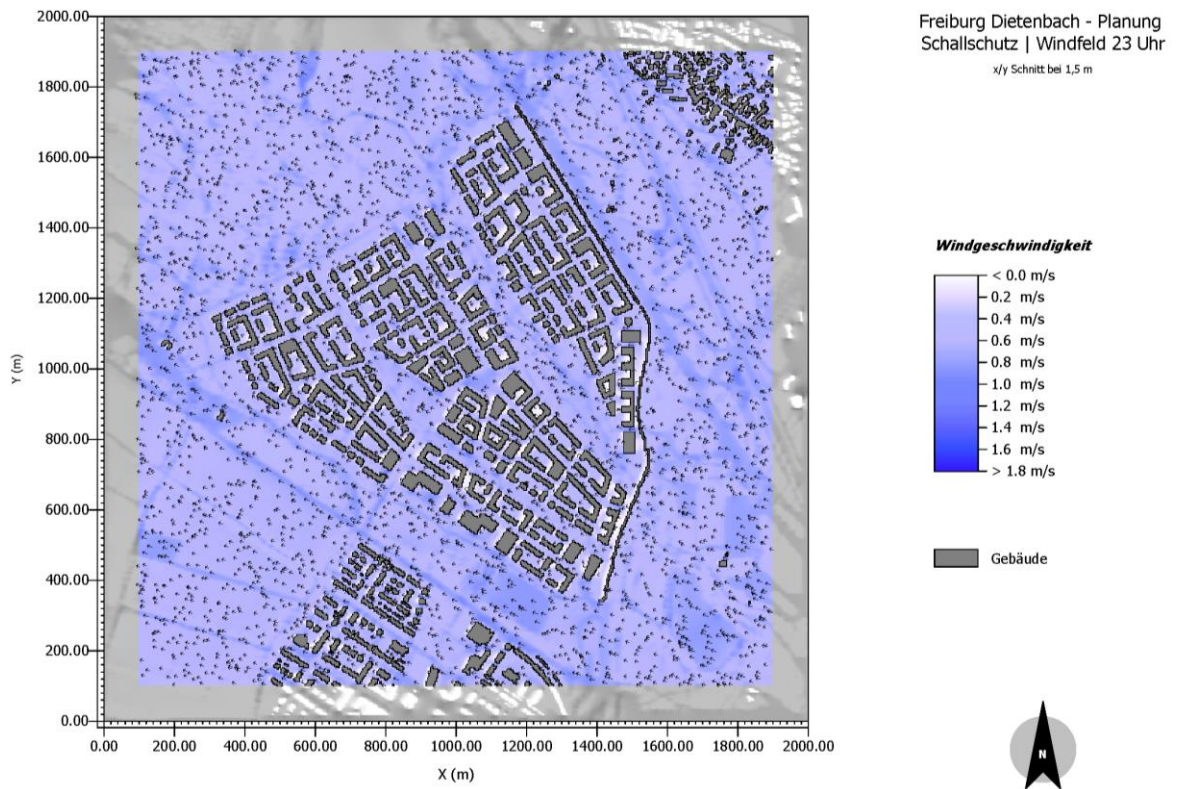


Abbildung 8: Detail: Lärmschutzwand; Windfeld 23 Uhr in einer Höhe von 1,5 m.

3.2 PET

Der Bewertungsindex PET vereint die Parameter Wind, mittlere Strahlungstemperatur, Lufttemperatur und Dampfdruck (Feuchte) und dient zur Charakterisierung von Freiräumen auf Grundlage des subjektiven Wärmeempfindens des Menschen (Bioklima), wie in Kapitel 2 ausführlich erläutert.

Die Abbildungen 9 und 10 zeigen die mikroklimatischen PET-Bedingungen zu einem bestimmten Zeitpunkt an dem potenziell mit der höchstmöglichen Belastung zu rechnen ist. Am 21. Juni um 14:00 Uhr MESZ können durch den Sonnenstand theoretisch die höchsten Strahlungswerte und damit verbunden die höchsten Temperaturen erreicht werden.

Bei dieser Wettersituation treten auch bei einer naturnahen Fläche ohne Verschattung hohe Werte auf. Dabei werden Werte zwischen 35 und 38° PET subjektiv als heiß empfunden und sorgen für starken Hitzestress (vgl. Abbildung 4). Erholungsräume sind aufgrund des hohen Sonnenstandes nur direkt unter den Baumkronen im Schattenbereich zu finden. Hier werden neutrale bis warme Kategorien erreicht, während sich an unbeschatteten, versiegelten Orten mit geringer Belüftungsintensität sehr hohe Werte einstellen. Diese sehr heiß wahrgenommenen Bereiche sind vor allem in Gebäudenähe zu finden. Südexponierte Bereiche, die zusätzlich von reflektierter Strahlung der künstlichen Oberflächen (Beton, Asphalt, etc.) geprägt sind, können extremen Hitzestress verursachen.

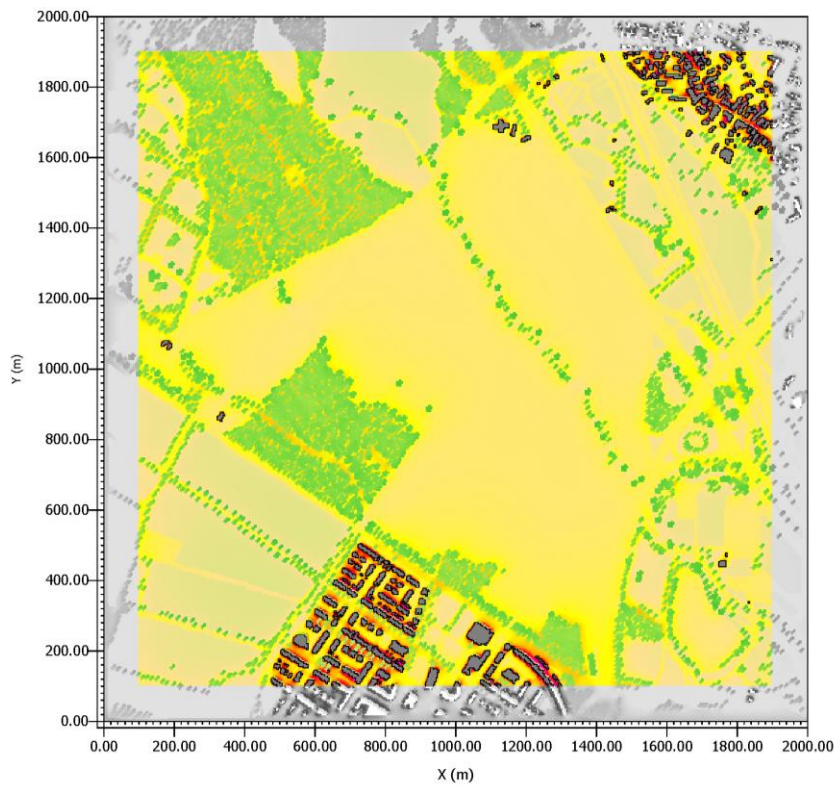
Die 14 Uhr Abbildungen zeigen allerdings nur punktuell diese Extremsituation und erlauben keinen Rückschluss, wie sich die unterschiedlichen Orte über den Tag hinweg thermisch verhalten. Da das Gebiet aber den gesamten Tag von Menschen genutzt wird, wurde zudem ein Tagesmittel (PET-Mittelwert 10-18Uhr) in Abbildungen 11 und 12 angefertigt, um einen Überblick der Gesamtbelastung zu erhalten. Bereiche, die hier in rötlichen Farben dargestellt sind, sind den gesamten Tag hohen Werten ausgesetzt und können als thermisch Hot-Spots gewertet werden. Aufgrund der guten Belüftungssituation und der ausreichenden Vegetationsausstattung sind diese kritischen Bereiche allerdings räumlich begrenzt und können bei einem städtischen Raum vertretbar bewertet werden. Zudem ist es aus humanbiometeorologischer Sicht zu empfehlen, den Menschen heterogene klimatische Situationen im Außenraum zu bieten, um eine Wahlmöglichkeit zu haben. Durch die Veränderung des Sonnenstandes im Laufe des Tages, kommt es insgesamt zu einer ausgewogenen Mischung an Temperaturbereichen.

Beeindruckend ist die örtliche Verbesserung der thermischen Bedingungen durch das hohe Vegetationsvolumen, vor allem entlang der Alleen und der Auenbereiche, die zudem von den großen Bestandsbäumen profitieren.

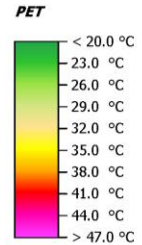
Ganzheitlich betrachtet werden in der Spitze hohe PET-Werte erreicht. Diese sind allerdings nur kleinräumig zu finden, und während der Tag-Situation gibt es ausreichend Erholungsräume, die in unmittelbarer Nähe zu erreichen sind*. Als Vorteil ist die gute Heterogenität der mikroklimatischen Bedingungen zu bewerten.

**Als Indikator für die Erreichbarkeit wurde eine Entfernung von 300m Luftlinie (entspricht bis zu 500m Fußweg) herangezogen.*

IST-SITUATION, Freiburg Dietenbach – PET 14 Uhr



Freiburg Dietenbach - Bestand
PET 14 Uhr
x/y Schnitt bei 1,5 m

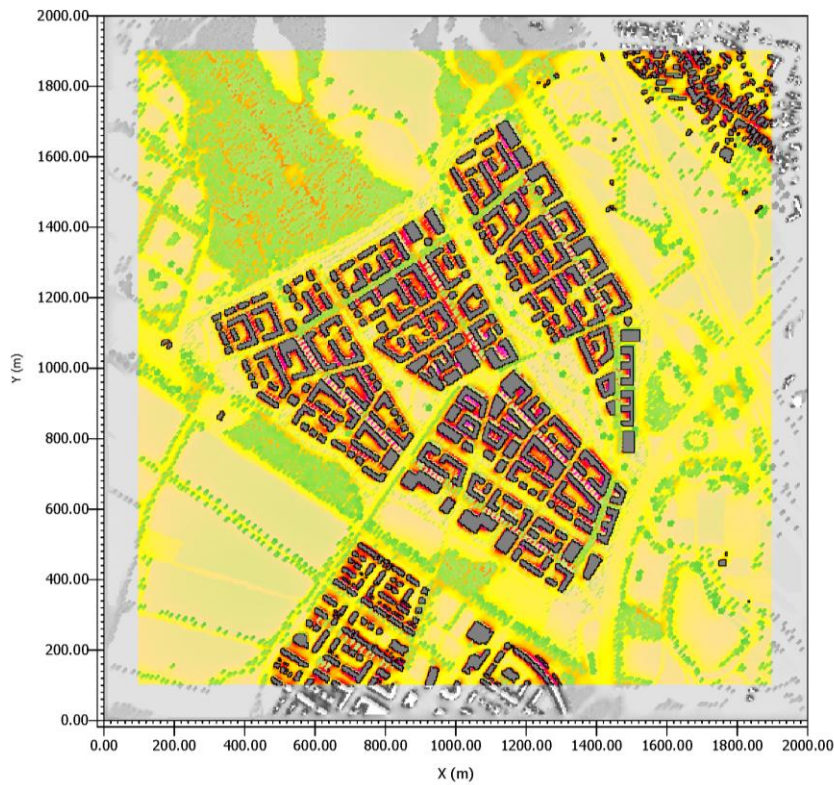


■ Gebäude

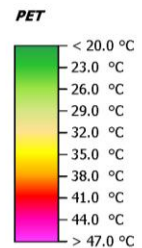


Abbildung 9: Ist-Situation; PET 14h in einer Höhe von 1,5 m.

PLAN-SITUATION, Freiburg Dietenbach – PET 14 Uhr



Freiburg Dietenbach - Planung
PET 14 Uhr
x/y Schnitt bei 1,5 m



■ Gebäude



Abbildung 10: Plan-Situation; PET 14h in einer Höhe von 1,5 m.

IST-SITUATION, Freiburg Dietenbach – PET Tagesmittel

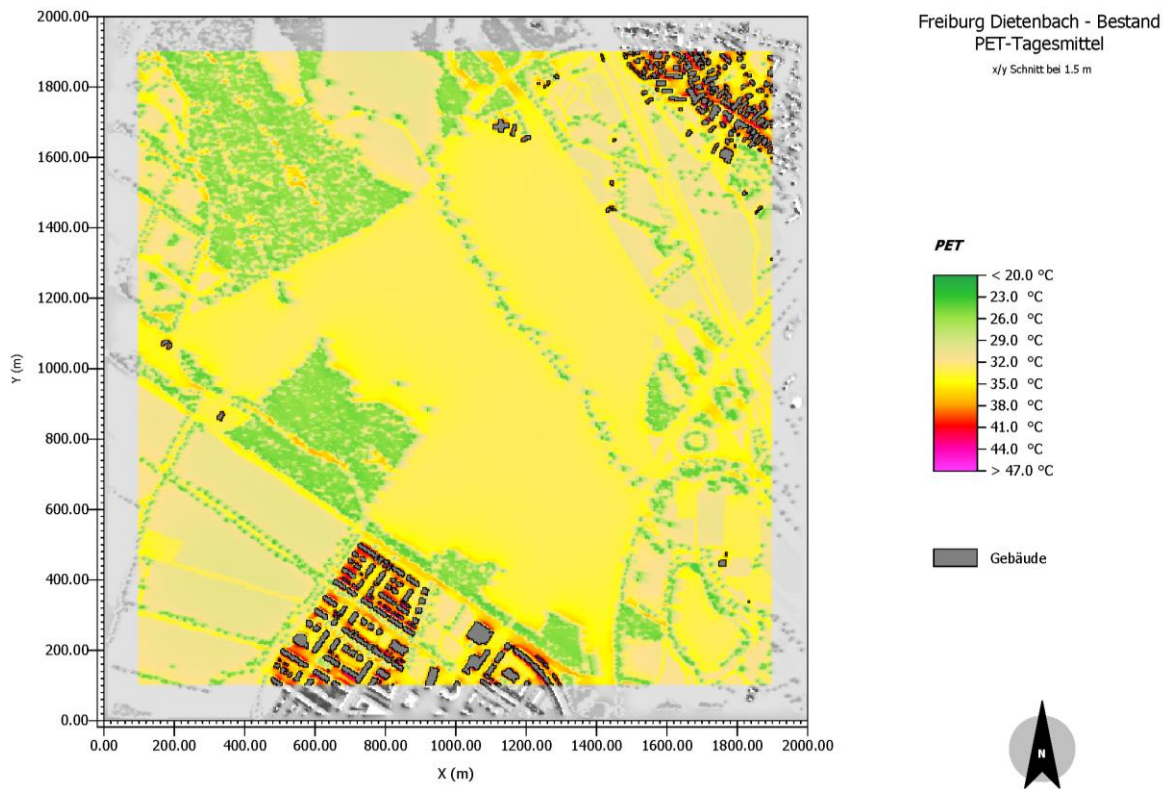


Abbildung 11: Ist-Situation; PET Tagesmittel in einer Höhe von 1,5 m.

PLAN-SITUATION, Freiburg Dietenbach – PET Tagesmittel

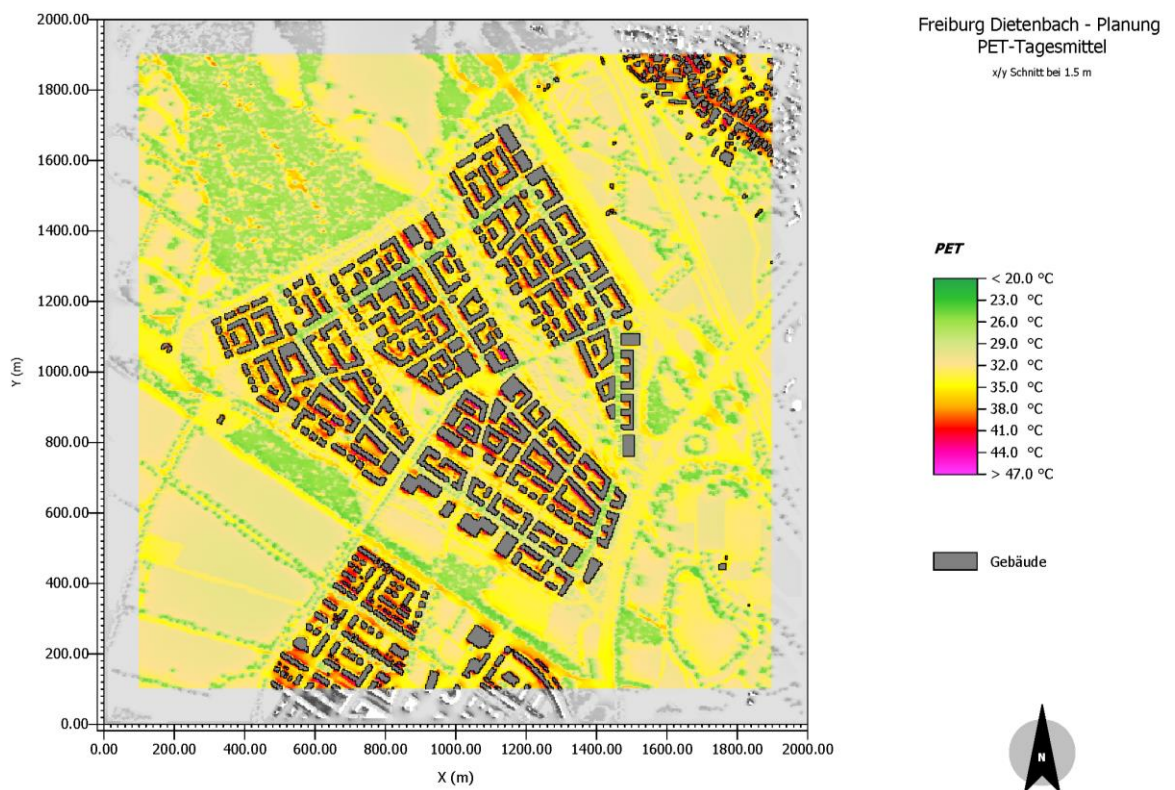


Abbildung 12: Plan-Situation; PET Tagesmittel in einer Höhe von 1,5 m.

3.3 Nächtliche Lufttemperatur

Um die thermische Belastung während der Nacht zu beurteilen, wird auf die Lufttemperatur in Bodennähe zurückgegriffen. Da die Veränderungen der Lufttemperatur aufgrund der Anströmung nur lokal im Plangebiet relevant sind, wurde eine Gegenüberstellung unterschiedlicher Temperaturkurven angefertigt. Dies ermöglicht eine Einordnung zwischen Naturraum, urbanem Gebiet und realen Messungen.

Für diesen Zweck wurde die Zelle 270/240 gewählt, die genau mittig den Marktplatz des neuen Stadtteils repräsentiert. Die Gitterzelle befindet sich in 1,5m Höhe und konnte in der Ist-Situation und der Plan-Situation ausgewertet und gegenübergestellt werden. Zur Einordnung und Validierung konnten zudem noch Daten unterschiedlicher Messkampagnen, die im Rahmen des Verbundprojektes „KLIMES“ im Jahr 2007 in den Stadtteilen Rieselfeld und Wiehre durchgeführt wurden, verwendet werden. Diese Werte sind miteinander vergleichbar, haben eine ähnliche zeitliche Auflösung und bilden demnach eine geeignete Grundlage, um sowohl im Plangebiet als auch im Vergleich zu anderen Stadträumen Freiburgs, Aussagen zu treffen.

Aus Abbildung 13 geht hervor, dass die Maxima am Tage geringere Unterschiede aufweisen. Beachtet werden muss die nächtliche Abkühlung, welche die Kompensation zur Bebauung darstellt. Hier wird durch die Bebauung eine Erhöhung der Lufttemperaturen bewirkt.

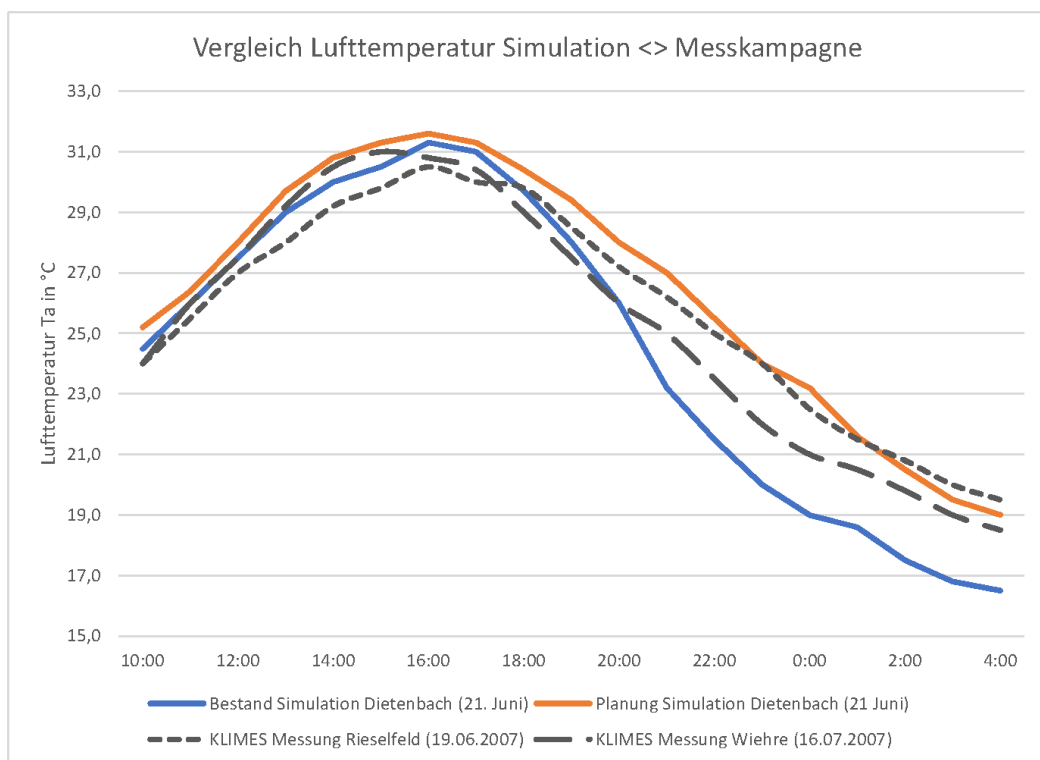


Abbildung 13: Diagramm Gitterzelle 270/240 (Marktplatz der Simulation Dietenbach) in einer Höhe von 1,5 m und Vergleichsmessungen des Projektes „KLIMES“.

3.4 Zukünftige klimatische Situation

Neben der Einordnung der klimatischen Verhältnisse des neuen Stadtteils, unter Berücksichtigung des derzeitigen Klimas, wurden auch Berechnungen der zukünftigen klimatischen Verhältnisse angefertigt.

Hierzu wurde auf die gleiche Datenquelle, wie im Klimaanpassungskonzept der Stadt Freiburg im Breisgau zurückgegriffen. Die mittelfristige Zukunft (um 2050) wurde durch die Trends der EURO-CORDEX (Coordinated Downscaling Experiment - European Domain) Modellläufe abgebildet.

In Abbildung 14 wurde erneut die Gitterzelle „Marktplatz“ (vgl. Abb. 13) für die Auswertung herangezogen und es zeigt sich eine Temperaturerhöhung zur Mittagszeit von etwa 1,2 K, die am Vormittag und gegen Abend etwas geringer ausfällt.

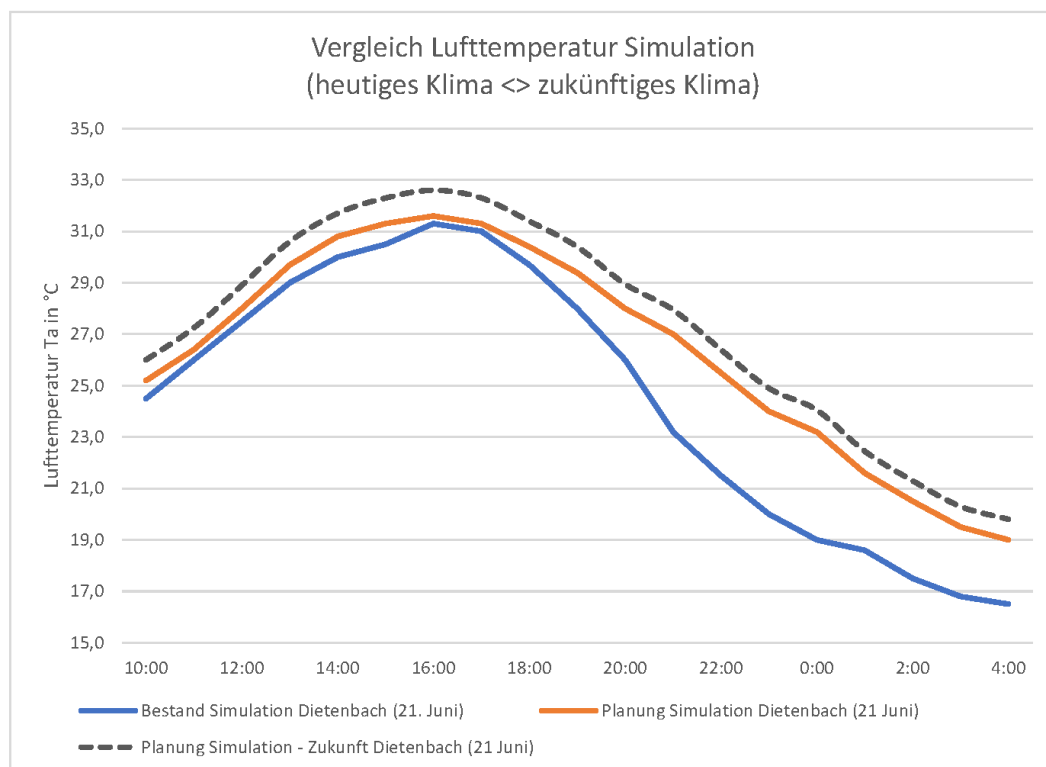


Abbildung 14: Diagramm Gitterzelle 270/240 (Marktplatz der Simulation Dietenbach) in einer Höhe von 1,5 m und die Auswirkungen des prognostizierten Klimawandels.

Um neben dieser punktuellen Auswertung eine flächige Verteilung der zukünftigen klimatischen Werte zu erhalten, wurden die Daten mit den PET-Tagesmittelkarten statistisch ausgewertet, und aufgrund der Unsicherheiten in einer gröberen horizontalen Auflösung angefertigt.

Sehr gut lassen sich hier die schon im Klimaanpassungskonzept erwähnten Trends nachvollziehen. Im Vergleich zum heutigen Klima werden zukünftig vor allem verdichtete Bereiche und hochversiegelte Bereiche deutlich stärker belastet sein, während naturnahe Flächen, auch unter Annahme einer längeren Trockenzeit und ausgedehnteren Hitzeepisoden, ihre kühlende Funktion noch aufrechterhalten können.



Abbildung 15: Vergleich heutiges Klima <=> zukünftiges Klima.

4. Ergebnisse (Teil B):

Planerische Hinweise zur Optimierung des städtebaulichen und freiräumlichen Entwurfs

1. Klimatische Auswirkungen des neuen Stadtteils auf die Umgebung bzw. die Gesamtstadt

Frage: Wie wirkt sich der städtebauliche Entwurf für den neuen Stadtteil klimatisch auf die Umgebung und die Gesamtstadt aus (Vergleich Ist-Situation mit neuer Bebauung für die heutige und die zukünftige klimatische Situation)?

Weder für die Gesamtstadt noch für die angrenzenden Quartiere ist mit einer signifikanten Verschlechterung zu rechnen. Aufgrund der Lage des Plangebietes im stadtklimatischen Kontext, sind keine negativen Auswirkungen während der besonders relevanten Nachtstunden zu erwarten. Während der Tagstunden sind allenfalls Beeinträchtigungen der Belüftung des Stadtteils Lehen möglich, die allerdings, gestützt durch die Berechnungen, ebenfalls zu vernachlässigen sind.

Frage: Welche Optimierungsmöglichkeiten an der städtebaulichen / freiräumlichen Struktur in Bezug auf den übergeordneten Kontext können benannt werden, ohne den städtebaulichen Entwurf grundsätzlich in Frage zu stellen? Wie ist in diesem Zusammenhang die Ausrichtung der Gebäude / der Baublöcke zu beurteilen?

Strukturell im mesoklimatischen (stadtklimatischen) Kontext besteht kein Optimierungsbedarf. Lokal betrachtet, im kleinräumigen Gebäudeumfeld ist dies möglich, das Optimierungspotenzial ist allerdings ebenfalls sehr kleinräumig zu erwarten.

Frage: Wie wird die Funktion der vorgeschlagenen Ventilationsbahnen (insbesondere Gewässer Dietenbach-Korridor) beurteilt? Bestehen Optimierungsmöglichkeiten?

Ausrichtung und Querschnitt wurden in Kapitel 3.1 als gut bewertet. Es besteht kein Optimierungsbedarf.

Frage: Wie ist die Ausbildung der Siedlungsränder insbesondere in Nachbarschaft zum Stadtteil Rieselfeld hinsichtlich des Wärmeinsel-Effektes zu werten? Bestehen weitere Optimierungsmöglichkeiten / -erfordernisse den Effekt zu mildern?

Zum Stadtteil Rieselfeld besteht ausreichend Abstand, der zudem mit schattenspendenden Bäumen und großzügigem Vegetationsanteil versehen ist. Eine Ausweitung/ Verbindung einer Wärmeinsel ist nicht zu erwarten, dies wird auch durch die vorherrschende Anströmung nicht begünstigt.

Frage: Wie wird die Verteilung der Geschossigkeiten im neuen Stadtteil, hinsichtlich ihrer klimatischen Auswirkungen, im übergeordneten Kontext beurteilt?

Die Geschossigkeit im Zentrum des untersuchten Gebietes mit der Gebäudedichte und -höhe ist als problematisch zu werten. Hier werden hohe PET-Werte berechnet, die bei der Zukunftsbetrachtung noch weiter ansteigen. Die Punkthochhäuser im Gebiet verursachen keine klimatischen Probleme, allein der Windkomfort im direkten Gebäudeumfeld wird verschlechtert.

Frage: Werden durch die Baumassenverteilungen Barrierewirkungen erzeugt? Wie können ggfs. Verbesserungen erreicht werden?

Ein derartiges Bauprojekt verursacht stets Barrieren, die das Windfeld nachhaltig verschlechtern. Allerdings ist die Ausrichtung der Gebäudestrukturen gut gewählt, so dass

bei den unterschiedlichen Anströmungen, stets ein erforderliches Minimum an Belüftung berechnet wurde.

2. Binnenklimatische Situation im neuen Stadtteil

Frage: Wie ist der Eintrag von Kaltluft aus umliegenden Bereichen zu beurteilen und wie sind die Lage, die Größe und die Verteilung der Grünflächen innerhalb des Plangebiets im Hinblick auf den nächtlichen Kaltfluthaushalt zu bewerten?

Entlang der nördlichen und östlichen Grenze des Untersuchungsgebietes ist zum einen die Lärmschutzwand und die jeweils dahinterliegende breite Straße eine Barriere für den kleinräumigen Kaltluftaustausch. Zum anderen befinden sich entlang der südlichen und westlichen Grenze dichte Baumbestände, die eine ähnliche Barrierewirkung für kleinräumige und schwache Kaltluftbewegungen, ohne nennenswerte topografische Versprünge, darstellen. Ein lokaler Kaltlufteintrag, der direkt angrenzenden Flächen ist demnach nicht zu erwarten, jedoch findet in den späteren Nachtstunden durchaus der Einfluss des Höllentälers, wie oben beschrieben, statt.

Die Verteilung der Grünflächen im Plangebiet ist sinnvoll gelungen. Die Ventilationsbahnen nehmen die Anströmung des Höllentälers auf und sorgen auch intern, bereits in den frühen Abendstunden, für lokale Kaltluft, die langsam in die bebauten Bereiche hineinwirken kann. Begrünte Innenhöfe haben ähnliche, lokal begrenzte Wirkung.

Frage: Wie sind die vorgeschlagenen Baustrukturen (insbesondere Blockrandbebauung) und die im Entwurf eventuell vorgesehenen Öffnungen der Baublöcke (abhängig von den Strukturen des Siegerentwurfs), hinsichtlich der nächtlichen Abkühlung zu bewerten?

Je „geschlossener“ die Baustruktur ist, umso eher ist die Wärme in den Innenräumen „gefangen“. Dies gilt vor allem in den zentralen Bereichen. Bei geringen Durchgangsbreiten kann die Belüftung nicht im Inneren wirken, Hitze kann somit schlecht abtransportiert werden. Offene Strukturen sind hier bevorteilt, bieten aber weniger Schutz gegen Lärm, so dass ein Kompromiss zwischen den beiden Belangen gefunden werden muss. Für die Bebauungsstruktur entlang der Grünflächen (Dietenbach-Korridor), aber auch nördlich der großen Grünfläche im Anschluss an den Marktplatz, besteht die Optimierungschance, die Blocköffnungen zu variieren, um die Kaltluftpotenziale effektiver zu nutzen. Hierzu können Detailbetrachtungen wertvolle Informationen liefern.

Frage: Welche Optimierungsmöglichkeiten werden in Bezug auf die Durchlüftung des Stadtteils gesehen?

Wie bereits beschrieben, ist sind die Rahmenbedingungen als gut belüftet zu bewerten, jedoch müssen diese von der Baustruktur aufgenommen werden. Bebauungsränder sollten in Abhängigkeit der Windrichtung (Hauptwindrichtung und nächtliche Abflussrichtungen) porös gestaltet werden. Kleinräumige Öffnungen bieten die Möglichkeit schon früher die positive Wirkung der Kaltluft zu nutzen, und können unabhängig vom großräumigen Belüftungssystem wirken.

Frage: Sind Wärmeinseln am Tage und / oder in der Nacht im neuen Stadtteil zu erwarten? Wenn ja, welche Minderungsmöglichkeiten werden gesehen?

Wärmeinseln sind zu erwarten. Diese zeigten sich auch schon in der Simulationsvariante mit landwirtschaftlichen Flächen. Thermische Hot-Spots im Sommer sind während der

Tagstunden nur durch eine gute Belüftung und vor allem durch Verschattung abzumildern. Problembereiche sind versiegelte Flächen mit fehlender Vegetation und geringem Belüftungspotenzial. Diese Situationen sind demnach auf den Plätzen zu finden. Der zentrale Marktplatz ist gut zwischen den Freiräumen integriert und kann stets von der Belüftung profitieren. Kleinere versiegelte Freiräume, Straßenräume oder Innenhöfe wärmen sich stärker auf, diese Wärmeinseln sind allerdings räumlich begrenzt, und auch nicht den gesamten Tagesverlauf hoch belastet.

Lediglich die Simulation der Zukunft, unter Annahme der Klimaszenarien, zeigt vermehrte Wärmeinseln in den zentralen, verdichteten Bereichen.

Die Wärmeinsel weist eine mittlere Intensität auf und kann durch temporäre Verschattungsoptionen wie Sonnensegel etc. abgemildert werden. Vegetationsschatten ist aus Sicht der Biometeorologie stets zu bevorzugen, eine Prüfung auf weitere Bäume in den Belastungszonen, vor allem im Bereich sensibler Nutzungen, wird empfohlen.

Frage: Welche Optimierungsmöglichkeiten in Bezug auf die binnenklimatische Situation können für die Bau- und Freiraumstrukturen benannt werden, ohne den städtebaulichen Entwurf grundsätzlich in Frage zu stellen?

Die bereits genannten Optimierungsmöglichkeiten werden im kleinräumigen Maßstab empfohlen. Dies bezieht sich auf die Öffnungen der Baustruktur und die lokale Optimierung von Baumstandorten und kann für den jeweiligen Einzelfall untersucht werden.

Frage: Wie ist die Versorgung mit öffentlichen und privaten Freiflächen (insbesondere der Grünflächen mit der Funktion von Entlastungsflächen) zu bewerten?

Das Gesamtgebiet ist geprägt von einer ausgewogenen Varianz unterschiedlicher Klimatope. Die Verteilung ist ebenfalls gut gewählt und keine Bereiche sind unterversorgt, so dass aus jeder Wohnung in fußläufiger Entfernung ein Erholungsort zu finden ist.

Frage: Wie sind die fußläufigen Wegeentfernungen aus den bebauten Bereichen zu diesen Flächen zu beurteilen (Erreichbarkeiten)?

Im Gebiet sind ausreichend Flächen in guter Erreichbarkeit aufzufinden. Teilweise bieten sich sogar die Flächen in den angrenzenden Außenbereichen an, wie die südlichen und westlichen Waldgebiete. Als Indikator der Erreichbarkeit wurde eine Entfernung von 300m Luftlinie (entspricht bis zu 500m Fußweg) herangezogen.

Frage: Wie ist der vorgeschlagene Versiegelungsgrad des neuen Stadtteils aus klimatischer Sicht zu bewerten?

Lediglich in den zentralen Bereichen sind klimatische Problemzonen zu erwarten, die sich bei der Zukunftsbetrachtung besonders abzeichnen. Diese Flächen geringer zu versiegeln, würde eine Entlastung herbeiführen. Dies gilt sowohl für den thermischen Haushalt als auch für die Kompensation möglicher Extremniederschläge.

Frage: Welche klimatisch wirksamen Optimierungsmöglichkeiten bestehen hinsichtlich der Freiräume und der Verkehrsflächen (z.B. durch ergänzende Begrünungsmaßnahmen, Beschaffenheit der Oberflächen oder auch den Einsatz von Wasserelementen im öffentlichen Raum)?

Die positive Wirkung von Straßenbäumen ist in den Simulationen eindrucksvoll zu erkennen. Die Alleen sind gut beschattet und zeichnen sich durch ein eigenes, angenehmes Klima aus. Aufgrund der geringen Verkehrsbewegungen ist nicht mit einer Ansammlung von

Luftschadstoffen unter den Baumkronen zu rechnen, so dass diese Planung als gelungen angesehen werden kann. Weitere großkronige Bäume sorgen für entsprechenden Schattenwurf.

Der Einsatz von Wasserelementen wird in der Stadtklimatologie als begrenzt wirksam angesehen. Nur Wasserspeier mit kaltem Frischwasser, und einer entsprechenden Vernebelung, können lokal abmildernd wirken. Allerdings sind die subjektive Wirkung und die Erfrischungsmöglichkeit nicht zu unterschätzen.

Frage: Wie ist der Einsatz der im Entwurf bisher angedachten Verschattungselementen (insbes. Laubbäume in Form von Alleen, Baumgruppen, Einzelbäume) zu beurteilen. Wo gibt es Optimierungsmöglichkeiten?

Antworten wurden bereits in oben genannten Punkten diskutiert.

3. Gebäudeebene

Frage: Welche weiteren positiven klimatischen Auswirkungen (in Ergänzung zum zweiten Teil der Klimasimulation) können durch Dach- und Fassadenbegrünungen an den Gebäuden erzielt werden?

Eine Dachbegrünung wirkt im gesamten Wärmehaushalt des Stadtklimas, nicht aber bei einer betrachteten Höhe von 1,5 - 2 m über dem Erdboden. Ein positiver und kühlender Effekt ist hier also kaum zu erwarten. Allerdings liegen die Vorteile einer ausreichend dimensionierten Dachbegrünung im Hinblick von Starkregenereignissen, als Puffer für die erste Abflussspitze, sowie auf den energetischen Bedarf des Gebäudes und dem damit verbundenen Klimaschutzaspekt.

Frage: Wie ist der im Siegerentwurf vorgeschlagene Anteil der Dachflächen (für Dachnutzung, Photovoltaik und Gründach) aus stadtklimatischer Sicht zu werten?

Aus technischer Sicht ist im Regelfall Photovoltaik mit einem Gründach kombinierbar. Aus Klimaschutzgründen ist dies zu empfehlen, aus mikroklimatischer Sicht, wie bereits beschrieben, sind kaum Effekte zu erwarten.

Frage: Wie wirken sich die vorgeschlagenen (voraussichtlich großen) Flächenanteile für Photovoltaik auf mögliche Dachflächen- und Fassadenbegrünungen aus und welche Nutzungskonflikte sind eventuell zu erwarten?

Derzeit sind keine Konflikte mit klimatischen Wechselwirkungen zu erwarten.

Frage: Wie können Photovoltaikanlagen und Begrünungen grundsätzlich in Ausgleich bzw. sogar miteinander verbunden werden (schematische Lösungsansätze, technische Möglichkeiten)?

Eine Kombination aus Photovoltaikanlage und Gründach ist möglich, bietet im allgemeinen Vorteile, muss aber mit dem Anlagenplaner individuell am jeweiligen Objekt abgestimmt werden.

Frage: Wie kann eine beispielhafte Lösung für die Verbindung (großflächiger) Photovoltaikanlagen am Gebäude mit umfassenden Dach- und Fassadenbegrünungen aussehen? Hierfür können Best-Practice-Beispiele aus anderen Städten herangezogen werden.

Photovoltaikanlagen haben keine klimatisch ausgleichende Wirkung, Dachbegrünungen sind nur begrenzt wirksam.

Frage: Welche weiteren Möglichkeiten bestehen ggfs. auf Gebäudeebene für klimatische Optimierungen (z.B. durch Oberflächenmaterialien und die Auswirkungen von Farbgestaltung – hell/dunkel, mobile Verschattungselemente etc.)?

Auch hier ist die Wirksamkeit begrenzt. Eine helle Farbgebung ist für das Innenklima positiv, kann jedoch für den Außenraum Probleme schaffen (Reflexion der Strahlung). Verschattungselemente und Vegetation an Fassaden sind zu bevorzugen. Dies sollte in Abhängig der durchgeführten Berechnungen realisiert werden.

Frage: Wie wird die vorgeschlagene Geschossigkeit der Gebäude - auch in Verbindung mit ggfs. vereinzelt höheren Gebäude / Hochhäusern - in Bezug auf die Verschattung und der Verringerung der sommerlichen Hitzebelastung bewertet?

Vor allem die Hochhäuser sind in Bereichen angeordnet, wo aufgrund des Sonnenstandes kaum Auswirkungen auf weitere Bebauung zu erwarten sind. Der Verschattungsanteil ist zwar entsprechend hoch, allerdings mit deutlichen Veränderungen im Tagesverlauf durch den singulären Hochpunkt verknüpft.

Die Wärmespeicherung der Gebäude wirkt sich vor allem nachts aus. Wie in Abbildung 17 dargestellt, sollten an den zu erwartenden Hot Spots Entsiegelungsmaßnahmen, und an den offenen Plätzen die Möglichkeit für Tagschatten geprüft werden.

5. Fazit

Insgesamt betrachtet ist die Lage des neuen Stadtteils Dietenbach im Kontext des Freiburger Stadtklimas und unter der Fragestellung Klimaanpassung und Klimaschutz als unbedenklich zu bewerten. Vor allem die verdichteten Stadträume der Innenstadt werden nicht weiter belastet, und auch die direkt angrenzenden Nachbarschaften werden keine klimatischen Nachteile erfahren.

Das Gebiet nimmt die lokalen Zirkulationen durch eine geeignete Baustruktur sowohl am Tag als auch bei der Nachtanströmung gut auf. Das Gebiet ist gut belüftet, windstille Orte sind bei Bebauung nie zu verhindern und finden sich vor allem in den (semi-)geschlossenen Baublöcken. Hier sollten für Verschattung oder alternative Blocköffnungen weitere Detailuntersuchungen angefertigt werden, um eine Optimierung anzustreben.

Die nächtliche Situation ist vergleichbar mit anderen, ähnlichen Gebieten wie dem angrenzenden Stadtteil Rieselfeld, und konnte über Vergleichsmessungen eindrücklich bestätigt werden.

Aufgrund des großen Untersuchungsraums konnten keine gebäudespezifischen Aussagen quantitativ erhoben werden. Kleinräumige Optimierungen benötigen Detailuntersuchungen, für die die Grunddaten durch diese Analyse bereitstehen.

Aus stadtklimatischer Sicht bestehen bei Prüfung der Optimierungsempfehlungen keine Einwände. Eine Intensivierung der Vegetation, um auch die tagsüber vorhandene Einstrahlung zu reduzieren, ist wichtig.

Die Klimaschutzaktivitäten werden begrüßt und sind mit dem Stadtklima sehr gut in Einklang gebracht.

Offen bleibt die Frage nach den detaillierten Maßnahmen in der Freiraumplanung. Die im Rahmen des Klimawandels prognostizierten Hitzeperioden wirken sich im Stadtteil naturgemäß ebenfalls aus, und sollten vorsorglich mit räumlich geeigneten Strategien berücksichtigt werden. Dazu können kleinräumig durchgeführte Modellierungen helfen, die sich auf die vorhandenen Rahmenbedingungen stützen.

Demnach ist sicherzustellen, dass die Weiterentwicklungen der Planung die oben beschriebenen wie Struktur und Freiraumaufteilung beibehalten, so dass die positiven stadtklimatischen Bedingungen erhalten bleiben.

6. Literatur

Brandenburg, C., Matzarakis, A. (2007)

Das thermische Empfinden von Touristen und Einwohnern der Region Neusiedler See. In: Matzarakis, A., Mayer, H. (Eds.), Proceedings zur 6. Fachtagung BIOMET. Ber. Meteor. Inst. Univ. Freiburg Nr. 16, 67-72

Bruse, M.; Fleer, H. (1998)

Simulating surface- plant-air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model, Environmental Modelling and Software, 13, 373–384.

Höppe, P. (1999)

The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. Int. J. Biometeorol. 43, 71-75.

Jendritzky, G.; Menz, G.; Schirmer, H.; Schmidt-Kessen, W. (1990):

Methodik zur raumbezogenen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen (Fortgeschriebenes Klima-Michel-Modell). Beitr. ARL Band 114.

Katzschner, L.; Katzschner, A.; Kupski, S. (2010)

Abschlußbericht des BMBF Verbundprojekts KLIMES. Teilvorhaben Planerische Bewertung der kleinräumigen Stadtklimaanalyse zur Umsetzung der Maßnahmen „Anpassung an Klimaextreme“, Universität Kassel.

Verein Deutscher Ingenieure (2019):

Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung der thermischen Komponente von Klima Richtlinie 3787 Bl.2, Düsseldorf

7. Anhang

- WINDFELD Freiburg Dietenbach – Bestand 10 Uhr
- WINDFELD Freiburg Dietenbach – Planung 10 Uhr
- WINDFELD Freiburg Dietenbach – Planung, Schallschutz 10 Uhr
- WINDFELD Freiburg Dietenbach – Planung, Schallschutz 23 Uhr
- PET Freiburg Dietenbach – Bestand 14 Uhr
- PET Freiburg Dietenbach – Planung 14 Uhr
- PET Freiburg Dietenbach – Bestand Tagesmittel
- PET Freiburg Dietenbach – Planung Tagesmittel