

**Auftraggeber:** Stadt Weil am Rhein  
Stadtbauamt  
Rathausplatz 1  
79576 Weil am Rhein

## **Stadtklimaanalyse für die Stadt Weil am Rhein**

**Projekt-Nr.:** 20-09-01-FR  
**Umfang:** 122 Seiten  
**Datum:** 20.12.2021

**Bearbeiter:** Dr. Christine Ketterer, M.Sc. in Climate Sciences  
Dr. Tobias Gronemeier, M.Sc. Meteorologie  
Dr. Rainer Röckle, Diplom-Meteorologe  
Dr. Markus Hasel, Diplom-Meteorologe

**iMA Richter & Röckle GmbH & Co. KG**  
Eisenbahnstraße 43  
79098 Freiburg

**Tel.:** 0761/ 202 1662  
**Fax:** 0761/ 202 1671  
**E-Mail:** [ketterer@ima-umwelt.de](mailto:ketterer@ima-umwelt.de)





## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>10</b>
1.1	Gunstfaktoren	11
1.2	Belastungen	11
1.3	Maßnahmenempfehlungen	12
<b>2</b>	<b>Einführung und Aufgabenstellung</b>	<b>13</b>
<b>3</b>	<b>Bestandsbeschreibung</b>	<b>15</b>
3.1	Örtliche Verhältnisse	15
3.2	Klimatische Einordnung der Stadt Weil am Rhein	18
3.3	Strömungsverhältnisse	21
<b>4</b>	<b>Auswirkungen des Klimawandels</b>	<b>25</b>
4.1	Klimamodellierung	26
4.2	Lufttemperatur	28
4.3	Niederschlag	29
4.4	Klimatologische Kenntage	32
4.4.1	Heiße Tage, Sommertage und tropische Nächte	32
4.4.2	Frosttage	33
4.4.3	Hageltage	34
<b>5</b>	<b>Vorgehensweise</b>	<b>38</b>
<b>6</b>	<b>Datengrundlage und Methoden</b>	<b>40</b>
6.1	Daten	40
6.1.1	Topographie	40
6.1.2	Nutzungsstruktur	40
6.1.3	Messdaten und Klimadaten	42
6.2	Methoden	42
6.2.1	Mesoskalige Simulation mit FITNAH	42
6.2.2	Mikroskalige Simulation mit PALM-4U	44
6.2.3	Human-Biometeorologie	46
6.3	Ältere Gutachten	48
<b>7</b>	<b>Ergebnisse der Simulationen</b>	<b>52</b>
7.1	Kaltluftströmung	52
7.1.1	Entstehung von Kaltluftabflüssen	52
7.1.2	Zeitlicher Verlauf von Kaltluftabflüssen	53
7.1.3	Häufigkeit von Kaltluftabflüssen	53
7.1.4	Ergebnisse der Modellierung	54
7.2	Thermische und human-biometeorologische Verhältnisse	58
7.2.1	Human-biometeorologische Verhältnisse	59
7.2.2	Urbane Wärmeinsel	62
7.3	Stadtgrün und Klimavielfalt	64
7.4	Sensitivität	72
7.5	Betroffenheit	74
<b>8</b>	<b>Klimaanalysekarte</b>	<b>77</b>

<b>9</b>	<b>Planungshinweiskarte</b> .....	<b>78</b>
<b>10</b>	<b>Untersuchung verschiedener Planflächen</b> .....	<b>81</b>
10.1	Simulationsergebnisse.....	83
<b>11</b>	<b>Handlungsstrategien für die Stadtplanung</b> .....	<b>92</b>
11.1	Maßnahmen zur Verbesserung und Erhaltung der Durchlüftung .....	92
11.2	Maßnahmen zur Reduktion der thermischen Belastung.....	93
<b>12</b>	<b>Literatur</b> .....	<b>98</b>
<b>A1</b>	<b>Daten und Methodik</b> .....	<b>100</b>
A1.1	Aufbereitung der Eingangsdaten für FITNAH.....	100
A1.2	Methodik.....	100
A1.2.1	Das prognostische Modell FITNAH .....	100
A1.2.2	Berechnung der Empfindlichkeit.....	101
A1.2.3	Berechnung der Betroffenheit.....	101
A1.2.4	Identifikation der belüftungsrelevanten Strömungssysteme .....	104
<b>A2</b>	<b>Beschreibung der Klimatope</b> .....	<b>106</b>
<b>A3</b>	<b>Planungshinweiskarte unter Berücksichtigung des Klimawandels</b> .....	<b>120</b>

## Glossar

Fachbegriffe, die im Glossar genauer erläutert werden, sind bei ihrer ersten Erwähnung im Text mit „\*“ gekennzeichnet.

<b>Advektion</b>	Horizontales Heranführen von Luftmassen.														
<b>Aerotop</b>	Aerotope bezeichnen räumliche Einheiten mit gleichartigen lufthygienischen Verhältnissen														
<b>Anthropogen</b>	Durch den Menschen verursachte Einflüsse.														
<b>Atmosphärische Gegenstrahlung</b>	Der Anteil der langwelligen Strahlung, der aus der Atmosphäre in Richtung der Erde gerichtet ist.														
<b>Ausbreitungsklassen</b>	Die Ausbreitungsklasse nach Klug-Manier charakterisiert die thermische Schichtung der unteren Atmosphäre. Die thermische Schichtung bestimmt neben der Bodenrauigkeit die atmosphärische Turbulenz, die ein Maß für das "Verdünnungsvermögen" der Atmosphäre ist.														
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Klasse</th> <th>Beschreibung</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>I</td> <td>sehr stabile atmosphärische Schichtung, ausgeprägte Inversion, geringes Verdünnungsvermögen der Atmosphäre</td> </tr> <tr> <td>II</td> <td>stabile atmosphärische Schichtung, Inversion, geringes Verdünnungsvermögen der Atmosphäre</td> </tr> <tr> <td>III<sub>1</sub></td> <td>stabile bis neutrale atmosphärische Schichtung, zumeist windiges Wetter</td> </tr> <tr> <td>III<sub>2</sub></td> <td>leicht labile atmosphärische Schichtung</td> </tr> <tr> <td>IV</td> <td>mäßig labile atmosphärische Schichtung</td> </tr> <tr> <td>V</td> <td>sehr labile atmosphärische Schichtung, hohe Sonneneinstrahlung, starke vertikale Durchmischung der Atmosphäre</td> </tr> </tbody> </table>	Klasse	Beschreibung	I	sehr stabile atmosphärische Schichtung, ausgeprägte Inversion, geringes Verdünnungsvermögen der Atmosphäre	II	stabile atmosphärische Schichtung, Inversion, geringes Verdünnungsvermögen der Atmosphäre	III <sub>1</sub>	stabile bis neutrale atmosphärische Schichtung, zumeist windiges Wetter	III <sub>2</sub>	leicht labile atmosphärische Schichtung	IV	mäßig labile atmosphärische Schichtung	V	sehr labile atmosphärische Schichtung, hohe Sonneneinstrahlung, starke vertikale Durchmischung der Atmosphäre
Klasse	Beschreibung														
I	sehr stabile atmosphärische Schichtung, ausgeprägte Inversion, geringes Verdünnungsvermögen der Atmosphäre														
II	stabile atmosphärische Schichtung, Inversion, geringes Verdünnungsvermögen der Atmosphäre														
III <sub>1</sub>	stabile bis neutrale atmosphärische Schichtung, zumeist windiges Wetter														
III <sub>2</sub>	leicht labile atmosphärische Schichtung														
IV	mäßig labile atmosphärische Schichtung														
V	sehr labile atmosphärische Schichtung, hohe Sonneneinstrahlung, starke vertikale Durchmischung der Atmosphäre														
<b>Autochthone Wetterlagen</b>	Austauscharme Strahlungswetterlagen (Hochdruckgebiet), bei denen sich lokalklimatische Besonderheiten im Mikro- und Mesoklima ausprägen.														
<b>Belastungsraum</b>	→ Wirkungsraum, der bioklimatisch und/oder lufthygienisch belastet ist														
<b>Bergwind</b>	Talabwind nach VDI 3787 Blatt 1, 1997:39. Nachts kühlt sich die Luft in Tälern stärker ab als über der Ebene. Die vergleichsweise schwere Kaltluft fließt zunächst die Hänge hinunter (Hangabwind), sammelt sich in den Geländeeinschnitten und Tälern und fließt schließlich als Bergwind talabwärts. Der Bergwind beginnt 2 bis 3 Stunden nach Sonnenuntergang und hält bis kurz nach Sonnenaufgang an.														
<b>Bowen-Verhältnis</b>	Verhältnis zwischen fühlbarer und latenter Wärme. Das Bowen-Verhältnis kann im innerstädtischen Bereich den Wert 2:1 annehmen, während es im Umland 1:2 beträgt (Häckel 2005).														
<b>Eistage</b>	Klimatologische Kenngröße: Anzahl der Tage pro Jahr, an denen das Maximum der Lufttemperatur unter 0 °C liegt, d.h. es herrscht durchgehend Frost.														
<b>Frischluff</b>	Herantransportierte Luft, die geringer durch Luftschadstoffe belastet ist als die vorhandene Luft.														
<b>Frosttage</b>	Klimatologische Kenngröße: Anzahl der Tage pro Jahr, an denen das Minimum der Lufttemperatur < 0 °C beträgt.														

<b>Geostrophischer Wind</b>	Wind, der außerhalb der Reibung der Erdoberfläche weht und sich mit dem Luftdruckgradient und der Coriolis-Kraft (eine Scheinkraft hervorgerufen durch die Erdrotation) im Gleichgewicht befindet.
<b>Globalstrahlung</b>	Summe der direkten und der diffusen Sonnenstrahlung, welche auf eine horizontale Fläche auf der Erde trifft.
<b>Gunstraum</b>	Ein Gunstraum ist ein Gebiet, das thermisch und lufthygienisch vergleichsweise unbelastet ist.
<b>Hangwind</b>	Hangabwind/Hangaufwind sind Teil der Berg-/Talwindzirkulation. Sie setzen schon kurz nach Beginn der abendlichen Abkühlung bzw. nach Einsetzen der Sonneneinstrahlung am Morgen ein. Nach einigen Stunden Verzögerung treten Ausgleichsströmung zwischen Tal und Vorland als → Bergwind (nachts) bzw. → Talwind (tags) ein.
<b>Heiße Tage</b>	Klimatologische Kenngröße: Anzahl der Tage pro Jahr, an denen das Maximum der Lufttemperatur $\geq 30$ °C beträgt.
<b>Höhengradient</b>	Der thermische Höhengradient bezeichnet die Zu- oder Abnahme der Lufttemperatur mit der Höhe.
<b>Human-Biometeorologie</b>	Teilgebiet der Meteorologie, das sich mit der Wirkung des Klimas, der Luftschadstoffe und der Strahlung auf den Menschen beschäftigt.
<b>Kaltluftbahn</b>	→ Leitbahn der Luft, entlang welcher Luftmassen mit geringerer bzw. ohne Wärmebelastung relativ zur Luftmasse innerhalb der → urban canopy layer in die Stadt hineintransportiert werden. Die lufthygienische Qualität der herantransportierten Luft wird nicht berücksichtigt.
<b>Kaltluft</b>	Unter lokaler Kaltluft versteht man bodennahe Luft, die kälter als die ihrer Umgebung ist. Kaltluft wird entweder vor Ort auf Grund des Energieumsatzes an der Erdoberfläche gebildet oder durch kleinräumige Zirkulation transportiert. Kaltluftentstehung und -abfluss hängen von meteorologischen Verhältnissen, der Flächennutzung sowie von der Geländeform und -exposition ab (Bibliographisches Institut Berlin ed. (1986)).
<b>Kaltluftabfluss</b>	Unter Kaltluftabfluss versteht man den orographisch bedingten nächtlichen Abfluss von örtlich gebildeter → Kaltluft. Dabei wird genügend Gefälle vorausgesetzt. Dies trifft insbesondere an unbewaldeten und unbebauten Hängen auf.
<b>Kaltlufteinzugsgebiet</b>	Das Kaltlufteinzugsgebiet umfasst nur diejenigen Kaltluftproduktionsgebiete, in denen → Kaltluft gebildet wird, die für einen bestimmten Standort oder eine Siedlung (→ Wirkungsraum) von Bedeutung sind. (VDI 3787 Blatt 5, 2003:22)
<b>Kaltluftentstehung/ Kaltluftbildung (Kaltluftproduktion)</b>	Bei windschwachen Strahlungswetterlagen infolge nächtlicher Ausstrahlung örtlich entstehende Kaltluft. Die durch Ausstrahlung abkühlende Erdoberfläche kühlt ihrerseits die darüber liegende bodennahe Luftschicht ab. Es bildet sich bodennahe Kaltluft. Die Kaltluftbildung ist abhängig von den physikalischen (z.B. Wärmeleitung) und topographischen (z.B. Bewuchs, Bebauung, Geländeform) Eigenschaften der Erdoberfläche.
<b>Kaltluftproduktionsrate</b>	Bei wolkenarmen und windschwachen Wetterlagen führt die nächtliche Ausstrahlung der Erdoberfläche zur → Kaltluftbildung. Die Stärke der Kaltluftbildung kann über das pro Sekunde abgekühlte Luftvolumen pro Grundfläche erfolgen.
<b>Klimatop</b>	Fläche mit einer einheitlichen geländeklimatischen Eigenschaft werden in der Landschaftsökologie sowie in der Stadtklimatologie als Klimatop bezeichnet (VDI 3787 Blatt 1).

<b>Konvektion</b>	Vertikaler Luftaustausch; Aufsteigen erwärmter Luftmassen bei gleichzeitigem Absinken kälterer Luft in der Umgebung.
<b>Latenter Wärmefluss</b>	Umsetzung der Einstrahlung in die Verdunstung von Wasser, ohne eine Änderung der Lufttemperatur zu bewirken.
<b>(Luft-) Leitbahn</b>	Parallel zur Windrichtung ausgerichtete Fläche von geringer → Rauigkeit, d.h. frei von flächiger Bebauung und hoher, dichter Vegetation (z.B. Wälder).
<b>Lufttemperatur</b>	Physikalisch betrachtet ist die Lufttemperatur ein Maß für den Wärmezustand eines Luftvolumens. Dieser wird bestimmt durch die mittlere kinetische Energie der ungeordneten Molekularbewegung in der Luft. Je größer die mittlere Geschwindigkeit aller Moleküle in einem Luftvolumen ist, umso höher ist auch seine Lufttemperatur.
<b>Median</b>	Der Median oder Zentralwert bezeichnet einen Mittelwert. Der Median ist der mittlere Wert aus einer Liste an Werten, wenn diese der Größe nach sortiert werden. Der Median teilt demnach die Liste von Werten genau in der Mitte.
<b>Mesoklima</b>	Das Mesoklima (z.B. Stadt-, Gelände- und Regionalklima) erstreckt sich subregional bis lokal innerhalb der atmosphärischen Grenzschicht und schließt Städte, Berge und Täler ein. Es wird von Relief, Klima, Oberflächenbedeckung und menschlichen Aktivitäten geprägt (Weischert & Endlicher 2008).
<b>Mikroklima</b>	Atmosphärische Prozesse der bodennahen Luftschicht mit einer horizontalen Ausdehnung von wenigen Millimetern bis einigen hundert Metern. Der atmosphärische Zustand in diesem Bereich wird von den Eigenschaften der Oberfläche maßgebend geprägt, ist aber dennoch in das Großklima eingebettet. Die mikroklimatischen Phänomene sind bei → autochthonen Wetterlagen am stärksten ausgeprägt.
<b>Morbidität</b>	Häufigkeit der Erkrankungen innerhalb der Bevölkerung.
<b>Mortalität</b>	Sterblichkeit, Sterberate der Bevölkerung.
<b>Neutrale (Indifferente) Schichtung</b>	Eine neutrale oder indifferente Schichtung liegt vor, wenn ein Luftpaket bei Vertikalbewegungen stets die gleiche Temperatur wie die Umgebungsluft aufweist.
<b>Phänologische Phase</b>	Die Phänologie befasst sich mit den Entwicklungserscheinungen der Natur, die aufgrund der Jahreszeitenwechsel auftreten. Die Phänologischen Phasen bezeichnen dabei die verschiedenen Phasen innerhalb eines Jahres, z.B. die Frühlingsphase, welche mit dem Austrieb der Pflanzen gekennzeichnet ist.
<b>Planetare Grenzschicht</b>	Als planetarische Grenzschicht wird die Schicht bezeichnet, die vom Erdboden bis zu einer Obergrenze von ca. 500 - 2000 m der Atmosphäre reicht, wobei die Höhe der Schicht von der Rauigkeit des Untergrundes, der vertikalen Temperaturschichtung und der Windgeschwindigkeit abhängt. Der Mittelwert der Höhe beträgt ca. 1000 m. In der planetarischen Grenzschicht findet ein Großteil des turbulenten vertikalen Austauschs von Wärme (Energie) und Wasserdampf zwischen Erdoberfläche und Atmosphäre statt.
<b>Perzentil</b>	Ein Perzentil ist ein Wert auf einer Skala von Null bis Hundert, der den Prozentsatz an Datensatzwerten angibt, der gleich oder niedriger als er selbst ist. Das Perzentil wird oft genutzt, um die Extremwerte einer Verteilung abzuschätzen. So kann z.B. das 90. (10.) Perzentil verwendet werden, um die Schwelle für die oberen (unteren) Extremwerte zu bezeichnen

<b>PET</b>	Physiological Equivalent Temperature. Ein Index zur Beschreibung des thermischen Empfindens in Abhängigkeit von der Lufttemperatur, der Luftfeuchtigkeit, der Windgeschwindigkeit sowie der Strahlungsflüsse unter Berücksichtigung der menschlichen Energiebilanz.
<b>Rauigkeit</b>	Ein Maß für die Rauigkeit ist der $z_0$ -Wert, der in Meter angegeben wird. Er beschreibt die Wirkung von Vegetation und Bebauung auf die bodennahe Strömungsreduktion.
<b>Sensibler Wärmefluss</b>	Umsetzung der Einstrahlung in einen fühlbaren thermischen Wärmefluss, welcher sich in einer Änderung der Lufttemperatur äußert.
<b>Sommertage</b>	Klimatologische Kenngröße: Anzahl der Tage pro Jahr, an denen das Maximum der Lufttemperatur $\geq 25$ °C beträgt.
<b>Strahlungsantrieb</b>	Maß für die Energiebilanz der Erde durch die von außen einwirkende Strahlung.
<b>Strahlungsbilanz</b>	Die Strahlungsbilanz ist die Differenz aus der Einstrahlung und Ausstrahlung auf eine Oberfläche. Die Strahlungsbilanz der Erdoberfläche wird dabei hauptsächlich von der solaren, kurzwelligigen Einstrahlung und der terrestrischen, langwelligigen Ausstrahlung bestimmt.
<b>Strahlungstemperatur</b>	Die mittlere Strahlungstemperatur ist die Temperatur der auf den Wärmehaushalt des Menschen (bzw. den Messpunkt) einwirkenden Wärmestrahlung aller Umschließungsflächen in Abhängigkeit von deren Emissionsvermögen.
<b>Strömungssystem</b>	Stabil ausgebildete Kaltluftabflüsse und Flurwinde in der zweiten Nachthälfte.
<b>Synthetische Winddaten</b>	Wind- und Ausbreitungsklassenstatistiken, welche auf Basis von Reanalyse-Daten mit einem prognostischen nicht-hydrostatischen Strömungsmodell berechnet wurden. Die Daten beziehen sich meist auf eine Anemometerhöhe von 10 m über Grund.
<b>Urban boundary layer</b>	Bezeichnung für den Teil der bodennahen Luftschicht, der durch städtisch bebaute Gebiete beeinflusst wird.
<b>Urban canopy layer</b>	Luftschicht zwischen dem Boden und der mittleren Höhe der Gebäude und Bäume, in welcher mikroskalige Prozesse, wie Mehrfachreflexion oder Turbulenz, dominieren.
<b>Urbane Wärmeinsel</b>	Siedlungsraum, der vor allem abends und nachts während $\rightarrow$ autochthonen Wetterlagen eine höhere Lufttemperatur aufweist als die ländliche Umgebung.
<b>Ventilationsbahn</b>	Luftleitbahn mit unterschiedlichem thermischem und lufthygienischem Niveau auf der bei Schwachwindlagen lufthygienisch belastete oder unbelastete Luftmassen mit unterschiedlichen thermischen Eigenschaften in die Stadt transportiert werden. Die Belastung der Luft durch erhöhte Temperatur oder Schadgase spielt hier keine Rolle. Die Funktion wird ausschließlich durch den geringen Strömungswiderstand erfüllt (Mayer & Matzarakis 1992).
<b>Volumenstromdichte</b>	Die Kaltluft-Volumenstromdichte ist ein Maß für die Menge der abfließenden $\rightarrow$ Kaltluft. Sie wird angegeben in Kubikmeter pro Sekunde und Querschnitt der Breite 1 Meter über die gesamte betrachtete Luftschichtmächtigkeit.
<b>Vulnerabilität</b>	Die Vulnerabilität bezeichnet die Verwundbarkeit oder Verletzbarkeit der Bevölkerung aufgrund von klimatischen Extremereignissen wie beispielsweise Hitzeperioden.

<b>Wahre Ortszeit</b>	Die auf den Sonnenstand bezogene Zeit. Die Sonne steht um 12:00 Uhr wahrer Ortszeit im Zenit.
<b>Wärmebelastung</b>	Wärmebelastung liegt vor, wenn der menschliche Organismus Probleme bekommt, die Kerntemperatur von 37 °C zu halten. Die Wärmebelastung wird anhand von Wärmehaushaltsmodellen des Menschen ermittelt. Dabei gehen neben physiologischen Größen die Lufttemperatur, die Luftfeuchte, die Strahlungsströme und die Windgeschwindigkeit ein. Besondere Belastungssituationen ergeben sich insbesondere bei einer längeren Dauer der Wärmebelastung, z.B. in Hitzeperioden.
<b>Warme Hangzone</b>	Geländebereich an Hängen, der sich zwischen kalter Hochfläche und Talsohle befindet und oberhalb eines ausstrahlungsbedingten Kaltluftsammelecks (in Mulden, Becken, Tälern) liegt. Die warme Hangzone ist bioklimatisch begünstigt.
<b>Wirkungsraum</b>	Raum, in den die Kaltluft oder Frischluft eindringt. Ist der Wirkungsraum bioklimatisch und/oder lufthygienisch belastet wird er auch als → Belastungsraum oder belasteter Wirkungsraum bezeichnet.

## 1 Zusammenfassung

Die Stadt Weil am Rhein plant bei zukünftigen Stadt- und Grünflächenplanungen verstärkt stadtklimatische Aspekte zu berücksichtigen. Grundlage hierfür ist eine Stadtklimaanalyse.

Die Stadt Weil am Rhein liegt in einer der wärmsten Regionen Deutschlands, im Dreiländereck mit Frankreich und der Schweiz, im südlichsten Teil der Oberrheinischen Tiefebene. Die höhere Anzahl an Sommertagen ist in den Übergangsjahreszeiten Frühjahr und Herbst meist erwünscht, führt aber im Sommer häufig zu Hitzebelastungen. Im Rahmen des Klimawandels werden Tage mit Hitze stress weiter zunehmen. Ziel ist es, sowohl die Bereiche mit hoher Belastung zu lokalisieren wie auch die Faktoren und Raumschaften zu ermitteln, die für eine Entlastung sorgen.

In der Stadtklimaanalyse Weil am Rhein werden die räumlichen Wirkungszusammenhänge zwischen den thermisch belasteten Räumen (Wirkungsraum) und den ihnen zugeordneten Ausgleichsräumen analysiert. Dabei wird ein heißer Tag betrachtet, der in der Regel bei wolkenarmen und windschwachen Wetterlagen auftreten kann. Bei diesen Wetterlagen prägen sich die lokaltypischen klimatischen Eigenheiten am stärksten aus.

Für planerische Fragestellungen im Rahmen der Flächennutzungsplanung bis hin zur Ergreifung von Klimaanpassungsmaßnahmen ist die Kenntnis der räumlichen Struktur und Intensität sowohl der Belastungen wie auch der Entlastungen erforderlich. Um diese zu bewerten, wird die Betroffenheit der Bevölkerung herangezogen. Diese ergibt sich aus der Intensität der Belastung bzw. Entlastung und der Empfindlichkeit der betrachteten Fläche. Die Empfindlichkeit wird über die Bevölkerungsdichte und die Lage klimasensibler Nutzungen, wie Krankenhäuser, Pflegeheime oder Kindertagesstätten ermittelt.

Die Belastungssituation der Wirkungsräume setzt sich aus der Tag- und der Nachtsituation zusammen. Zur Quantifizierung der Wirkung der thermischen Bedingungen auf den Menschen werden human-biometeorologische Methoden herangezogen.

Die wesentlichen Faktoren für eine Entlastung stellen die Durchlüftung und innerstädtische Grünflächen dar. Für die Durchlüftung sind insbesondere nächtliche Kaltluftabflüsse maßgebend, die Frischluft herantransportieren und die tagsüber entstandenen thermischen und lufthygienischen Belastungen verringern. Die Bedeutung wird jedem klar, der in einer Hitzeperiode in den Nachtstunden Schlaf sucht. Wird die Wohnung und das Schlafzimmer bei geöffneten Fenstern gut belüftet, stellen sich verträglichere Verhältnisse ein als wenn keinerlei Luftbewegung vorhanden ist.

Innerstädtische Grünanlagen haben verschieden positive lokalklimatische Effekte. Sie stellen an heißen Tagen sowohl Ausgleichs- wie auch Aufenthaltsbereiche dar. Die Qualität dieser Bereiche wird geprägt von schattenwerfendem Baumbestand, der Größe der Grünfläche und der fußläufigen Erreichbarkeit.

Um diese Aspekte des Stadtklimas zu erfassen und aufzuarbeiten, wurden mittels umfangreicher Modellsimulationen die Gunstfaktoren und die thermischen und lufthygienischen Belastungen ermittelt. Dabei wurde auf die Aktualität der Eingangsdaten geachtet.

Auf der Basis dieser Informationen wurden eine Klimaanalysekarte und Planungshinweiskarte erarbeitet. Die flächendeckenden Klimainformationen des vorliegenden Gutachtens stellen für die Stadt Weil am Rhein eine gute Grundlage für die Einordnung planerischer Maßnahmen aus klimatischer Sicht dar. Sie dienen neben der Flächennutzungsplanung auch der Lokalisierung von Klimaanpassungsmaßnahmen.

## 1.1 Gunstfaktoren

Die abendliche und nächtliche Kaltluftzufuhr bei austauscharmen wolkenarmen Wetterlagen, sogenannten autochthonen Wetterlagen, erfolgt im Raum Weil am Rhein durch Kaltluftabflüsse von den Hängen des Tüllinger Berges, die die angrenzenden Siedlungsbereiche in Alt-Weil, Haltingen und Ötlingen belüften. Die weiter in der Rheinebene liegenden Ortsteile Otterbach, Kernstadt, Friedlingen und Märkt werden vom Rheintalabwind überstrichen, der sich bei diesen Verhältnissen in den Nachtstunden ausbildet.

Park- und Grünflächen, aber auch Waldgebiete stellen für die Bevölkerung wichtige Freizeit- und Naherholungsbereiche dar. Allerdings bilden die Bahnlinie Freiburg-Basel, die Autobahn A5 und die Bundesstraße B317 Barrieren, die den fußläufigen Zugang zu größeren Erholungsflächen einschränken.

Im Stadtgebiet von Weil am Rhein sind die kleineren Grünflächen überwiegend gut erreichbar. Darüber hinaus dienen diese als klimatische Ausgleichsräume und haben somit eine wichtige klimatische Funktion innerhalb der Stadt inne. Mit Blick auf den Klimawandel sind der Erhalt und die Weiterentwicklung ihrer Funktionalität auch in Zukunft wichtige Aspekte.

## 1.2 Belastungen

Die thermische Belastung wird durch die Lage im Oberrheingraben geprägt, der infolge der geringen Höhenlage und dem reduzierten Luftaustausch von Tallagen im Sommer häufig überwärmt ist. Neben der, durch die großräumige Lage vorgegebene thermische Belastung, steigern aber auch ein erhöhter Anteil versiegelter Flächen sowie ein Mangel an klimatisch relevanten Grün-, Frei- und Wasserflächen innerhalb der städtischen Bebauung die Wärmebelastung.

In den Abend- und Nachtstunden wird dies z.B. an den urbanen Wärmeinseln, die die Überwärmung der verdichteten Siedlungs- und Gewerbebereiche gegenüber dem Umland zeigen, sichtbar. Die Überwärmung ist in den Gewerbegebieten bei Friedlingen und der nördlichen Kernstadt besonders ausgeprägt. Aber auch Alt-Weil und Haltingen zeigen deutliche Überwärmungen.

Die Bewertung der thermischen Belastung für die Bevölkerung erfolgt auf der Basis der Betroffenheit, d.h. abhängig von der Einwohnerdichte und dem Vorhandensein klimasensibler Nutzungen, wie Pflegeheime, Krankenhäuser oder Kindertagesstätten. Neben der nächtlichen Überwärmung geht auch die human-bioklimatische Belastung in den Tagstunden ein.

Durch die Gewichtung mit der Einwohnerdichte ist die Betroffenheit in den Gewerbegebieten entsprechend niedrig, während dichter besiedelte Wohnbereiche dagegen deutlich vulnerabler sind.

Hohe bis sehr hohe thermische Betroffenheit findet man demnach in der Kernstadt und Alt-Weil sowie in Haltingen und Friedlingen. Die Stadtrandbereiche sind durch die häufig geringere Bebauungsdichte, den höheren Grünanteil und die bessere Durchlüftung meist weniger betroffen. Dies zeigt die Bedeutung der Gunstfaktoren wie der Kaltluftströmungen oder der Durchgrünung für die Aufenthaltsqualität in den Wohnquartieren.

Im Zuge des Klimawandels ist mit einer weiteren Zunahme der Wärmebelastungen zu rechnen. Dementsprechend bekommen Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen immer größere Bedeutung, sowohl in der Flächennutzungsplanung wie auch in der Bauleitplanung.

### 1.3 Maßnahmenempfehlungen

Der Klimawandel bedingt nicht nur eine tendenzielle Zunahme der Lufttemperatur. Probleme ergeben sich hauptsächlich durch die Extreme wie Hitzewellen, Dürreperioden, Starkniederschläge, Sturmereignisse usw.

Diese können insbesondere Leben und Gesundheit gefährden, aber auch Güter und Produktion schädigen. Diesen Ereignissen ist man meist großflächig ausgesetzt und es gibt keine kurzfristigen Lösungen, diese Belastungen zu entschärfen.

Dürre und Hitze haben Auswirkungen auf die endemische Vegetation (Ernteauffälle, Stress für Waldbestände) und die Fauna (Artenaustausch). Trocken- und hitzeresistente Arten sind meist an ein ausschließlich warmes Klima angepasst. Da allerdings immer noch kalte Winter auftreten können, kann eine allgemeine Empfehlung für die Ansiedlung solcher Arten nicht ausgesprochen werden. Stattdessen muss eine größere Vielfalt angestrebt werden.

Starkniederschläge können auch abseits von Fließgewässern zu Hochwasser führen oder Erdbeben auslösen. Die Analyse potenziell gefährdeter Bereiche bleibt anderen Experten vorbehalten.

Sturmereignisse treffen in der Regel die Höhenlagen stärker. Trotzdem wird im Siedlungsbereich auf nicht mehr vitale Bäume ein größeres Augenmerk gerichtet werden müssen.

Der Umgang mit der Hitze erfordert im Siedlungsraum ein Umdenken. In thermisch belasteten Bereichen, wie es die stark versiegelten Innenstädte darstellen, sollte nicht weiter nachverdichtet werden. Hier ist eine stärkere Durchgrünung in Zusammenhang mit der Retention von Niederschlagswasser zielführender, um aus klimatischer Sicht Entlastungselemente zu schaffen. Ziel ist die Schaffung einer möglichst großen Klimavielfalt in fußläufiger Entfernung, so dass je nach Jahreszeit Aufenthaltsbereiche mit verträglichen Bedingungen aufgesucht werden können.

Die thermische Belastung hat zwei Aspekte. In den Nachtstunden sind die Siedlungsbereiche überwärmt. In Hitzewellen ist innerstädtisch dann mit hohen Belastungen zu rechnen. Minderungsmaßnahme ist der Erhalt der Kaltluftproduktionsbereiche, von denen eine Strömung in belastete Siedlungsräume ausgeht. Hier sind vor allem die Hänge des Tüllinger Bergs zu nennen, die zumindest die östlich gelegenen Siedlungsbereiche maßgeblich mit Kaltluft versorgen.

Neben der Durchlüftung spielen auch die Aufheizung und die Wärmespeicherung der Bebauung eine Rolle. Fassaden- und Dachbegrünungen reduzieren die Aufheizung. Helle Oberflächen reflektieren stärker die einfallende Strahlung als dunkle Fassaden und heizen sich so weniger stark auf.

Bei Neubauten ist aufgrund der Isolierung im Rahmen der Energieeinsparverordnungen mit einer geringeren Speicherwirkung zu rechnen. Die Fassaden dieser Gebäude heizen sich zwar tagsüber schneller auf, kühlen nachts aber auch wieder rasch ab. Maßnahmen sind hier aber meist nur bei Neuplanungen umsetzbar.

In den Tagstunden bestimmt die Einstrahlung das thermische Empfinden stark. Der Aufenthalt in besonnten Bereichen ist bei Hitzewellen kaum möglich. Auch das Zurücklegen von Wegen in der Sonne ist stark belastend. Die beste Aufenthaltsqualität wird in parkähnlichen Strukturen erreicht. Großkronige Bäume sorgen für Schatten, die Durchlüftung ist besser als in waldähnlichen Strukturen und die Vegetation kühlt, sofern sie ausreichend bewässert ist.

Aus stadtplanerischer Sicht ist deshalb die Schaffung solcher Grüninseln aus klimatischer Sicht zielführend. Die Klimaanalyse liefert u.a. die Hinweise, wo diese Maßnahmen zu verorten sind.

## 2 Einführung und Aufgabenstellung

Die Stadt Weil am Rhein möchte bei zukünftigen Stadt- und Grünflächenplanungen verstärkt stadtklimatische Aspekte berücksichtigen. Grundlage hierfür soll ein Stadtklimaanalyse sein.

Durch den Klimawandel und den damit verbundenen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt ist neben dem globalen Klima auch das lokale Klima weiter in den Fokus gerückt. Die Zielsetzungen der Sicherung gesunder Wohn- und Arbeitsverhältnisse erfordert die Berücksichtigung der klimatischen Belange bei zahlreichen planerischen Fragestellungen. Dies fängt bei der Flächennutzungsplanung an, wo es beispielsweise um die Erhaltung der Kalt- und Frischluftzufuhr geht und endet bei kleinräumigen Planungen im Bereich der Bauleitplanung oder lokalen Klimaanpassungsmaßnahmen. In jedem Fall ist die Kenntnis der räumlichen Struktur und Intensität sowohl der Belastungen wie auch der Entlastungen erforderlich, um mit der Planung richtig reagieren zu können.

Die Stadtklimaanalyse stellt deshalb eine wichtige Grundlage für planerische Entscheidungen dar. Sie basiert auf umfangreichen Modellierungen der thermischen und lufthygienischen Belastungen und der entlastenden Momente durch Kaltluftabflüsse und städtische Klimavielfalt.

Modelliert wurden die stadtkreisweiten Kaltluft-Strömungen, die thermischen Bedingungen und das Human-Bioklima. Daraus ergibt sich die Datengrundlage für Klimaanalyse- und Planungshinweiskarten.

Um relevante Strömungssysteme und die zugrunde liegenden Kaltluftentstehungsgebiete und Luftleitbahnen zu identifizieren, müssen die räumlichen Wirkungszusammenhänge zwischen den thermisch belasteten Räumen (Wirkungsraum) und den ihnen zugeordneten Ausgleichsräumen ermittelt werden.

In die Modellierungen fließen das Höhenmodell, die Realnutzung, die Baukörper und vieles mehr ein. Zudem werden auch die Effekte des prognostizierten Klimawandels behandelt.

Die Wärmebelastung der Wirkungsräume setzt sich aus der thermischen Belastung und der Empfindlichkeit der Bevölkerung zusammen. Die thermische Belastung wird für die Tag- und Nachtsituation untersucht. Zur Quantifizierung der Wirkung der thermischen Bedingungen auf den Menschen werden human-biometeorologische Methoden herangezogen. Mit Hilfe der auf der menschlichen Energiebilanz basierenden thermischen Indizes wie der Physiologisch Äquivalenten Temperatur (PET<sup>1</sup>) kann unter Berücksichtigung der Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit und der Strahlungsflüsse die Wärmebelastung flächendeckend quantifiziert werden.

Für die Bewertung des lokalen Klimas gibt es keine Grenz- oder Richtwerte. Der Grad der positiven und negativen Wirkungen ergibt sich aus der Zusammenschau von Intensität und Betroffenheit. Letztere wird durch die Bevölkerungsdichte ausgedrückt.

Weil am Rhein liegt in der Oberrheinischen Tiefebene, nicht zuletzt auch durch die Nähe zur Burgundischen Pforte, in einer der wärmeren Regionen Deutschlands. Zur Charakterisierung der Wärmebelastung kann die Zahl der Sommertage, d.h. Tage mit Tageshöchsttemperatur  $\geq 25$  °C, herangezogen werden. Exemplarisch sind in die langjährigen Mittel der Sommertage in Baden-Württemberg für die Zeiträume 1961 – 1990 und 1981 – 2010 dargestellt. Im Stadtgebiet Weil am Rhein

---

<sup>1</sup> Fachbegriffe werden bei ihrer ersten Erwähnung im Text mit „\*“ gekennzeichnet und im Glossar erläutert.

treten maximal 50 (1961 – 1990) bzw. 60 (1981 – 2010) Sommertage pro Jahr auf. Auf dem Tüllinger Berg sind es etwa 8 Sommertage weniger.

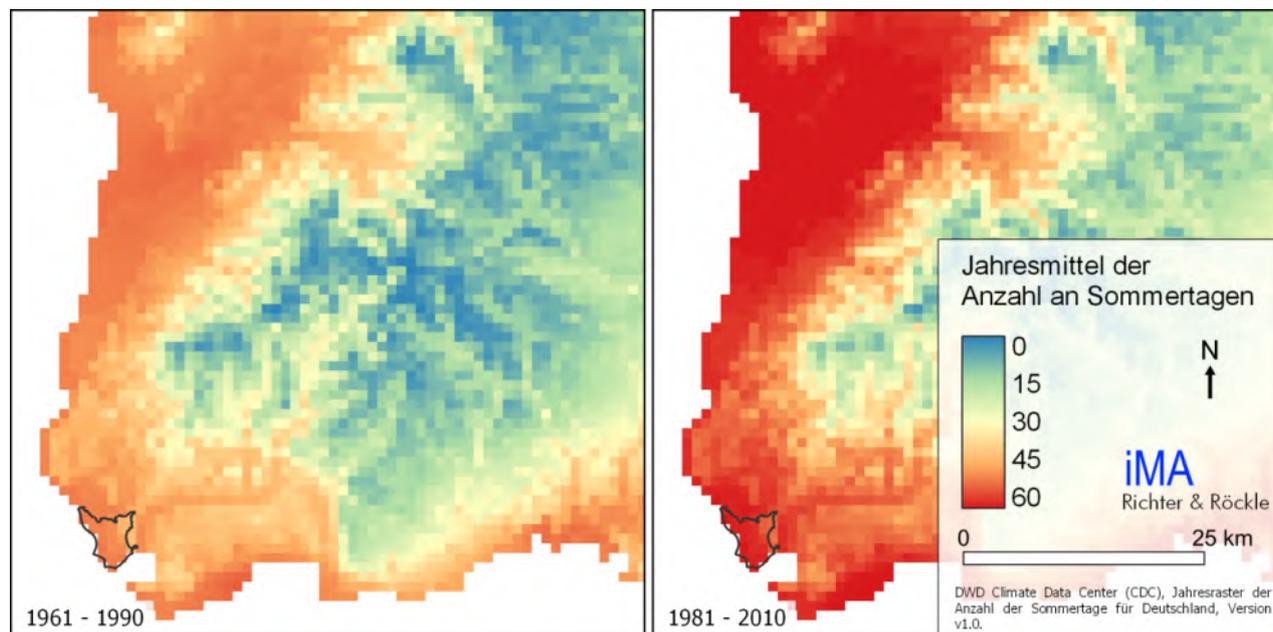


Abbildung 2 1: Langjähriges Mittel der Anzahl an Sommertagen. Klimazeitraum 1961 – 1990 (links) 1981 – 2010 (rechts). Quelle: DWD Climate Center (CDC) 2020, Jahresraster der Anzahl an Heißen Tage für Deutschland, Version v1.0.

Durch den anthropogenen\* Klimawandel wird im 21. Jahrhundert ein Anstieg der mittleren Lufttemperatur, der Dauer, Intensität und Häufigkeit von Hitzewellen und der Anzahl an heißen Tagen erwartet (Schär et al. 2004, Christidis et al. 2015). Die Vulnerabilität\* der europäischen und somit auch deutschen Bevölkerung wurde bereits bei der Hitzewelle 2003 offensichtlich, als die Hitzebedingte Mortalität\* europaweit mit mehreren zehntausend Fällen beziffert wurde (Robine et al. 2008). Dabei traf es weniger junge gesunde Menschen, Menschen mit einem guten sozialen Status oder die Landbevölkerung, sondern Kleinkinder, alte und vorbelastete Menschen oder Menschen mit niederem Sozialstatus, die in Städten leben (Basu 2009). Des Weiteren entsteht durch das verringerte Leistungsvermögen ein volkswirtschaftlicher Schaden (Zander et al. 2015).

In Städten kühlt die Luft weitaus weniger ab als im ländlich geprägten Umland. Dieses Phänomen wird als urbane Wärmeinsel\* bezeichnet und verstärkt den Hitzestress und damit die thermische Belastung in Städten. Die Ausprägung der thermischen und lufthygienischen Belastungen hängt jedoch von einer Vielzahl von Faktoren ab. Dazu zählen die geographische Lage, die Höhenlage, das Relief, Bebauungsdichten und -höhen, die Verteilung von versiegelten und durchgrüneten Flächen usw.

Eine Abkühlung bzw. Entlastung für die städtische Bevölkerung in Hitzeperioden kann durch Kaltluftabflüsse\* und Flurwinde\* herbeigeführt werden. Diese tragen in der Nacht wesentlich zur thermischen Regeneration von Mensch und Umwelt bei. Die Zufuhr von – möglichst unbelasteter – Kaltluft in die urbanen Siedlungsräume ist daher von hohem Stellenwert für die Gesundheit und die Lebensqualität der Stadtbevölkerung. Daneben sind innerstädtische Grünflächen von Bedeutung. Diese sind für eine ausreichende Klimavielfalt, d.h. die Verfügbarkeit unterschiedlicher Mikroklimata statt einer homogenen Bebauungssituation, erforderlich.

### 3 Bestandsbeschreibung

#### 3.1 Örtliche Verhältnisse

Weil am Rhein erstreckt sich in der Oberrheinischen Tiefebene vom Rhein im Westen mit dem tiefsten Punkt von 231 m bis zum Tüllinger Berg im Osten mit ca. 457 m über NHN auf etwa 47,57° bis 47,63° nördlicher Breite und 7,56° bis 7,65° östlicher Länge (Abbildung 3-2).

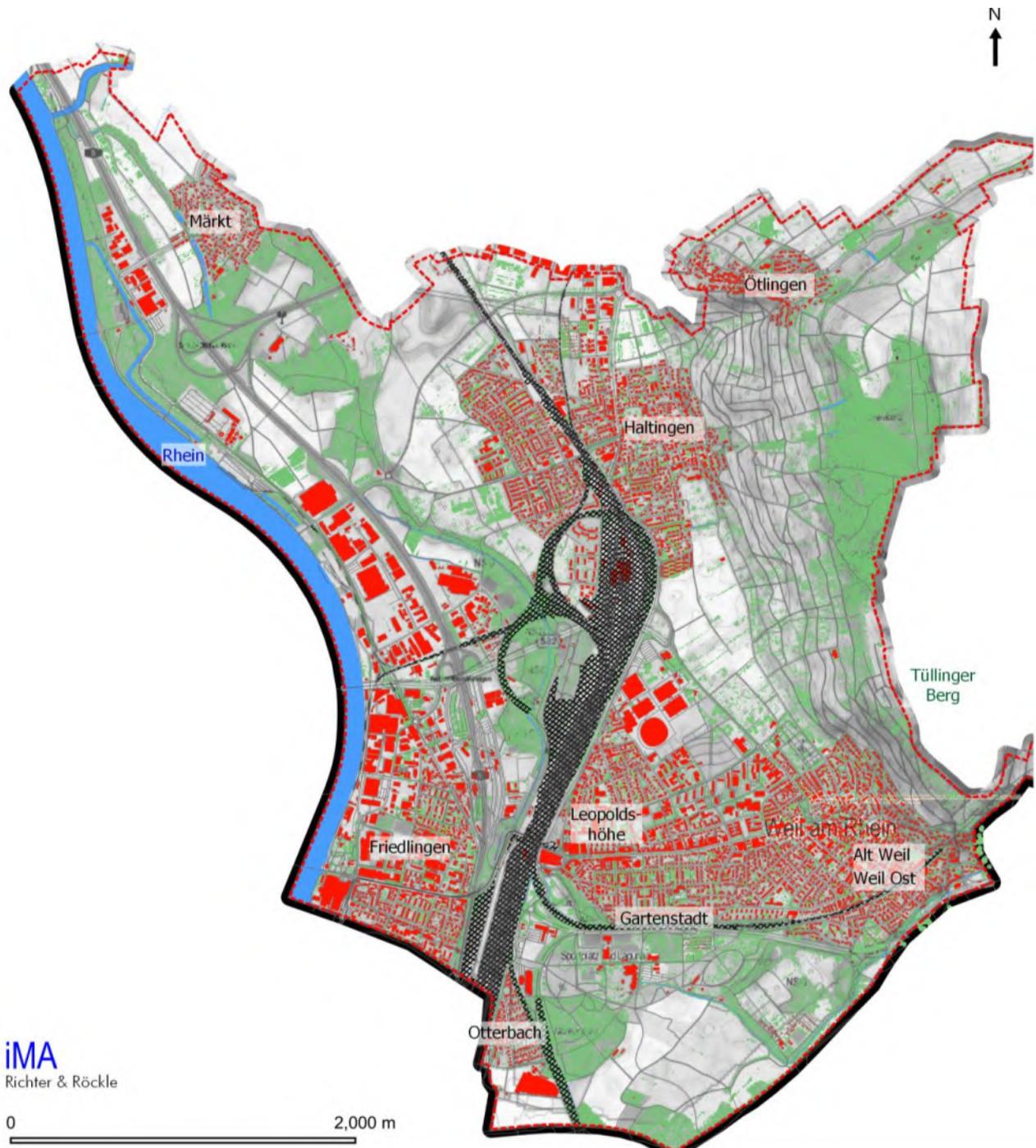


Abbildung 3-1: Gewässer, Erhebungen und Stadtteile von Weil am Rhein (Kartendaten: onmaps.de © GeoBasis-DE/BKG 2021).

Auf dem 1.946 ha großen Stadtgebiet leben ca. 30.000 Einwohner<sup>2</sup>, davon 28,5% in Alt-Weil, 32,6% in der Kernstadt, 1,8% in Otterbach, 18,7% in Friedlingen, 24,7% in Haltingen, 2,4% und 2,5% der Bevölkerung in Märkt und Ötlingen (Stand 30.09.2019<sup>3</sup>).

Das Untersuchungsgebiet erstreckt in der Oberrheinischen Tiefebene vom Rhein im Westen mit dem tiefsten Punkt von 231 m und dem Tüllinger Berg im Osten mit ca. 457 m über Normalhöhen-null (NHN). Das Rheintal verläuft in diesem Bereich etwa von Südsüdosten nach Nordnordwesten in einer Höhe von ca. 244 m bis 231 m ü. NHN.

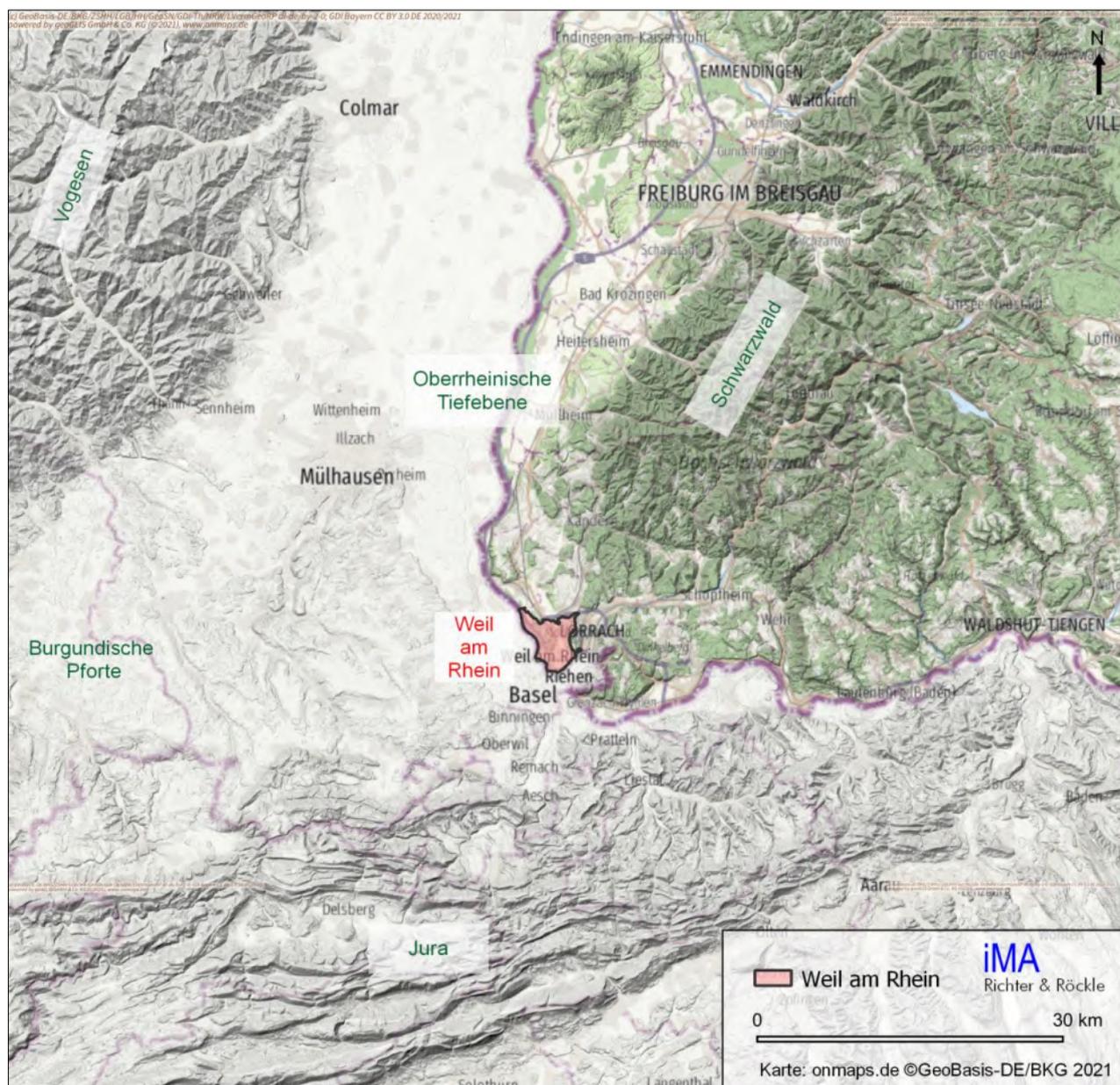


Abbildung 3-2: Räumliche Einordnung des Untersuchungsgebiets (Stadtgebiet Weil am Rhein) und der weiteren Umgebung.

<sup>2</sup> <https://www.statistik-bw.de/BevoelkGebiet/Bevoelkerung/01515020.tab?R=GS336091>

<sup>3</sup> [https://www.weil-am-rhein.de/site/weil-am-rhein-2020/get/params\\_E-1044796987/2492165/Flyer%20Daten%20Zahlen%20Fakten%20-%202012.02.2020%20-%20.pdf](https://www.weil-am-rhein.de/site/weil-am-rhein-2020/get/params_E-1044796987/2492165/Flyer%20Daten%20Zahlen%20Fakten%20-%202012.02.2020%20-%20.pdf)

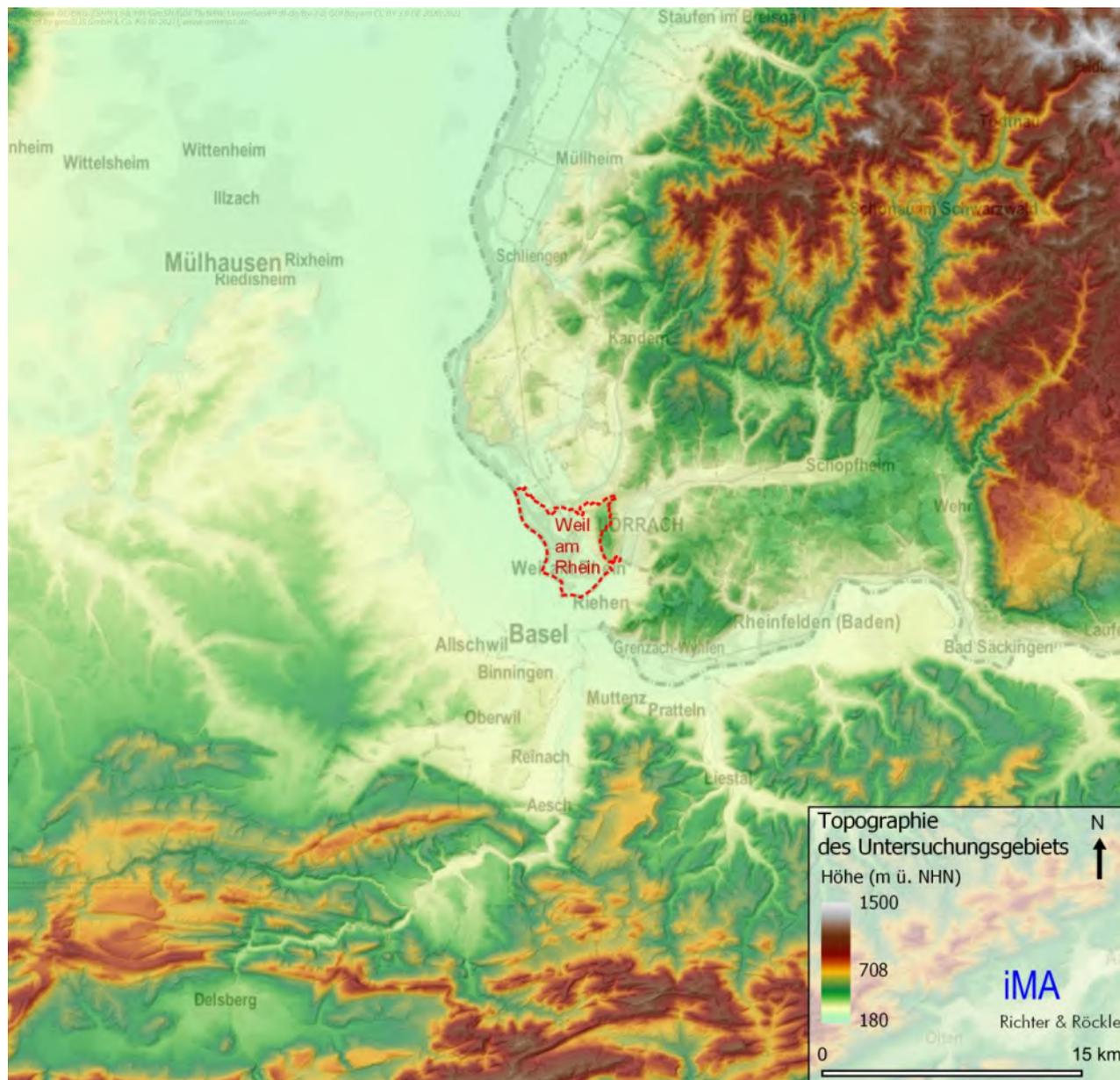


Abbildung 3-3: Topographie des Untersuchungsgebiets (Stadtgebiet Weil am Rhein, rot umrahmt).

Das Stadtgebiet besteht zu 46,6 % aus bebauter Fläche und Infrastruktur. Der Flächenanteil von Wald und landwirtschaftliche Fläche beträgt 11,6 % und 31,6 %. Sportplätze, öffentliche Parks und Grünanlagen machen 4,8 % des Stadtgebietes aus, Wasserflächen 4 % (Sonstige und Abbauflächen 1,5%) (Stand: 2019).

### 3.2 Klimatische Einordnung der Stadt Weil am Rhein

Weil am Rhein lässt sich dem Klima der gemäßigten Breiten zuordnen, das sich durch ganzjährige Niederschläge und milde Temperaturen auszeichnet. Die Lage am Rande der Oberrheinischen Tiefebene bedingt jedoch eher trockene Sommer mit konvektiven Niederschlägen, welche durch den starken Höhengradienten\* in der Umgebung gefördert werden.

Das Klima eines Ortes wird durch die Angabe statistischer Kennzahlen der Klimaelemente beschrieben, welche in der Regel über einen 30-jährigen Zeitraum (die sog. „Klimanormalperiode“) erfasst werden. Für eine klimatisch feinere Einordnung werden thermische Indikatoren gewählt, wie sie in Tabelle 3-1 für die Klimanormalperiode 1961 – 1990, 1971 – 2000 und 1981 – 2010 aufgeführt sind. Generell spielen die Höhenlage, die geografische Lage und lokale Nutzungsstruktur eine entscheidende Rolle für die thermischen Indikatoren.

Die erhobenen Daten beruhen auf Stationsmessungen des Deutschen Wetterdienstes (DWD). Da in Weil am Rhein keine langjährigen Messdaten vorliegen, wurden die nächstgelegenen Stationen in Rheinfelden und Müllheim ausgewertet. Da sich diese Stationen in unmittelbarer Nähe zu Weil am Rhein befinden (Entfernung unter 25 km) und auf einem vergleichbaren Höhenniveau liegen (282 m bzw. 273 m ü. NHN im Vergleich zu 275 m), gibt die Auswertung der Stationen Rheinfelden und Müllheim eine gute Abschätzung des Klimas für Weil am Rhein wieder.

In Tabelle 3-1 sind Klimaindikatoren für die Umgebung von Weil am Rhein und für ausgewählte Orte in Deutschland aufgeführt. An den Messstationen Müllheim und Rheinfelden wurden zwischen 12 und 20 Eistage\* und 64 bis 74 Frosttage\* im Bezugszeitraum (1961-1990) beobachtet. Auf dem Feldberg, auf 1.490 m ü. NHN, liegt die Anzahl an Eistagen bei 85 und an Frosttagen bei 163.

Mit 41 bis 53 Sommertagen\* und 6 bis 12 Heißen Tagen\* in der Klimanormalperiode 1961-1990 weist die Region um Weil am Rhein die höchste Wärmebelastung der aufgeführten Städte auf. Geringere Wärmebelastungen finden sich im Norden Deutschlands (z.B. Hamburg mit 20 Sommertagen und 3 Heißen Tagen) oder in der Höhe des Schwarzwaldes (z.B. Feldberg ohne Sommertage oder Heiße Tage).

Die Sonnenscheindauer schwankt in der Region zwischen 1.564 Stunden in Müllheim und 1.716 Stunden im Jahr in Rheinfelden.

Die mittlere jährliche Niederschlagsmenge liegt bei etwa 1.005 mm/a in Rheinfelden im Zeitraum 1961 – 1990, was über dem deutschlandweiten Mittelwert von 789 mm liegt. Dies ist auf Stauwirkungen des Schwarzwaldes zurückzuführen. Die häufig aus Westen herantransportierten Regengebiete stauen sich an den Erhebungen des Schwarzwaldes und sorgen in Weil am Rhein und Umgebung für im Schnitt höhere Niederschlagsmengen als in anderen Regionen in Deutschland.

In Tabelle 3-1 sind zudem die Indikatoren und klimatologischen Kenntage für die drei Klimanormalperioden 1961 – 1990, 1971 – 2000 und 1981 – 2010 dargestellt. Zwischen 1961 – 1990 und 1981 – 2010 stieg die Jahresmitteltemperatur in der Region um etwa 0,7 K an. Dementsprechend erhöhten sich im selben Zeitraum z.B. die Anzahl an Sommertagen um etwa 13 Tage pro Jahr. Die Anzahl an Eistagen verringerte sich um etwa 2 Tage pro Jahr und die Anzahl an Frosttagen um etwa 15 Tage pro Jahr.

Der Jahresniederschlag weist keine eindeutige Tendenz auf. Während sich der Niederschlag in Rheinfeldern um 40 mm/a erhöhte, wurde in Müllheim 40 mm/a weniger Niederschlag registriert (Tabelle 3-1).

Für eine genauere Untersuchung im zeitlichen Verlauf wurden Temperaturmessungen der MeteoSchweiz in Basel verwendet. Durch die räumliche Nähe von Basel zu Weil am Rhein können diese Messungen auch für die klimatische Charakterisierung von Weil am Rhein herangezogen werden. In Abbildung 3-4 ist die Entwicklung der jährlichen Anzahl an Heißen Tagen in Basel über die letzten 70 Jahre dargestellt. Während die Anzahl an Heißen Tagen in den ausgewerteten 30-jährigen Klimanormalperioden von 1950 bis 2010 zwischen 8 und 11 schwankt, stieg sie in der Periode 1991 bis 2020 auf 14. Die bislang größte Anzahl an Tagen mit einer Lufttemperatur von über 30 °C wurde während des Hitzesommers im Jahr 2003 erzielt und betrug 41 Tage. Zudem wurden in den letzten sechs Jahren in vier Jahren mehr als 20 Heiße Tage registriert (2015, 1017, 2018, 2019). Dies weist auf eine deutliche Erhöhung der Anzahl an Heißen Tagen in den letzten Jahren hin.

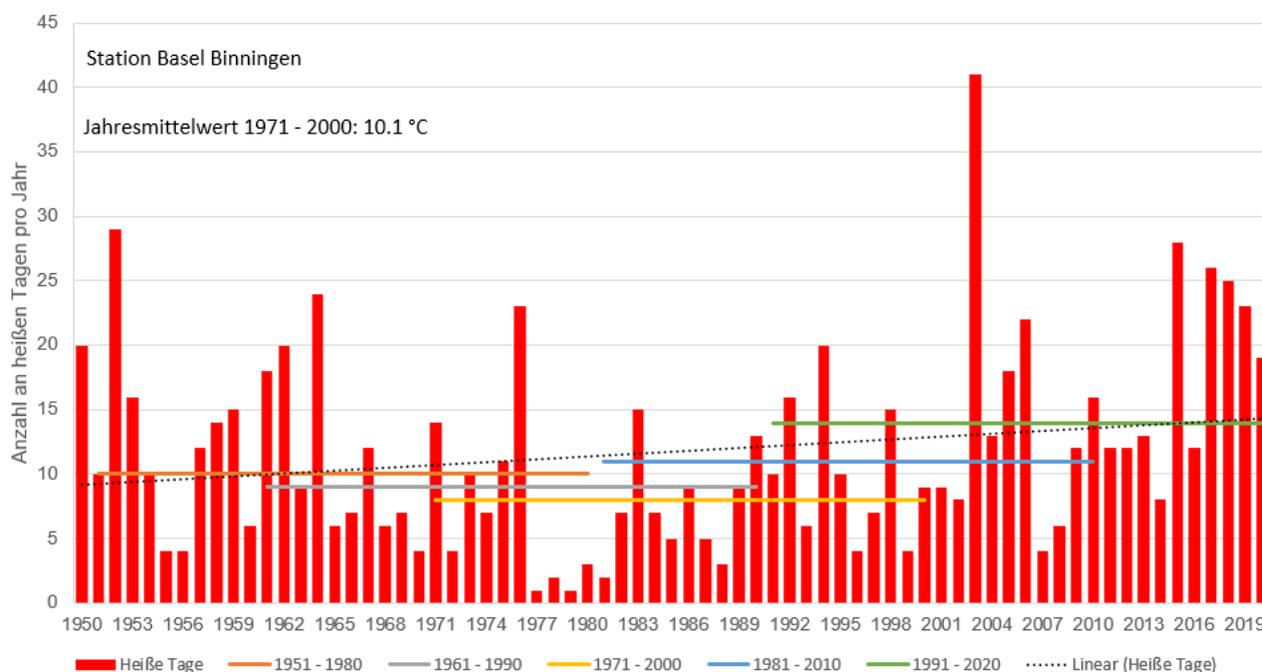


Abbildung 3-4: Maximale Anzahl der Heißen Tage im Zeitraum 1950 bis 2020 in Basel (rote Säulen). Die Linien zeigen den Median\* der maximalen Anzahl der Heißen Tage für die jeweiligen 30-jährigen Zeiträume (Klimanormalperioden) an. Datengrundlage: MeteoSchweiz.

Betrachtet man den Jahresmittelwert der Lufttemperatur in Basel (Abbildung 3-5), so ist seit den 1990er Jahren ein deutlicher Anstieg zu verzeichnen. Im Vergleich zum Zeitraum 1961 – 1990 stieg die mittlere Jahrestemperatur im Zeitraum 1991 – 2020 um 1,3 °C auf 11,0 °C. Hohe Jahresmittelwerte sind nicht nur auf heiße Sommer zurückzuführen, sondern können sich auch durch warme Wintermonate ergeben. So sticht z.B. das Jahr 2003 trotz des sehr heißen Sommers bei den Jahresmittelwerten nicht hervor.

Die zeitliche Entwicklung der Jahresmitteltemperatur in den 30-jährigen Klimareferenzperioden zeigt, dass der Klimawandel auch in Basel und in Weil am Rhein seine Spuren hinterlässt.

Tabelle 3-1: Indikatoren für die Umgebung von Weil am Rhein und ausgewählte Orte in Deutschland in den Jahren 1961 – 1990, 1971 – 2000 und 1981 – 2010. Datengrundlage: Messdaten des DWDs Climate Data Center (CDC).

Eistag:  $T_{max} < 0\text{ °C}$ , Frosttag:  $T_{min} < 0\text{ °C}$ , Sommertag:  $T_{max} \geq 25\text{ °C}$ , Heißer Tag:  $T_{max} \geq 30\text{ °C}$

Ort/Messstation	Stationshöhe (m)	Frosttage (d)	Eistage (d)	Sommertage (d)	Heiße Tage (d)	Niederschlag (mm)	Lufttemperatur (°C)	Sonneneindauer (h)
<b>1961 – 1990</b>								
Rheinfelden	282	64	12	53	12	1.005	10,0	1.716
Müllheim	273	74	20	41	6	1.006	9,7	1.564
Feldberg	1.490	163	85	0	0	1.909	3,3	1.641
Frankfurt/Main	100	82	17	42	9	658	9,7	1.586
Freiburg	236	61	16	49	10	908	–	–
Freudenstadt	797	114	42	12	1	1.681	6,6	1.721
Hamburg-Fuhlsbüttel	11	77	21	20	3	770	8,6	1.557
Hornisgrinde	1.119	138	66	4	0	1.931	4,8	1.584
<b>1971 – 2000</b>								
Rheinfelden	282	57	9	58	13	1.030	10,4	1.711
Müllheim	273	67	17	43	7	980	10,0	-
Feldberg	1.490	157	78	0	0	1.753	3,6	1.643
Frankfurt/Main	100	72	13	46	11	621	10,2	1.614
Freiburg	236	51	12	54	13	930	11,1	1.748
Freudenstadt	797	110	36	15	1	1.681	6,9	1.667
Hamburg-Fuhlsbüttel	11	70	16	23	4	–	9,0	1.585
Hornisgrinde	1.119	130	57	5	0	1.953	5,1	–
<b>1981 – 2010</b>								
Rheinfelden	282	-	10	66	18	1.045	10,8	1.751
Müllheim	273	59	-	-	-	966	10,2	1.636
Feldberg	1.490	151	75	1	0	1.637	3,9	1.661
Frankfurt/Main	100	70	13	52	13	629	10,5	1.662
Freiburg	236	57	12	60	15	934	11,4	1.768
Freudenstadt	797	108	36	18	2	1.690	7,2	1.680
Hamburg-Fuhlsbüttel	11	70	16	27	5	793	9,4	1.580
Hornisgrinde	1.119	–	–	–	–	–	–	–

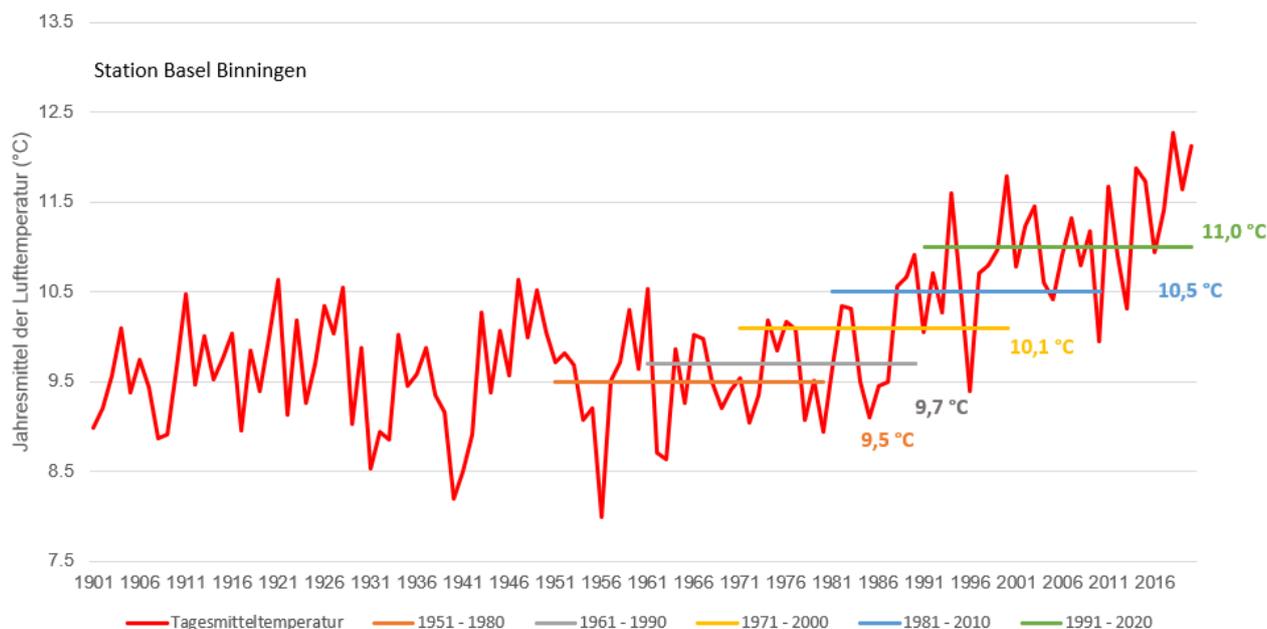


Abbildung 3-5: Verlauf der mittleren Lufttemperatur in Basel-Binningen von 1901 bis 2020 (rote Linie), gemittelt über die Klimaperioden 1951 – 1980, 1961 – 1990, 1971 – 2000, 1981 – 2010 und 1991 – 2020 (Datengrundlage: MeteoSchweiz).

### 3.3 Strömungsverhältnisse

Eine Luftströmung wird gekennzeichnet durch die Windgeschwindigkeit und die Windrichtung (Himmelsrichtung aus der der Wind weht). Luftströmungen entstehen durch horizontale Druckunterschiede. In großer Höhe ist die Strömung nahezu ungestört. In Bodennähe (0 bis etwa 1 km über dem Boden) wird die Strömung durch Reibung abgebremst und durch das Geländereief kanalisiert und umgelenkt.

Abbildung 3-6 zeigt die Windverhältnisse im Raum Weil am Rhein bis Fischen (Tabelle 3-2). Die Windrichtungsverteilung im Raum Weil am Rhein wird wesentlich durch das Relief bestimmt. Die Messstationen Weil am Rhein und Lange Erlen zeigen eine dem Hochrhein folgende Ost- bzw. Nordostströmung auf mit einem sekundären Maximum in entgegengesetzter Richtung (West bis Südwest). In Fischen kommt der Einfluss des Oberrheingraben bereits zum Tragen, wodurch die Hauptwindrichtung Südwest beträgt. Der Einfluss des Hochrheintals bewirkt bei Fischen ein sekundäres und tertiäres Maximum der Windrichtung in Südost- und Nordwestrichtung.

Tabelle 3-2: Beschreibung der Messstationen Weil am Rhein (LUBW), Lange Erlen und Fischen (REKLIP).

	Weil am Rhein	Lange Erlen	Fischen
Lage Ostwert	397241	398438	394559
Lage Nordwert	5171430	5271856	5277977
Höhe ü. NHN	275 m	225 m	264 m
Messzeitraum	01.09.1997 - 31.12.2006	01.01.1992 31.12.1995	01.01.1992 - 08.08.1995
mittlere Windgeschwindigkeit	1,9 m/s	2,2 m/s	2,5 m/s

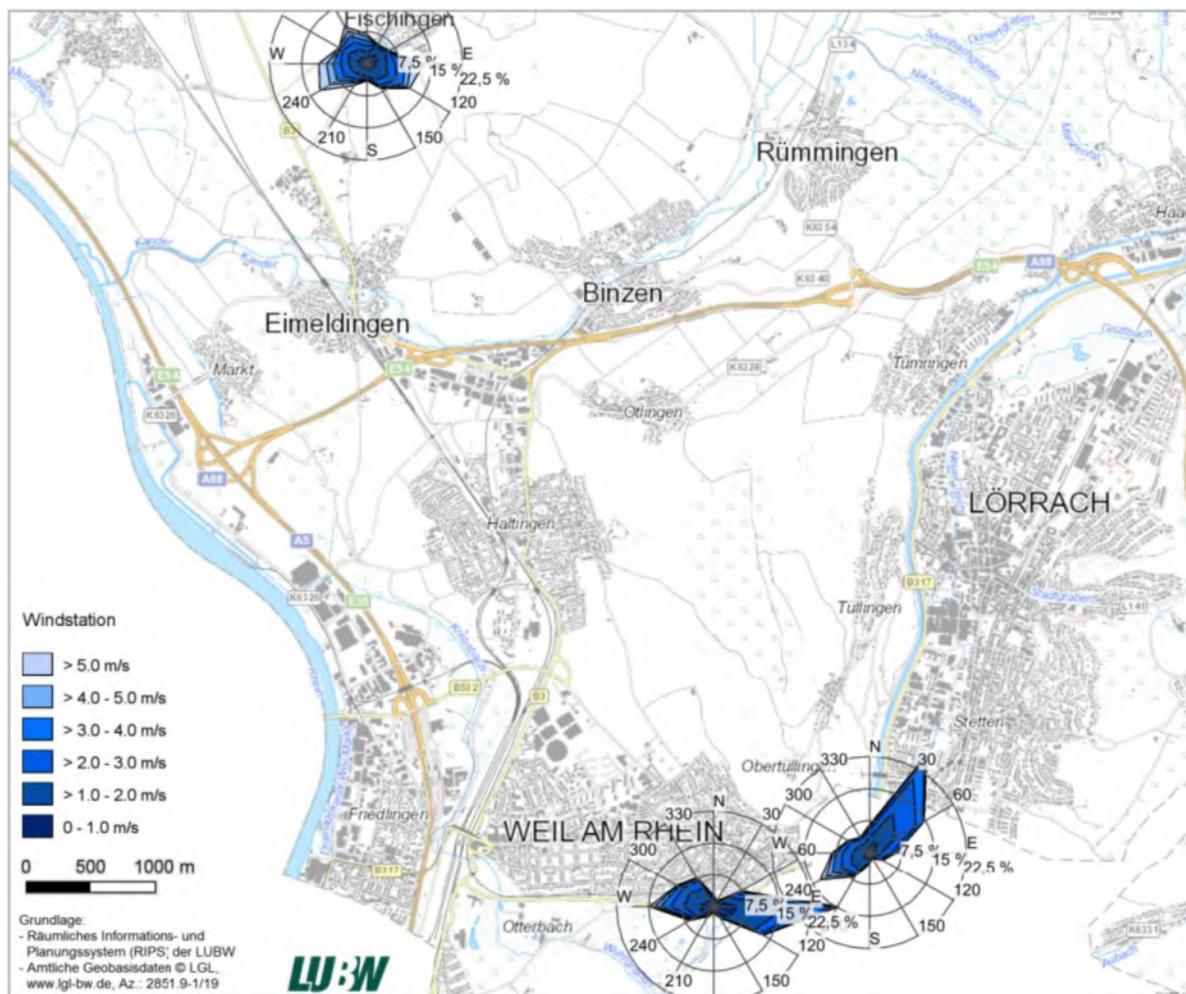


Abbildung 3-6: Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen an den Messstellen der LUBW in Weil am Rhein und Umgebung.

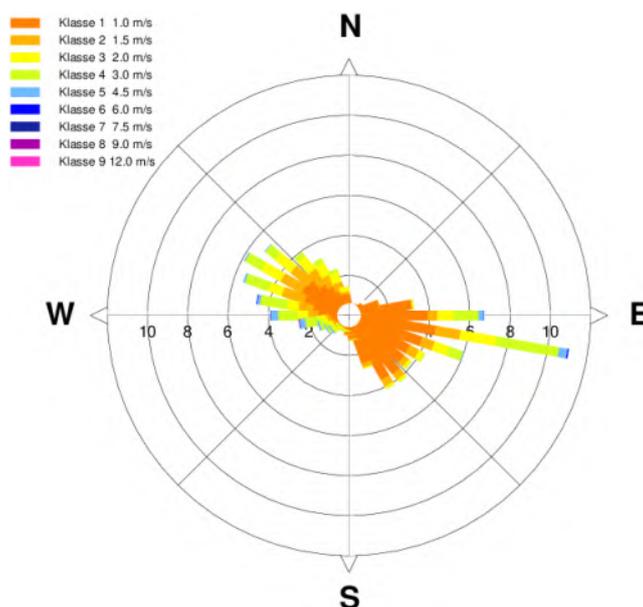


Abbildung 3-7: Verteilung der Windrichtung und Windgeschwindigkeit gemessen an der MeteoGroup Station Weil am Rhein. Als repräsentatives Jahr für den Zeitraum 01.01.2005 bis 31.12.2017 wurde das Jahr 2012 bestimmt.

Im Süden von Weil am Rhein wird eine Windmessung durch die MeteoGroup Deutschland GmbH (Breite: 47,587°; Länge: 7,618°; Höhe: 262 m ü. NHN) durchgeführt. Abbildung 3-7 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen, die auf der Ausbreitungszeitreihe (AKTerm) beruht. Die Länge der Balken gibt an, wie häufig der Wind aus der jeweiligen Richtung weht. Die Farbe der Balken stellt die jeweiligen Windgeschwindigkeiten dar. Die Häufigkeitsverteilung zeigt wie bereits bei der oben beschriebenen Messstation in Weil am Rhein ein ausgeprägtes Maximum aus östlicher Richtung. Durch die Lage der Messstation von MeteoGroup weiter im Westen, ist bereits eine leichte Winddrehung auf Südost erkennbar. Ein sekundäres Maximum zeigt sich bei Winden aus nordwestlicher Richtung. Die mittlere Windgeschwindigkeit beträgt ca. 1,3 m/s.

Die Häufigkeitsverteilung der Ausbreitungsklassen ist in Abbildung 3-8 dargestellt. Die stabilen Ausbreitungsklassen (I + II) sind mit einer Häufigkeit von etwa 64,9 % am stärksten vertreten. Die labilen Ausbreitungsklassen (IV und V) treten mit 19,8 % am zweithäufigsten auf, gefolgt von den neutralen Ausbreitungsklassen (III/1 + III/2), deren Häufigkeit etwa 15,3 % beträgt. Nachts bei wind-schwachen und wolkenarmen Wetterlagen (I und II, oberste Reihe der Windrosen in Abbildung 3-8) tritt Wind zumeist aus östlicher bis südöstlicher Richtung auf. Bei gleichen Verhältnissen in den Tagstunden (IV und V, unterste Reihe der Windrosen in Abbildung 3-8) treten häufiger Winde aus Nordwest auf, wobei auch östliche Winde eine hohe Häufigkeit aufweisen.

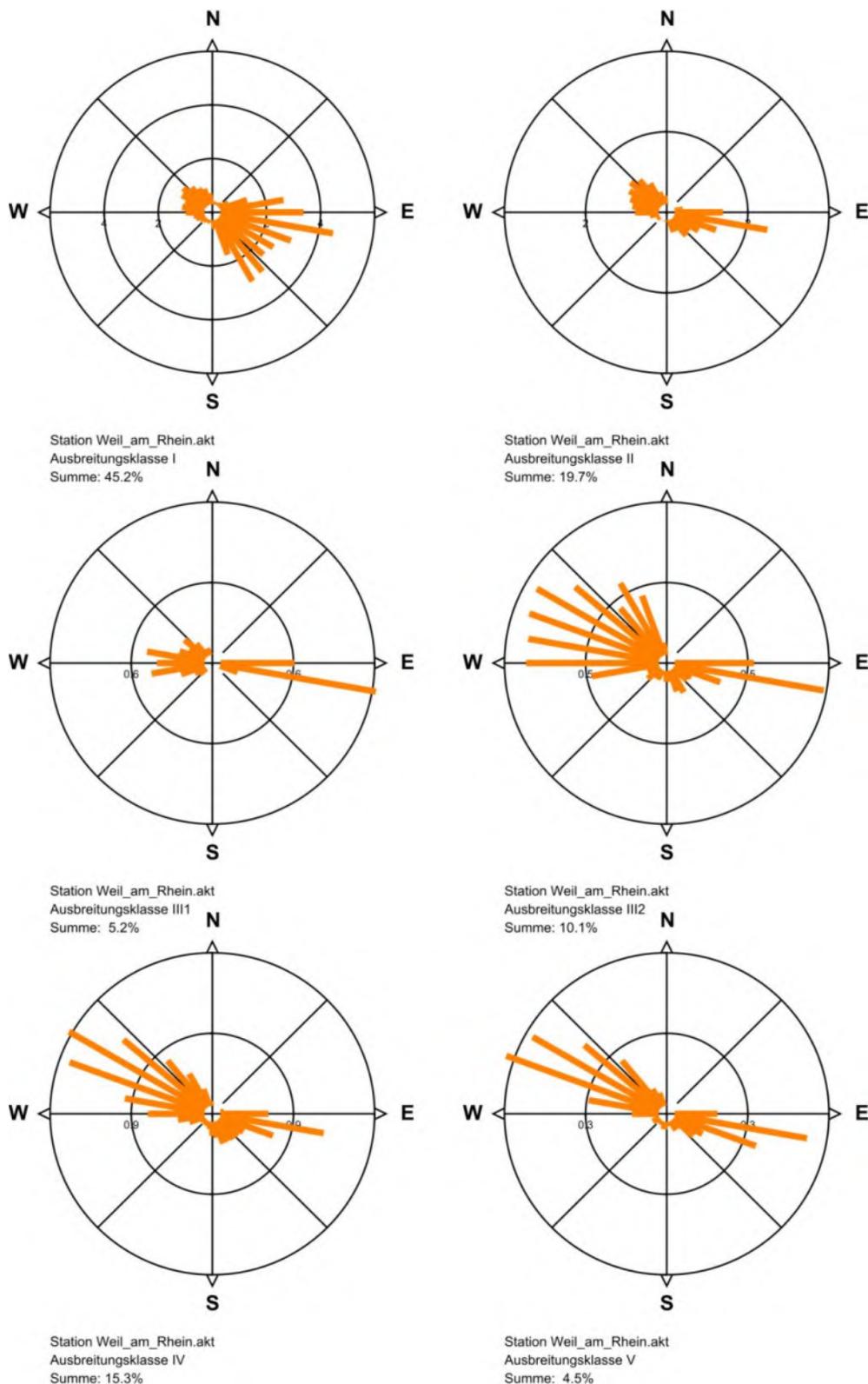


Abbildung 3-8: Häufigkeitsverteilung der Windrichtung bei unterschiedlichen Ausbreitungsklassen gemessen an der MeteoGroup Station Weil am Rhein. Repräsentatives Jahr 2012.

## 4 Auswirkungen des Klimawandels

Auf die Auswirkungen und Maßnahmen für unterschiedliche Akteure kann in einer Klimaanpassungsstrategie näher eingegangen werden. Hier sollen als Übersicht die klimatologischen Aspekte beleuchtet werden. Eine Übersicht über die betroffenen Bereiche findet sich auf der Webseite des Umweltbundesamts<sup>4</sup>.

In Tabelle 4-1 sind die potenziellen Änderungen der meteorologischen Größen dargestellt. Welche Auswirkungen sich auf die betroffenen Bereiche ergeben, ist in den anschließenden Kapiteln aufgeführt.

Tabelle 4-1: Veränderung meteorologischer Größen im Laufe des 21. Jahrhunderts.

Meteorologische Größe	Erwartete Änderung im 21. Jahrhundert
Lufttemperatur	EURO-CORDEX_Daten: +1,9 K bis +2,7 K (Mitte des Jhd.) +1,9 K bis +4,9 K (Ende des Jhd.)
Niederschlag	EURO-CORDEX-Daten: +2 % (Mitte des Jhd.) +1 % (Ende des Jhd.) Innerhalb dieser Trends muss die jahreszeitliche Variabilität berücksichtigt werden. Hierbei ist generell von winterlicher Zunahme des Niederschlags und sommerlicher Abnahme auszugehen. Gleichzeitig wird eine Zunahme an Starkregenereignissen erwartet. Saisonale Variabilität: +6 % Winter (Mitte des Jhd.) +14 % Winter (Ende des Jhd.) +6 % Frühling (Mitte des Jhd.) +7 % Frühling (Ende des Jhd.) -7 % Sommer (Mitte des Jhd.) -16 % Sommer (Ende des Jhd.) keine klare Tendenz im Herbst, eher sinkend
Starkwind	Zunahme <sup>5</sup>
Starkregen-Ereignisse	EURO-CORDEX-Daten: steigende Tendenz für Sommer (5 % – 15 %) und Winter (15 % – 25 %)
Hagel	Münchener Rückversicherung: etwa +0,2 Hageltage (Mitte des Jhd.)
Trockenheit	Sommerlicher Rückgang von Niederschlägen

<sup>4</sup><https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/werkzeuge-der-anpassung/klimalotse/uebersicht-betroffenheiten>

<sup>5</sup> Für Starkwind liegen keine belastbaren Prognosen vor. Quelle: Umweltbundesamt. Projekt-Nr. 24309; 2015, „Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel“. <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/vulnerabilitaet-deutschlands-gegenueber-dem-klimawandel>

## 4.1 Klimamodellierung

Das Klima unterliegt ständigen Schwankungen und Veränderungen, da die Witterungsabläufe während einzelner Jahre sehr unterschiedlich sein können. Zusätzlich zu den natürlichen Klimaschwankungen tragen anthropogene Einflüsse zu Klimaveränderungen bei. So ist seit etwa der Mitte des 20. Jahrhunderts eine Zunahme der globalen Lufttemperatur zu beobachten, welche mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Folge der anthropogen bedingten Freisetzung von Treibhausgasen ist. Auch in der Umgebung von Weil am Rhein wird eine Zunahme der Lufttemperatur beobachtet<sup>6</sup> (siehe Abbildung 4-1).

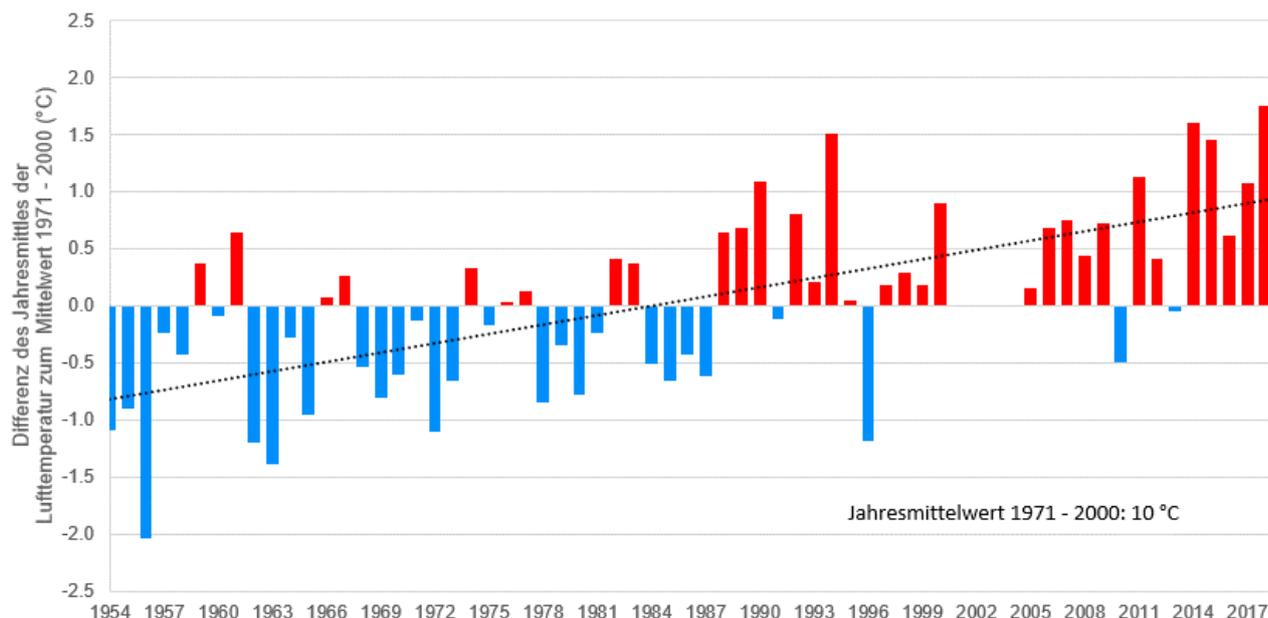


Abbildung 4-1: Beobachteter Klimawandel in der Umgebung von Weil am Rhein. Differenz der mittleren Lufttemperatur zum langjährigen Mittel in der Klimanormalperiode 1971 – 2000 von 1954 bis heute an der DWD-Messstation in Müllheim<sup>6</sup> (Daten: Deutscher Wetterdienst).

Eine wichtige Grundlage zur Projektion des Klimas spielt die Konzentration von Treibhausgasen und Aerosolen in der Atmosphäre, deren mögliche Entwicklung in so genannten Konzentrations-Pfaden (englisch „Representative Concentration Pathways“, RCPs aus dem 5. IPCC Bericht, 2013) klassifiziert werden. Bei den RCP-Szenarien bilden die Treibhausgaskonzentration und der Strahlungsantrieb den Ausgangspunkt.

In Abbildung 4-2 ist der Strahlungsantrieb für verschieden RCP-Szenarien dargestellt. Für den Zeitraum 1860 bis 2005 entspricht der Verlauf der Treibhausgas-Konzentrationen den beobachteten Werten. Für den Zeitraum 2006 bis 2100 entsprechen die RCPs verschiedenen *möglichen* Treibhausgas-Konzentrations-Pfaden in der Zukunft.

<sup>6</sup> In Weil am Rhein wurde keine langjährige Zeitreihe der Lufttemperatur gemessen. Die nächste Messstation des Deutschen Wetterdienstes befindet sich im etwa 20 km nördlich gelegenen Müllheim. Durch die räumliche Nähe und die gleiche topographische Lage dieser beiden Städte kann der beobachtete Temperaturverlauf in Müllheim als Referenz für Weil am Rhein herangezogen werden.

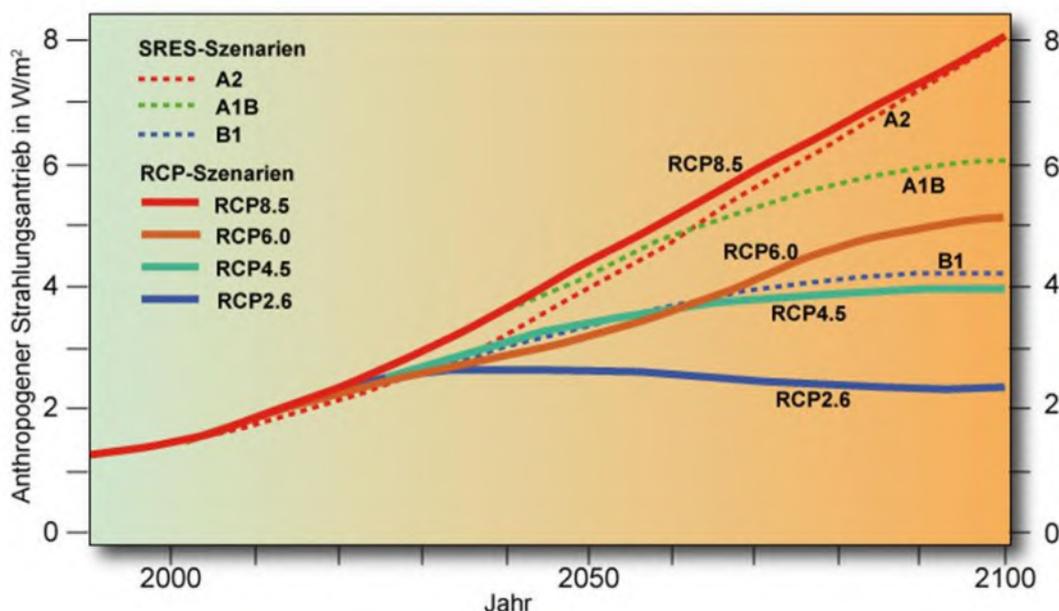


Abbildung 4-2: Vergleich des anthropogenen Strahlungsantriebs, welcher den verschiedenen SRES (4. IPCC Bericht 2007) und RCP-Szenarien (5. IPCC Bericht 2013) zugrunde liegt.

Tabelle 4-2: Beschreibung der „Representative Concentration Pathways“, die in der Stadtklimaanalyse Weil am Rhein betrachtet werden.

Szenario	Beschreibung
RCP 8.5	Bis über das Jahr 2100 ansteigender Strahlungsantrieb. Dieser beträgt im Jahr 2100 8,5 W/m <sup>2</sup> oder 1370 ppm CO <sub>2</sub> -Äquivalent. Der Strahlungsantrieb bleibt bis 2300 auf hohem Niveau.
RCP 2.6	"Peak-Szenario", d.h. Anstieg der Treibhausgasemissionen bis 2020 auf ca. 490 ppm, danach konstanter Treibhausgasemission- und Strahlungsantriebsrückgang auf etwa 2,6 W/m <sup>2</sup> im Jahr 2100. Durch den drastischen Rückgang der Emissionen wird eine globale Erwärmung um mehr als 2°C im Jahr 2100 sehr wahrscheinlich nicht überschritten. Das Szenario entspricht einem Ziel der Vereinbarungen von Paris.

Vom IPCC wurden vier Konzentrationspfade für den 5. Sachstandsbericht ausgewählt: RCP 2.6 (RF<sup>7</sup> relativ niedrig), RCP 4.5 (RF mittel), RCP6.0 (RF hoch) und RCP 8.5 (RF sehr hoch). Mit RCP 8.5 wird ein kontinuierlicher Anstieg der Treibhausgasemissionen beschrieben, der zum Ende des 21. Jahrhunderts einen Strahlungsantrieb von 8,5 W/m<sup>2</sup> erreicht. Der Strahlungsantrieb ist ein Maß für die Änderung der Energiebilanz der Erde durch Änderung der Wirkung der Strahlung aus dem Weltraum und wird in W/m<sup>2</sup> gemessen. RCP 2.6 beinhaltet sehr ambitionierte Maßnahmen zur Reduktion von Treibhausgasemissionen. Er führt zum Strahlungsantrieb von etwa 3 W/m<sup>2</sup> um 2040 und geht zum Ende des 21. Jahrhunderts auf einen Wert von 2,6 W/m<sup>2</sup> zurück. Die beiden anderen RCPs bewegen sich im mittleren, dazwischenliegenden Bereich. Für die Stadtklimaanalyse Weil am Rhein wurden RCP 8.5 und RCP 2.6 (Tabelle 4-2) gewählt, um eine große Spanne an möglichen zukünftigen Entwicklungen abzudecken.

Die Konzentrations-Pfade (RCPs) wurden repräsentativ für verschiedenste Kombinationen möglicher zukünftiger wirtschaftlicher, technologischer, demographischer, politischer und institutioneller

<sup>7</sup> RF – Radiative Forcing = Strahlungsantrieb

Entwicklung gewählt. In Moss et al. (2008) und van Vuuren et al. (2011) werden die RCPs und ihre Entwicklung im Rahmen des 5. IPCC-Berichtes (2013) ausführlich beschrieben.

Diese Konzentrationspfade werden in globalen Klimamodellen berücksichtigt, welche die weltweite Änderung des Klimas berechnen. Die Ergebnisse werden für einzelne Regionen mit Hilfe von regionalen Klimamodellen verfeinert, um genauere Aussagen über die Veränderung der mittleren Zustände, aber auch extremer Wetterereignisse zu treffen. Dazu werden die Ergebnisse der globalen Klimamodelle durch statistische oder dynamische Downscaling-Verfahren regionalisiert. Auf diese Weise können Einflüsse komplexer Topographie, Landnutzungsarten, sowie der Kontrast zwischen Ozean und Land besser repräsentiert werden (Wang et al. 2004). Statistische Verfahren berechnen bestehende Zusammenhänge zwischen Ergebnissen aus globalen Wettervorhersagemodellen und dem lokalen Wetter und wenden diese auf die Ergebnisse der globalen Klimamodelle an. Dynamische Verfahren simulieren die chemischen und physikalischen Prozesse direkt und verwenden die Ergebnisse der globalen Klimamodelle als Modellantrieb.

Ensemblemodelle, wie die EURO-CORDEX-Daten bündeln die Ergebnisse verschiedener regionaler Klimamodelle für jeweils ein Szenario und für eine Region (z.B. Europa) und ermöglichen somit eine Abschätzung der Unsicherheiten in den Klimamodellen und deren Parametrisierungen, den Emissionsszenarien und der natürlichen Klimavariabilität (Hewitt, 2004; Murphy et al. 2004).

Die Ergebnisse aus den EURO-CORDEX-Daten (vgl. Kapitel 6.1.3) werden im Folgenden beschrieben. Dabei werden zunächst die Klimaelemente Lufttemperatur und Niederschlag und anschließend klimatologische Kenntage analysiert.

## 4.2 Lufttemperatur

Die Lufttemperatur ist die Temperatur der bodennahen Atmosphäre. Deren Messung soll nicht von Sonnenstrahlung oder anderen Wärmeströmen beeinflusst werden. Sie ist ein wesentlicher Parameter bei der Bestimmung der Wärmebelastung.

In Abbildung 4-3 ist für die betrachteten Szenarien die berechnete Zunahme der Lufttemperatur für die Klimanormalperioden 2031 – 2060 und 2071 – 2100 im Vergleich zum Referenzzeitraum 1971 – 2000 dargestellt.

In beiden Szenarien tritt eine Temperaturerhöhung auf. Diese äußert sich bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts bei RCP 2.6 in einer Zunahme um 1,9 K, bei RCP 8.5 in einer Zunahme um 2,7 K. Zum Ende des 21. Jahrhunderts fällt die Spanne zwischen den Szenarien deutlich größer aus: Zunahmen von 1,9 K (RCP 2.6) und 4,9 K (RCP 8.5). Da bei Szenario RCP 2.6 davon ausgegangen wird, sofortige Maßnahmen zur Emissionsminderung zu ergreifen, stagniert die Änderung der Lufttemperatur bei 1,9 K bis Ende des 21. Jahrhunderts.

Die grundsätzlich festgestellte Temperaturerhöhung wirkt sich außerdem auf die in den folgenden Kapiteln betrachteten Parameter maßgeblich aus.

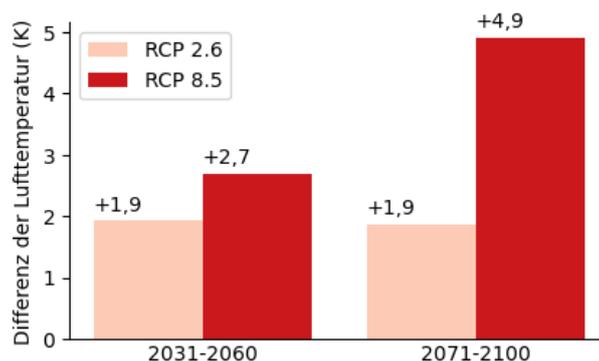


Abbildung 4-3: Änderung der Lufttemperatur (Median) bis Mitte und Ende des 21. Jahrhunderts gegenüber der Klimanormalperiode 1971 – 2000.

Die Zeitreihe des Medians der Lufttemperatur in Abbildung 4-4 verdeutlicht die Unterschiede der Szenarien nochmals. Der farblich hervorgehobene Unsicherheitsbereich, definiert als Wertebereich zwischen dem 15. und 85. Perzentil, verdeutlicht, dass sowohl innerhalb eines Szenarios als auch zwischen den Szenarien eine Spanne von bis zu 5 K existiert.

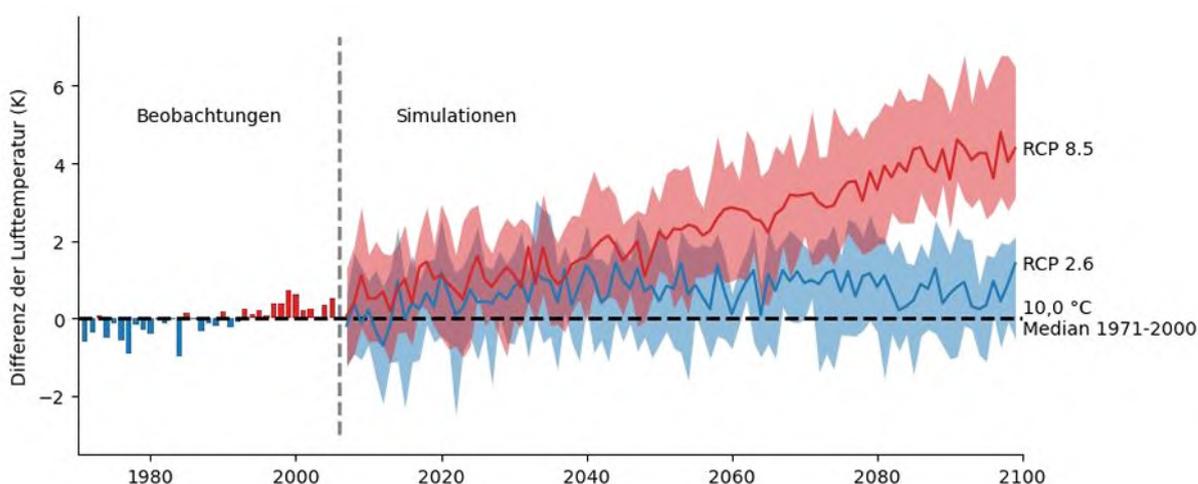


Abbildung 4-4: Lufttemperatur 1971 – 2100 für die Szenarien RCP 2.6 und RCP 8.5 (Daten: EURO-CORDEX).

### 4.3 Niederschlag

Niederschlag ist das in flüssiger oder fester Form aus Wolken auf die Erde fallende Wasser.

Im Frühjahr (Februar) fallen in der Regel die geringsten Niederschlagsmengen an. Das Maximum der Niederschlagsmenge fällt im Mai, Juni und August an. Der Juli weist im Mittel leicht geringere Regenmengen auf (Abbildung 4-5).

Für das 21. Jahrhundert wird keine eindeutige Änderung des Jahresniederschlags prognostiziert. Zwar berechnen die Szenarien im Mittel eine sehr geringe Zunahme von etwa 1 %, allerdings lässt sich durch die hohe Variabilität keine gesicherte Aussage über die Entwicklung treffen (Abbildung 4-6). Besonders deutlich wird dies für die Prognose für das Ende des 21. Jahrhunderts. Dort wird zwar im Mittel eine Zunahme von 1 % prognostiziert, die Unsicherheit reicht aber von über 6 % Zunahme bis hin zu einer Abnahme von 5 %.

### Niederschlagsverteilung 1947-2020

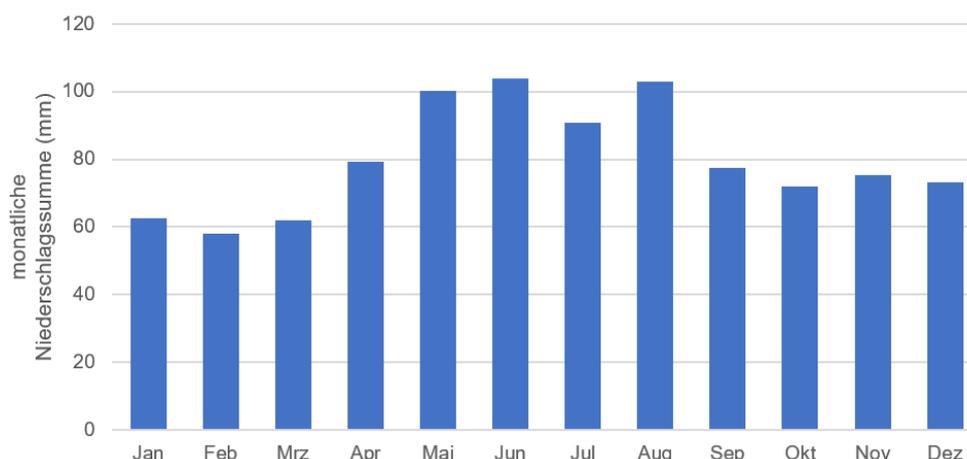


Abbildung 4-5: Mittlere monatliche Niederschlagsverteilung von 1949 – 2020 gemessen in Müllheim.

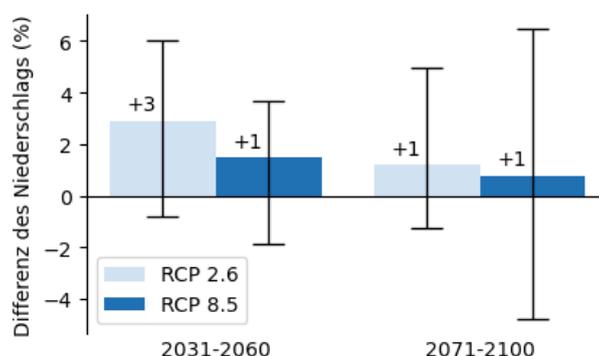


Abbildung 4-6: Niederschlagsänderung in % bis Mitte und Ende des 21. Jahrhunderts gegenüber der Klimanormalperiode 1971 – 2000. Die Fehlerbalken stellen den Bereich zwischen dem 15. und 85. Perzentil dar. Der Median (50. Perzentil) wird als Zahl angegeben.

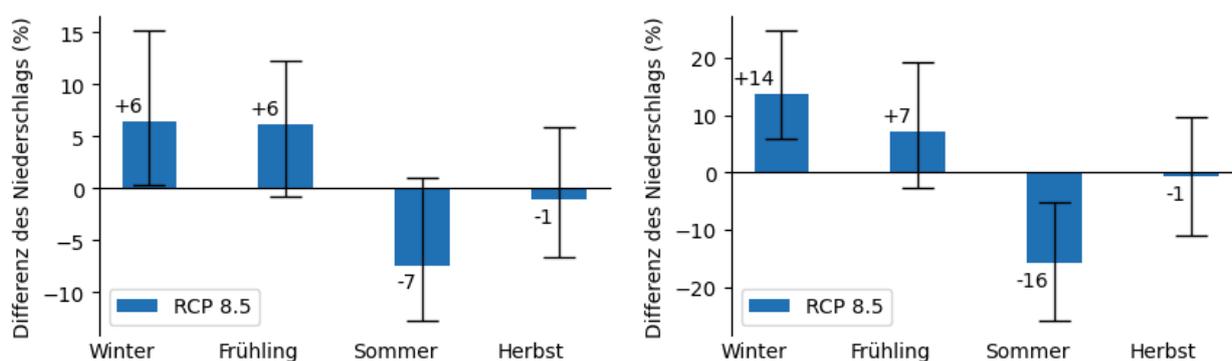


Abbildung 4-7: Saisonale Niederschlagsänderung für den Zeitraum 2031 – 2060 (links) und den Zeitraum 2071 – 2100 (rechts) gegenüber der Klimanormalperiode 1971 – 2000. Die Fehlerbalken stellen den Bereich zwischen dem 15. und 85. Perzentil dar. Der Median (50. Perzentil) wird als Zahl angegeben.

Bei der saisonalen Betrachtung des Niederschlags wird eine Verschiebung der Niederschlagsmenge vom Sommer in den Winter und Frühling deutlich (Abbildung 4-7). Während die Niederschlagsmengen im Winter und Frühling um 6 % (Mitte 21. Jhd.) bzw. um bis zu 14 % (Ende 21. Jhd.) zunehmen, wird mit einer Abnahme der Niederschlagsmenge im Sommer von 7 % bis Mitte des Jhd. bzw. 16 % bis Ende des Jhd. ausgegangen. Zu beachten sind die hohen Unsicherheiten,

wie auch bereits bei der Betrachtung der Jahresniederschläge. Allerdings ist die Tendenz der Verschiebung vom Sommerniederschlag zum Winter- und Frühlingsniederschlag durchaus zu erkennen.

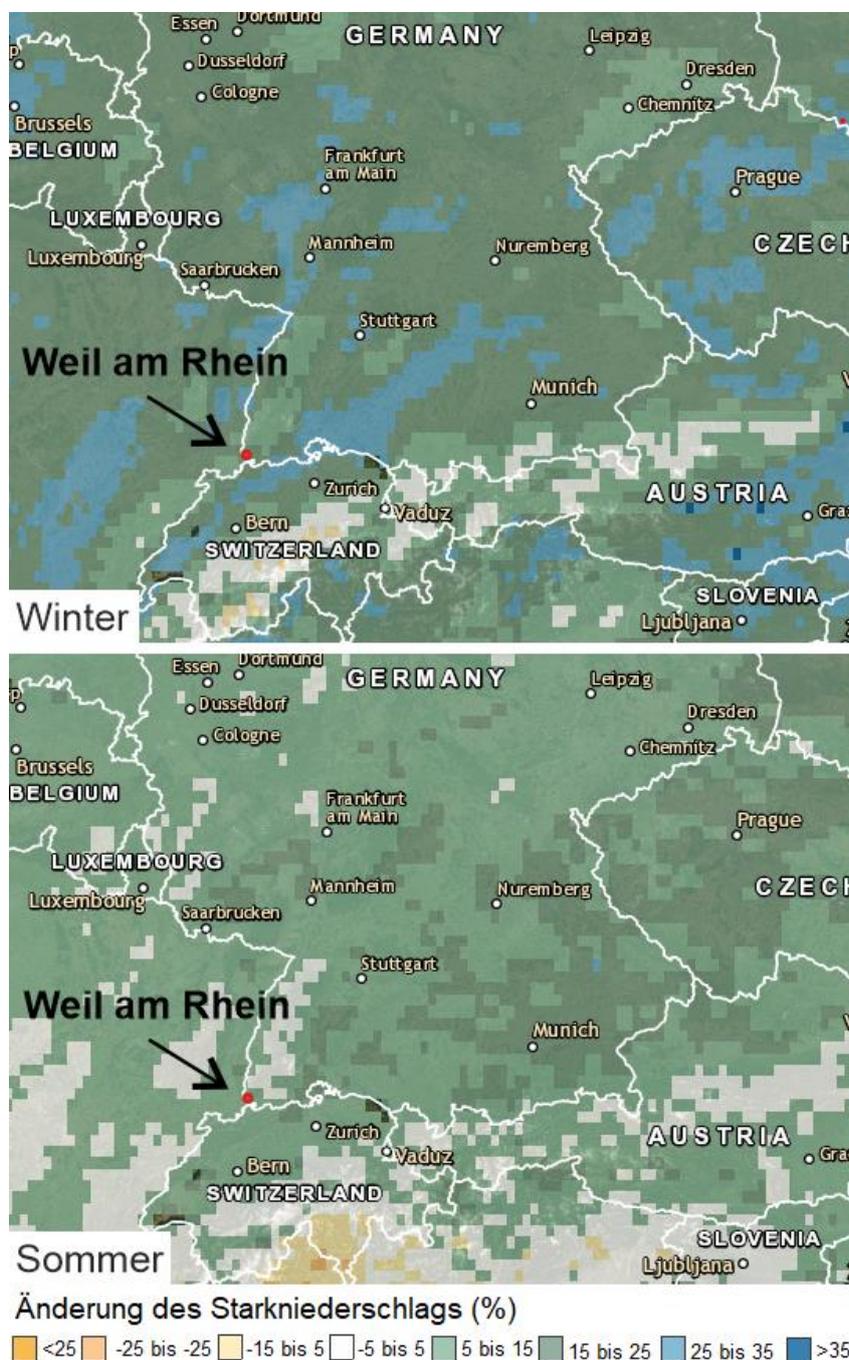


Abbildung 4-8: Änderung des Starkniederschlags im Winter (oben) und Sommer (unten) im Zeitraum 2071 – 2100 im Vergleich zum aktuellen Klima (1971 – 2000) bei Betrachtung des RCP 8.5. Starkniederschlag wird definiert als 95. Perzentil der Intensität aller Regenereignisse (Quelle: Europäisches Umweltamt 2020<sup>8</sup>).

<sup>8</sup> <https://experience.arcgis.com/experience/5f6596de6c4445a58aec956532b9813d>

Neben der Gesamtregenmenge ist auch die Entwicklung von Starkniederschlagsereignissen (z.B. kräftige Gewitter) von Bedeutung. Die Analyse zeigt, dass im Sommerhalbjahr mit einer leichten Zunahme von 5 % bis 15 % zu rechnen ist. Für den Winter wird eine Zunahme von 15 % bis 25 % für den Raum Weil am Rhein prognostiziert (Abbildung 4-8).

#### 4.4 Klimatologische Kenntage

In Tabelle 4-3 sind die klimatologischen Kenntage aufgeführt, die sowohl für den Zeitraum 1971 – 2010 (siehe Kapitel 3.2), als auch mit den Multi-Modell-Multi-Szenario-Klimadaten für die 30-jährigen Zeiträume (Klimanormalperioden) 2031 – 2060 und 2071 – 2100 ermittelt wurden.

Die hier untersuchten klimatologischen Kenntage beziehen sich bis auf die Hageltage direkt auf Weil am Rhein. Hagelereignisse treten sehr lokal und selten auf und werden nur an wenigen Stationen gemessen (s. Kapitel 4.4.3). Die EURO-CORDEX Klimamodelldaten weisen keine Daten zu Hagelereignissen aus, wodurch es nicht möglich ist belastbare Aussagen zu diesem Thema zu treffen.

Tabelle 4-3: *Klimatologische Kenntage für verschiedene Klimanormalperioden. Kenntage für zukünftige Perioden basieren auf dem Szenarium RCP 8.5.*

Klimatologischer Kenntag	1971 – 2000	2031 – 2060	2071 – 2100
Frosttage	69	42	21
Eistage	17	8	2
Sommertage	44	70	100
Heiße Tage	9	23	41

##### 4.4.1 Heiße Tage, Sommertage und tropische Nächte

Die Anzahl an heißen Tagen beschreibt in erster Linie ein Gütekriterium für den Sommer, was durch die Anzahl an Sommertagen ergänzt wird<sup>9</sup>.

Bis Mitte des 21. Jahrhunderts wird prognostiziert, dass die Anzahl der heißen Tage um etwa 14 Tage (RCP 8.5) ansteigt (Tabelle 4-3, Abbildung 4-9). Bis 2100 wird ein Anstieg um 32 Tage auf dann 41 Tage jährlich (RCP 8.5) erwartet. Zu beachten ist hier die große Unsicherheit, welche durch die Variabilität in der Temperaturzunahme bedingt ist (vgl. Abbildung 4-4).

Eine ähnliche Tendenz wie für die Anzahl an heißen Tagen lassen sich in Tabelle 4-3 auch für die Anzahl an Sommertagen erkennen. Bis Mitte des 21. Jahrhunderts könnte die Anzahl der Sommertage um etwa 26 Tage (RCP 8.5) ansteigen (Abbildung 4-9). Bis 2100 könnten es letztlich etwa 56 Tage (RCP 8.5) mehr sein als im Zeitraum 1971 – 2000.

<sup>9</sup>[www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html](http://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html)

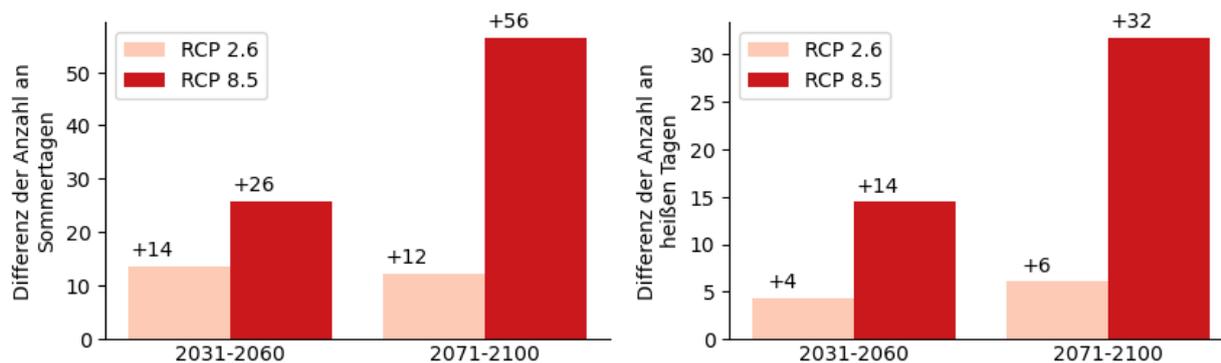


Abbildung 4-9: Änderung der Sommertage (links) und der heißen Tage (rechts) bis Mitte und Ende des 21. Jahrhunderts gegenüber der Klimanormalperiode 1971 – 2000.

Über die zukünftige Anzahl an Tropennächten kann aufgrund ihres seltenen Vorkommens aus statistischer Sicht keine aussagekräftige Tendenz abgeleitet werden. Mit einer Erhöhung der Lufttemperatur werden diese jedoch wie die heißen Tage ebenfalls häufiger auftreten.

#### 4.4.2 Frosttage

Die Anzahl an Frosttagen wird tendenziell abnehmen (Tabelle 4-3, Abbildung 4-10). Bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts wird sich deren Anzahl um 27 Tage (RCP 8.5) verringern. Bis zum Ende des Jahrhunderts sinkt die Anzahl um bis zu 48 Tage (RCP 8.5) im Vergleich zum Zeitraum 1971 – 2000 auf dann lediglich 21 Frosttage jährlich.

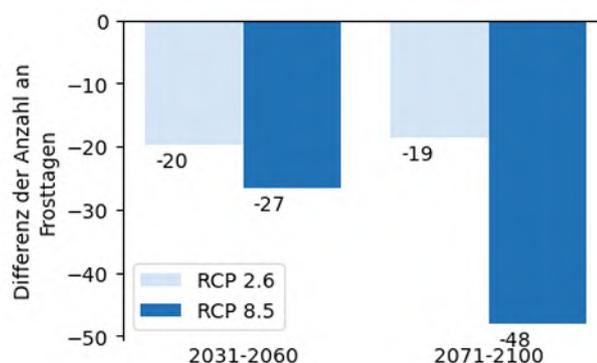


Abbildung 4-10: Änderung der Frosttage bis Mitte und Ende des 21. Jahrhunderts gegenüber der Klimanormalperiode 1971 – 2000.

In der Landwirtschaft (speziell im Weinbau) sind insbesondere Spätfröste im April und Mai von Bedeutung, da diese zu Erfrierungen im Austriebs- und Blühstadium führen. Obwohl ein Rückgang der Frosthäufigkeit die Frostschäden reduzieren könnte, führen die milden Winter häufig schon zu einem verfrühten Austrieb der Pflanzen, so dass die kritische phänologische Phase\* in Monate mit erhöhter Frostrate fällt.

#### 4.4.3 Hageltage

Hagel ist insbesondere für die Landwirtschaft von größerer Bedeutung, da Hagelschäden zu wirtschaftlichem Schaden durch Ertragsverluste führen können. Es ist jedoch schwierig, eine ortsspezifische Aussage über die Häufigkeit von Hageltagen<sup>10</sup> zu treffen, da diese räumlich sehr variabel sind und lediglich auf Beobachtungen beruhen. Allerdings gilt in Gebirgsregionen und Südwestdeutschland, wo Gewitter im deutschen Vergleich häufiger auftreten, eine höhere Hagelwahrscheinlichkeit. Denn Hagel tritt meist in Verbindung mit Gewittern auf.<sup>11</sup>

Vom DWD wurden die Hagelbeobachtungen von 10 Stationen für eine Statistik der mittleren jährlichen Anzahl an Hageltagen in Tabelle 4-4 zusammengetragen. Im Mittel gibt es in deutschen Orten 1 bis 2 Hageltage pro Jahr. Während die Küstengebiete und Inseln etwas unterhalb dieses Mittels liegen (z.B. Helgoland 0,7 Hageltage), kommen in gebirgigen Regionen und Südwestdeutschland bis zu 5 Hageltage wie am Feldberg vor.

Tabelle 4-4: Häufigkeit der Tage mit Hagel für den Zeitraum: 1981 – 2010. Inseln: kursiv, Berggipfel: GROSSBUCHSTABEN. Quelle: [https://www.dwd.de/DE/leistungen/unwetterklima/hagel/hagel\\_node.html](https://www.dwd.de/DE/leistungen/unwetterklima/hagel/hagel_node.html)

Stationen	Höhe über NN (m)	Mittlere jährliche Anzahl der Tage mit Hagel
Hamburg-Fuhlsbüttel	11	1,3
Potsdam	81	1,5
Köln-Bonn	92	1,5
Frankfurt-Flughafen	100	1,1
Stuttgart-Echterdingen	371	2,3
München-Flughafen	446	1,5
<i>Helgoland</i>	4	0,7
<i>Kap Arkona</i>	42	0,9
BROCKEN	1134	2,0
WASSERKUPPE	921	2,0
FELDBERG (Schwarzwald)	1490	4,6
ZUGSPITZE	2964	3,8

Für Weil am Rhein ist als Ort in Südwestdeutschland mit einer Hagelwahrscheinlichkeit von ca. 2 Hageltagen pro Jahr auszugehen, wobei eine jahreszeitliche Variabilität zu berücksichtigen ist (vgl. Abbildung 4-11). Daher treten mit höherer Wahrscheinlichkeit Hagelereignisse in den Sommermonaten auf, wenn die Wahrscheinlichkeit für Gewitter und die Luftfeuchtigkeit hoch sind.

Eine Analyse der Münchner Rückversicherung geht von 0,75 bis 1 Tag mit Hagel in der Region Weil am Rhein aus (Abbildung 4-12)<sup>12</sup>.

<sup>10</sup> Tage, an denen Hagel unabhängig von der Größe auftritt

<sup>11</sup> [https://www.dwd.de/DE/leistungen/unwetterklima/hagel/hagel\\_node.html](https://www.dwd.de/DE/leistungen/unwetterklima/hagel/hagel_node.html)

<sup>12</sup> Diese Zahlen basieren auf einer Studie von Räder et al (2018). Die geringere Anzahl an Hageltagen ist unter anderem auf die Verwendung von Reanalysedaten mit einer räumlichen Auflösung von 0,75° und einer zeitlichen Auflösung von 6 Stunden zurückzuführen. Diese Auflösungen sind relativ grob im Vergleich zur räumlichen und zeitlichen Skala eines Gewitter- und Hagelereignisses.

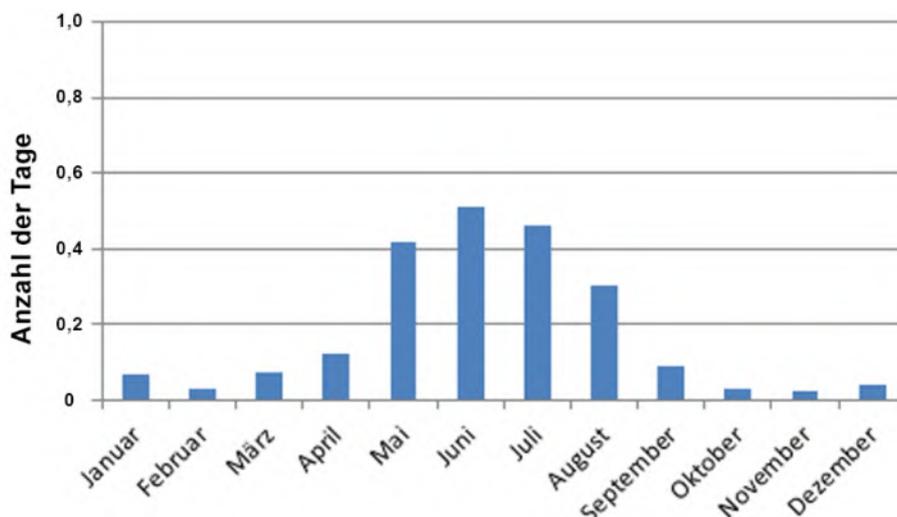


Abbildung 4-11: Mittlere Anzahl an Hageltagen pro Monat für die Klimanormalperiode 1981 – 2010. Als Datengrundlage wurden die oberen 10 Stationen ohne Inselstationen verwendet.<sup>13</sup>

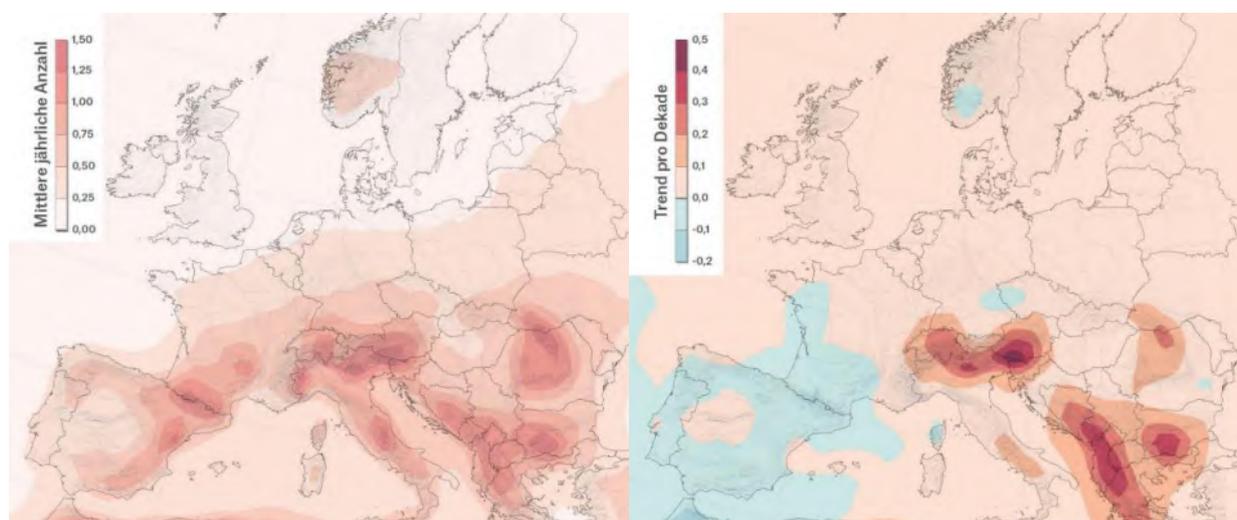


Abbildung 4-12: Mittlere jährliche Anzahl an Hagelereignissen (links) und der Trend pro Dekade in den 37 Jahren von 1979 – 2015 (rechts) (Quelle: Münchner Rückversicherung 2019<sup>14</sup>)

### Auswirkungen des Klimawandels

Aufgrund höherer Temperaturen erwärmen sich Gewässer stärker, wodurch die Verdunstung zunimmt. Gleichzeitig nimmt aufgrund einer wärmeren Lufttemperatur der Wasserdampfgehalt in der Atmosphäre zu. Dadurch wird bei Wolkenbildung und der Kondensation des Wasserdampfes lokal mehr Energie freigesetzt. Kunz et al. (2009) fanden heraus, dass die jährliche Anzahl an Gewittern in Baden-Württemberg zwischen 1974 bis 2003 im Mittel nicht angestiegen ist, sehr wohl aber der Hagelschaden und die Tage mit Hagel in den letzten drei Dekaden. Auch das Hagelpotenzial, abgeleitet aus Stabilitätsmaßen und Großwetterlagen, ist in Baden-Württemberg angestiegen (Brasseur et al. 2017). Die Münchner Rückversicherung weist einen Trend von etwa +0,2 Hageltagen pro Jahr im Raum Weil am Rhein aus (Abbildung 4-12). Im 21. Jahrhundert könnte die Anzahl an Hageltagen im Raum Weil am Rhein weiter zunehmen (Brasseur et al. 2017).

<sup>13</sup> [https://www.dwd.de/DE/leistungen/unwetterklima/hagel/hagel\\_node.html](https://www.dwd.de/DE/leistungen/unwetterklima/hagel/hagel_node.html)

<sup>14</sup> [www.munichre.com/topics-online/de/climate-change-and-natural-disasters/climate-change/hail.html](http://www.munichre.com/topics-online/de/climate-change-and-natural-disasters/climate-change/hail.html)

## Schäden

Die normalisierten **Schäden** aufgrund von schweren Gewittern in Europa sind signifikant gestiegen. Dies liegt nicht nur an der zunehmenden Zahl an Hagelereignissen in Südwestdeutschland (vgl. Abbildung 4-12). Es gibt Hinweise auf eine höhere **Schadenanfälligkeit** moderner Gebäude in Zentraleuropa. In der Schweiz, wo die Baustandards ähnlich wie in Deutschland sind, lag der Anteil beschädigter Gebäude bei neueren Baujahren systematisch höher als bei älteren. Bei Hagelschlägen im Kanton Aargau erlitten etwa 8 % der Gebäude aus den 1940er Jahren Schäden, bei Gebäuden mit Baujahr ab 2000 waren es 15 %. Moderne Häuserfassaden sind bei schweren Hagelereignissen besonders schadenanfällig, da Hagelkörner häufig durch den Wind schräg auftreffen. So kann Hagel bei modernen Wärmedämmsystemen den oft dünnen Oberputz abschlagen und so das Gebäude durch Nässe beschädigen. Aufwändige Fassaden moderner Geschäftsgebäude sowie Solaranlagen können ebenfalls abhängig von der Hagelgröße zu erheblichen Einzelschäden führen. Abbildung 4-13 zeigt beispielhaft typische Schadensbilder in Abhängigkeit zur Hagelgröße.

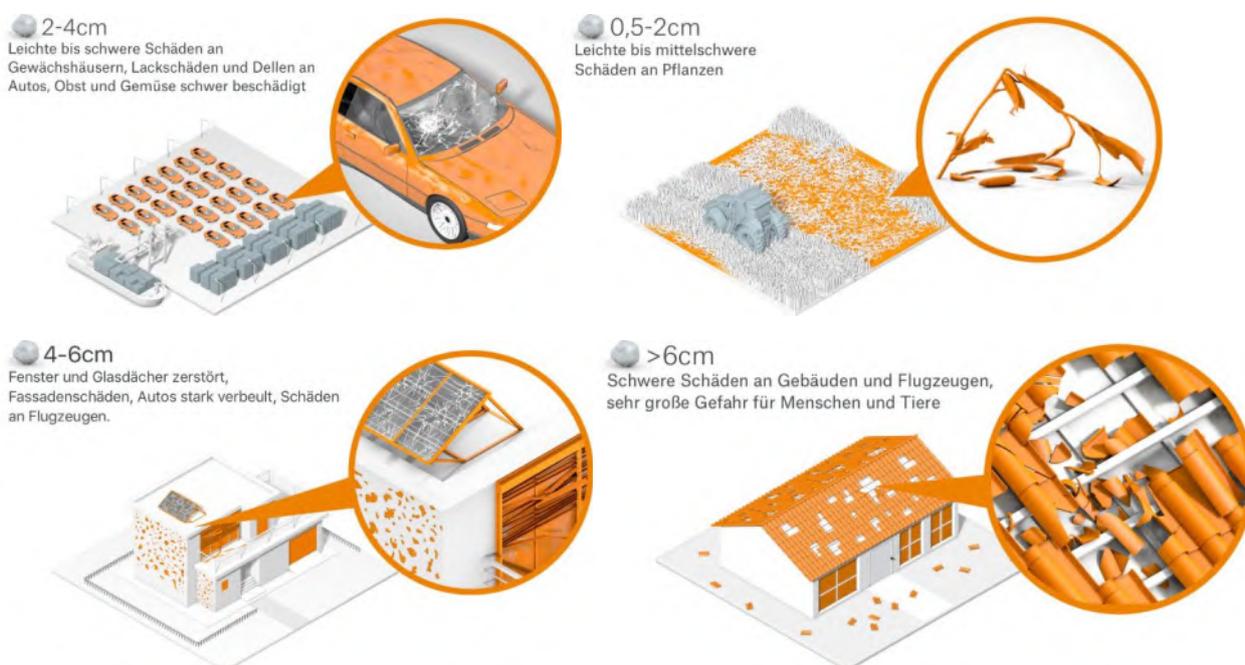
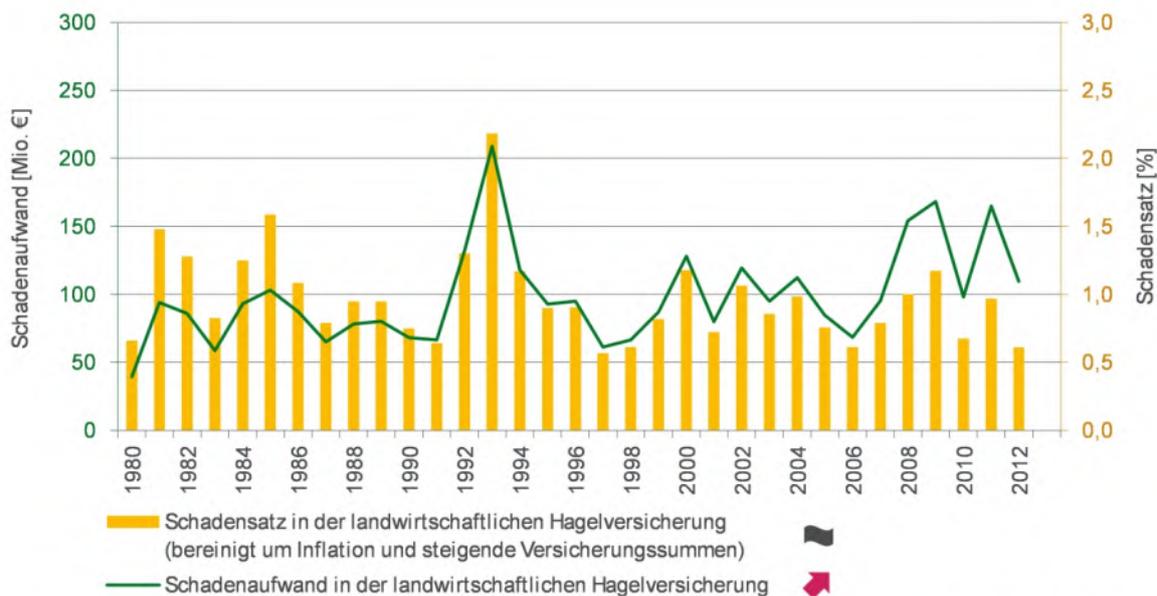


Abbildung 4-13: Verschiedene Hagelgrößen und Schadenbilder (Quelle: Münchner Rückversicherung 2019)

In der Landwirtschaft entstehen durch Hagelereignisse direkte und indirekte Schäden. Neben dem Ernteausfall sind dies der Verlust der Marktpräsenz in einem Hageljahr, die mangelnde Auslastung vorhandener betrieblicher Infrastruktur oder auch ein erhöhter Ernte- und Sortieraufwand.

In Abbildung 4-14 sind Schadenaufwand und Schadensatz in der landwirtschaftlichen Hagelversicherung abgebildet. Der Schadensatz erlaubt keine direkten Rückschlüsse auf die Anzahl und Schwere von Hagelereignissen. Es ist jedoch auch kein eindeutiger Trend zu erkennen.



Datenquelle: Institut für Agribusiness (Technische Ziffern Hagel)

Abbildung 4-14: Schadensaufwand und Schadensatz in der landwirtschaftlichen Hagelversicherung (Quelle: UBA <https://www.umweltbundesamt.de/lw-i-4-das-indikator#textpart-1>)

## 5 Vorgehensweise

Für die Stadtklimaanalyse Weil am Rhein sind umfangreiche Modellierungen und Analysen durchgeführt worden. In Abbildung 5-1 ist die Vorgehensweise in einem Flussdiagramm skizziert. Es verdeutlicht übersichtlich den Weg von den Datengrundlagen über die Simulationen hin zur Bewertung von Ausgleichs- und Wirkungsräumen.

Meteorologische Phänomene erstrecken sich über mehrere Skalen. Bei Stadtklimaanalysen spielen die Mesoskala mit einer Ausdehnung von mehreren Kilometern und die Mikroskala, bei der Einzelhindernisse (Gebäude, Bäume, etc.) explizit berücksichtigt werden, die wesentliche Rolle.

Um die Strömungsverhältnisse der Mesoskala – insbesondere Kaltluftabflüsse – zu modellieren, müssen großräumige Nutzungs- und Geländestrukturen berücksichtigt werden, so dass die wesentlichen Kaltlufteinzugsbereiche erfasst werden. Die Nutzung bestimmt u.a. die Erwärmung der Oberflächen und der Luft in den Tagstunden bzw. die Abkühlung und damit die Kaltluftproduktion in den Nachtstunden. Die Rauigkeit des Geländes beeinflusst das bodennahe Fließverhalten. Das Relief bestimmt die Strömunglenkung und beeinflusst den Antrieb der Strömung.

Zur Bestimmung kleinräumiger stark variierender Größen der Mikroskala wie z.B. der Physiologischen Äquivalenttemperatur (PET) bedarf es der Berücksichtigung der Einzelhindernisse. Nur dann kann ermittelt werden, ob beispielsweise ein Aufenthaltspunkt verschattet oder besonnt wird, was sich stark auf die gefühlte Temperatur auswirkt.

Die Eingangsdaten für die Modellrechnungen werden auf Basis der aufbereiteten Datengrundlagen erstellt. Die Modellergebnisse werden hinsichtlich der Gunstfaktoren (z.B. Kaltluftabflüsse) und der Ungunstfaktoren (Belastungen) ausgewertet. Aus den Ungunstfaktoren und der Empfindlichkeit der Bevölkerung (Bevölkerungsdichte) ergeben sich die Betroffenheiten. Aus der Zusammenschau der Gunstfaktoren und ihrer Intensität sowie der Betroffenheit werden die relevanten Ausgleichsflächen ermittelt. Die Klimaanalyse- und Planungshinweiskarte, erstellt in Anlehnung an die VDI 3787 Blatt 1 (2015), entsprechen einer Zusammenstellung sämtlicher Simulationsergebnisse und sind folglich das finale Resultat der Klimaanalyse.

Die Klimaanalysekarte, früher als Klimafunktionskarte bezeichnet, ist definiert als Karte, die die räumlichen Klimateigenschaften wie thermische, dynamische sowie lufthygienische Verhältnisse einer Bezugsfläche darstellt, die sich aufgrund der Flächennutzung und Topografie einstellen. Hierbei wird angenommen, dass „bei ähnlichen oder gleichen Flächennutzungsstrukturen [...] in der Regel von vergleichbaren mikroklimatischen Bedingungen auszugehen [ist], wenn die Reliefeigenschaften nicht stark variieren“ (VDI 3787 Blatt 1 (2015)). Zur Ausweisung solcher sogenannter Klimatope werden i.d.R. das Höhenmodell, Landnutzungsdaten (ATKIS und Luftbilder), Gebäudedaten und Biotop-/Vegetationskarten herangezogen

Die Planungshinweiskarte ist definiert als informelle Hinweiskarte, die eine integrierende Bewertung der in der Klimaanalysekarte dargestellten Sachverhalte im Hinblick auf planungsrelevante Belange enthält. Die Planungshinweiskarte leitet sich aus der Klimaanalysekarte ab und greift wie diese auf die Untersuchungsergebnisse der Klimaanalyse zurück. Wichtiges Element der Planungshinweiskarte ist die Darstellung der Belüftungsfunktion.

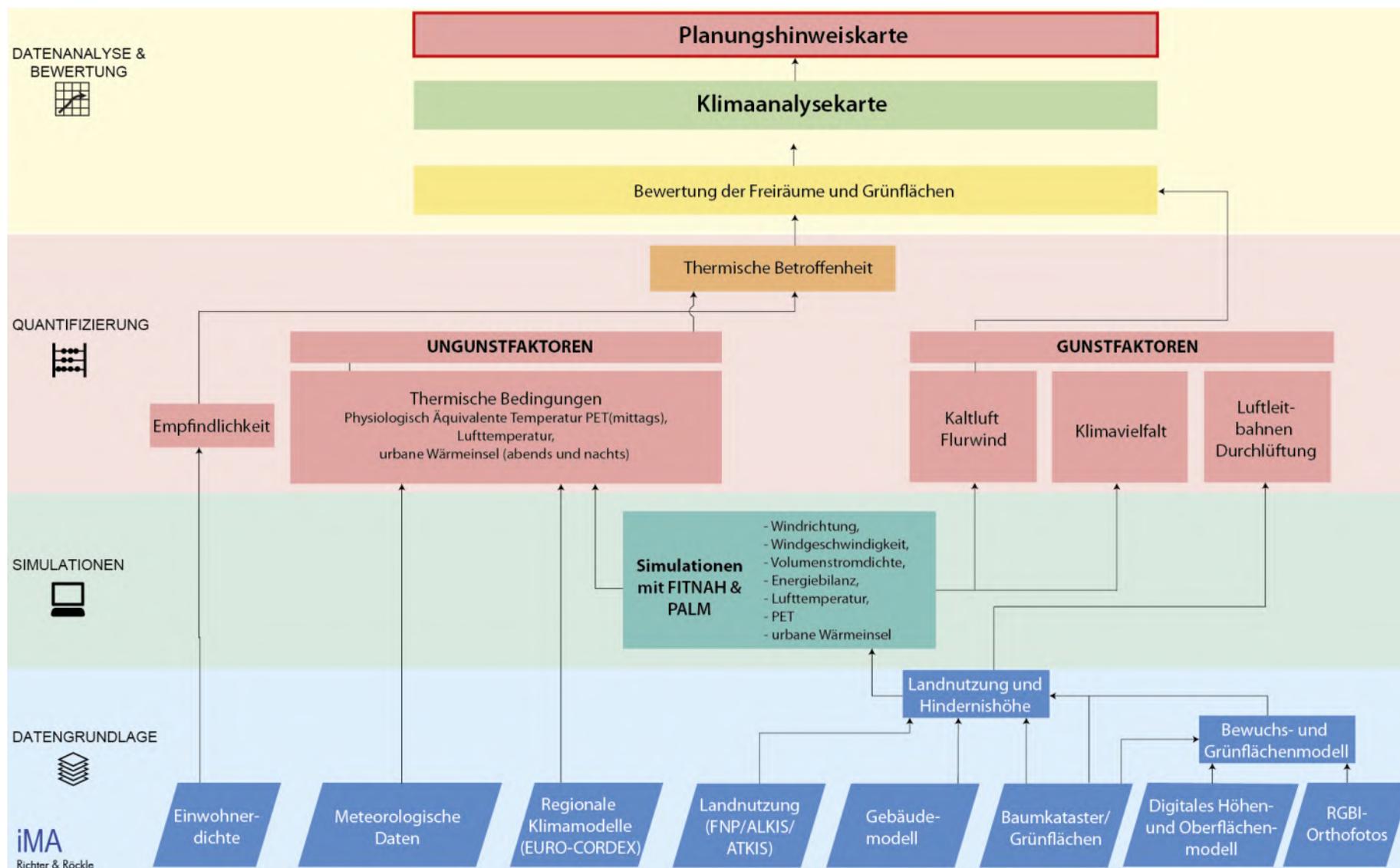


Abbildung 5-1: Vorgehensweise für die Stadtklimaanalyse Weil am Rhein.

## 6 Datengrundlage und Methoden

Räumliche Daten, wie das Gelände- und Gebäudemodell sowie die Landnutzung, werden für die Simulation meteorologischer Größen mit den Modellen FITNAH und PALM-4U benötigt. Aus den Modellergebnissen lassen sich Gunst- und Ungunstfaktoren berechnen. Dabei werden Kaltluftabflüsse, Luftleitbahnen und Klimavielfalt als Gunstfaktoren und Luftqualität, Urbane Wärmeinsel und thermische sowie human-biometeorologische Bedingungen als Ungunstfaktoren berücksichtigt. Darüber hinaus wird die Betroffenheit aus Ungunstfaktoren und Sensitivität analysiert (s. Anhang A1.2.3), sodass letztlich die Auswertung und Bewertung in Form von Klimaanalyse- und Planungshinweiskarten erfolgen kann.

Eine Übersicht der verwendeten Daten und Methoden ist in Abbildung 5-1 dargestellt. Eine ausführliche Beschreibung der Methodik befindet sich im Anhang A1.

### 6.1 Daten

#### 6.1.1 Topographie

Für die meso- und mikroskaligen Simulationen wird ein digitales Geländemodell (vgl. Abbildung 3-3) benötigt, welches auch die weiträumige Umgebung von Weil am Rhein beinhaltet. Dazu wurde das Geländemodell der Stadt Weil am Rhein in das Höhenmodell GRITOP-L integriert (siehe Tabelle 6-1). Das digitale Oberflächen- und Geländemodell (DOM bzw. DGM) wurde aus den Punktwolken der Laserscandaten berechnet.

Tabelle 6-1: Räumliche Daten für die Klimaanalyse Weil am Rhein.

Daten	Auflösung	Bereitgestellt durch
LaserscandatenLGL (DOM,DGM)	0,2m x 0,2m	Stadt Weil am Rhein (Stand 2005)
GRITOP-L		David Grawe, K. Heinke Schlünzen, 2018: Preparation of land-cover and orography data for GRITOP-L. METRAS Technical Report 12. Meteorologisches Institut, CEN, Universität Hamburg

#### 6.1.2 Nutzungsstruktur

Landnutzung und Oberflächenbeschaffenheit spielen für die Ausbildung von Mikroklimaten und damit auch für die Klimamodellierung eine elementare Rolle. Abhängig von der Beschaffenheit der Erdoberfläche wird die Energie der einfallenden lang- und kurzwelligigen Strahlung verschieden umgesetzt. Die klimarelevante Oberflächenbeschaffenheit nimmt bei Flächen mit ähnlichen Landnutzungsstrukturen gleiche Werte an.

Zur Definition von Landnutzungsstrukturen aus klimatischer Sicht (siehe Tabelle A1-1) wurden die vorhandenen Landnutzungsdaten aus dem Flächennutzungsplan (Abbildung 6-1) und weiteren Landnutzungsdaten (siehe Tabelle 6-2) eingeordnet.

Die der Stadtklimaanalyse zugrundeliegenden Datensätze wurden dem Auftragnehmer im Dezember 2020 übergeben. Änderungen der Flächennutzung und/oder Gebäude, die sich damals in Planung oder im Bau befanden, waren noch nicht vollständig in diese Datensätzen integriert. In den Geodaten sind noch nicht alle Neubaugebiete enthalten, da diese vom Landesvermessungsamt nicht zeitnah eingepflegt wurden (z.B. das Baugebiet Otterbach Süd, Einkaufscenter Dreiländergalerie).

Anschließend wurde der Anteil jeder Landnutzung pro Rechengitterzelle (50 m x 50 m) berechnet. Aus den anteiligen FITNAH-Landnutzungs-klassen wurde jeder Rechenzelle der vorherrschende Baumtyp, die Bewuchs- und Gebäudehöhe und der prozentuale Anteil der übergeordneten Landnutzungs-kategorien „versiegelte Fläche“, „Feld/Acker“, „Wald/Büsche/Bäume“ und „Wasser“ zugeordnet.

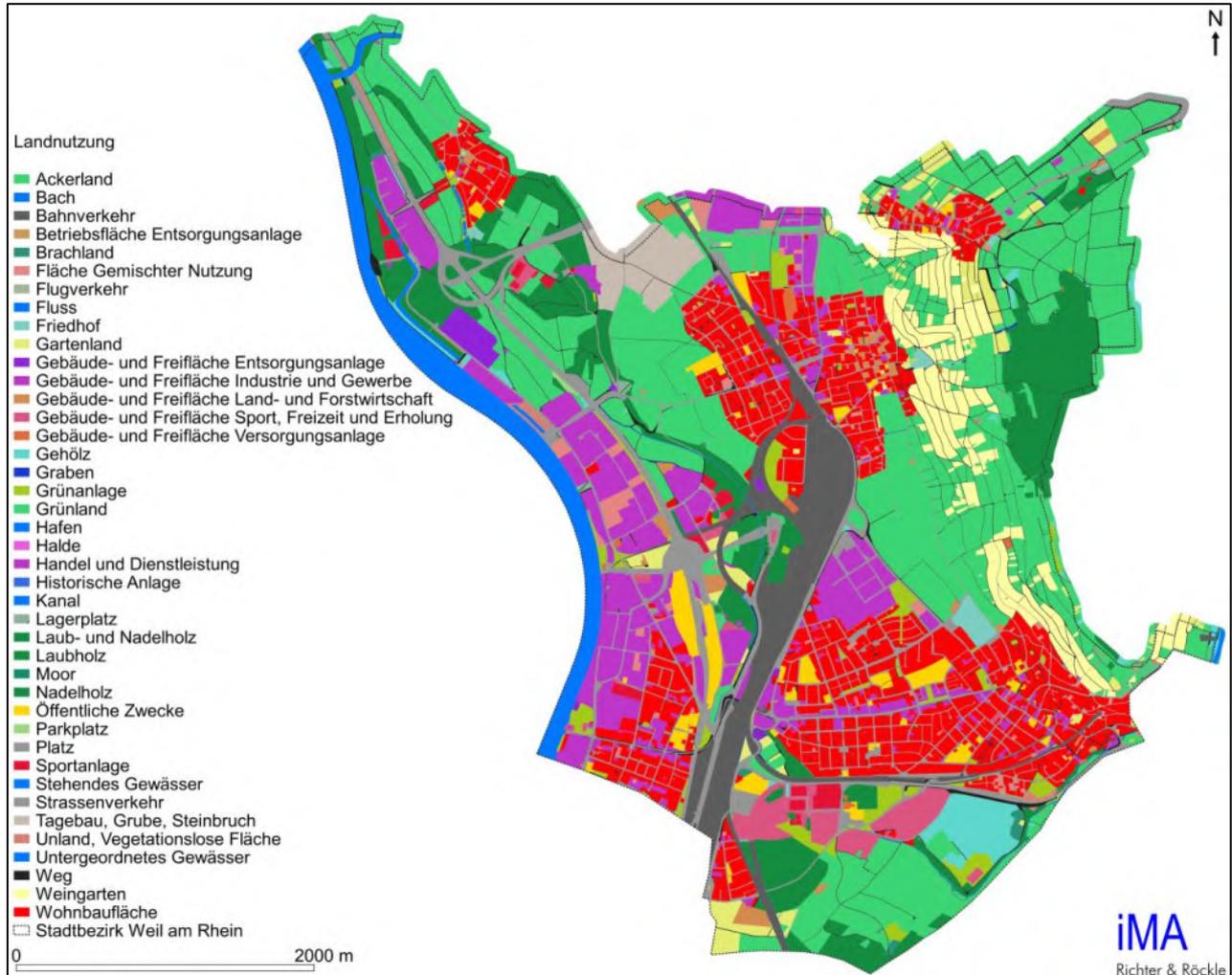


Abbildung 6-1: Aktuelle Landnutzung von Weil am Rhein.

Tabelle 6-2: Räumliche Daten für die Stadtklimaanalyse Weil am Rhein.

Daten	Auflösung/ Datenformat	Bereitgestellt durch
DOP (Digitales Orthofoto (RGBI))	0,2 m x 0,2 m	Befliegung 2020 (unbelaubter Zustand) und 2019 (belaubter Zustand)
ATKIS 2020	shp	Stadt Weil am Rhein (Stand: Dezember 2020)
Flächennutzungsplan 2022 FNP – Planflächen (Nov 2020)	shp	
Versiegelungsflächen	shp	
Bebauungspläne und Baulückenkatas- ter (Nov 2020)	shp	

CORINE (Coordination of Information on the Environment) Land Cover	100 m x 100 m	European Environment Agency (EEA) 2012
Einwohner pro Gebäude	shp	Stand: 19.11.2020
Baumkataster (2019)		Stand: 04.03.2021
Grünflächen/Freiflächenkataster		Stadt Weil am Rhein (Stand: April 2021)
Empfindliche Nutzungen (Alten- und Pflegeheime etc.)		Stadt Weil am Rhein (Stand: 10.02.2021)

### 6.1.3 Messdaten und Klimadaten

Zur klimatischen Einordnung der Stadt Weil am Rhein, Analyse der Indikatoren und Validierung der Simulationsergebnisse wurden folgende Daten und Quellen herangezogen:

Tabelle 6-3: Messdaten und weitere klimatologische Daten.

Daten	Auflösung	Bereitgestellt durch
Karten des DWDs	1 km x 1 km	<a href="https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/">https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/</a>
Messdaten des DWD		<a href="https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/">https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/</a>
EURO-CORDEX (Coordinated Downscaling Experiment - European Domain)	Tagesdaten	<a href="http://www.euro-cordex.net/">www.euro-cordex.net/</a>

Zur Beurteilung der Klimawirkung und möglicher Anpassungsstrategien werden Daten eines Multi-Modell-Multi-Szenario-Ensembles von Regionalen Klimamodellen auch im Hinblick auf ihre Robustheit und dazugehörigen Unsicherheiten analysiert (siehe auch Kapitel 4).

Für die Klimaanalyse Weil am Rhein wurden die Ergebnisse der 16 Regionalen Klimamodelle aus dem EURO-CORDEX-Projekt ([www.euro-cordex.net](http://www.euro-cordex.net), Jacob et al. 2014) mit dem Stand Januar 2020 ausgewertet. Diese stehen für den europäischen Raum in einer Auflösung von u.a. 12,5 km x 12,5 km zur Verfügung.

Um die Spannbreite möglicher klimawandelbedingter Auswirkungen aufzeigen zu können, werden die Emissionsszenarien RCP 8.5 und RCP 2.6 (vgl. Kapitel 4 auf Seite 25) für die Zeiträume 2031 – 2060 (Mitte des 21. Jhd.) und 2071 – 2100 (Ende des 21. Jhd.) analysiert. Mit RCP 8.5 wurde das „Worst-Case-Szenario“ abgedeckt. Das Szenario RCP 2.6 dient als Grundlage für die Modellrechnungen, welche eine Erwärmung der Mitteltemperatur von unter 2 K projizieren. Dem Szenario entsprechend müssten die Treibhausgasemissionen bereits ab 2020 abnehmen, was angesichts der bisherigen klimapolitischen Entscheidungen als wenig realistisch einzuschätzen ist.

## 6.2 Methoden

### 6.2.1 Mesoskalige Simulation mit FITNAH

Die mesoskaligen Simulationen der meteorologischen Größen (z.B. Lufttemperatur, Windrichtung und -geschwindigkeit) wurden mit dem Modell FITNAH angefertigt. Die räumliche Auflösung des FITNAH-Rechengebietes für die Stadtklimaanalyse Weil am Rhein beträgt horizontal 50 m x 50 m. Eine Beschreibung des Modells kann dem Anhang A1.2.1 entnommen werden.

Für die FITNAH-Simulation wurde von einer autochthonen Wetterlage ausgegangen. Die Luftdruckverteilung weist kaum Druckunterschiede auf (wie es z.B. im Kern von Hochdruckgebieten typischerweise der Fall ist) und es gibt keine übergeordnete bzw. überregionale Strömung. Lokalklimatische Besonderheiten im Untersuchungsgebiet können sich unter diesen Bedingungen am besten ausbilden.

Die meteorologischen Bedingungen für den Anfangszustand sind:

- Lufttemperatur um 18:00 Uhr bodennah im Mittel 30 °C,
- relative Feuchte 20 %,
- kein übergeordneter geostrophischer Wind,
- wolkenloser Himmel.

Die Ergebnisse der Simulation repräsentieren damit typische hochsommerliche Verhältnisse.

Um Einflüsse von Höhenzügen und kalte-luftrelevanten Geländeformationen (Schwarzwald, Jura, Vogesen, Oberrheinische Tiefebene) zu berücksichtigen, wurde ein sogenanntes Nesting-Verfahren angewandt, bei dem mehrere Rechengebiete unterschiedlicher Gitterweite ineinander geschachtelt werden. So kann einerseits ein hoher Detailgrad im Untersuchungsgebiet erzielt und andererseits großräumige Geländeformationen und deren Einfluss auf die lokalen Windsysteme berücksichtigt werden. Das Simulationsgebiet ist dargestellt in Abbildung 6-2. Das äußere Simulationsgebiet deckt eine Fläche von 128 km x 108 km mit einer räumlichen Auflösung von 200 m ab. Das innere Simulationsgebiet besitzt eine Größe von 65 km x 65 km und eine Auflösung von 50 m x 50 m. Damit können die typische Kanalisierung der Strömung entlang des Hochrheins (W- bzw. O-Winde) und des Rheintals (SSW- bzw. NNO-Winde) berücksichtigt werden.

Das Modell rechnet kontinuierlich in die Zeit mit einer feinen zeitlichen Auflösung im Sekundenbereich. Aus dem berechneten Tagesgang werden drei repräsentative Zeiträume ausgewertet:

- Beginn der Kaltluftabflüsse in den Abendstunden. Hier dominieren die lokalen, hangfolgenden Kaltluftabflüsse (2 Stunden nach Sonnenuntergang, 22:00 Uhr wahre Ortszeit)
- Voll ausgebildete, quasistationäre Kaltluftströmungssysteme im weiteren Verlauf der Nacht (8 Stunden nach Sonnenuntergang, 4:00 Uhr wahre Ortszeit)
- Thermische Bedingungen (Wärmebelastung) tagsüber (14:00 Uhr wahre Ortszeit)

Als Ergebnis liefert FITNAH flächendeckend die Strömungsverhältnisse (Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Volumenstromdichte), die Lufttemperatur sowie alle meteorologischen Größen zur Berechnung der Physiologisch Äquivalenten Temperatur (PET).

Zur Validierung der Modellergebnisse werden die oben beschriebenen Messdaten herangezogen. Die Winddaten werden mit besonderem Augenmerk auf die Strömungsverhältnisse zwischen Sonnenuntergang und Sonnenaufgang während autochthonen Wetterlagen im Hochsommer beurteilt.

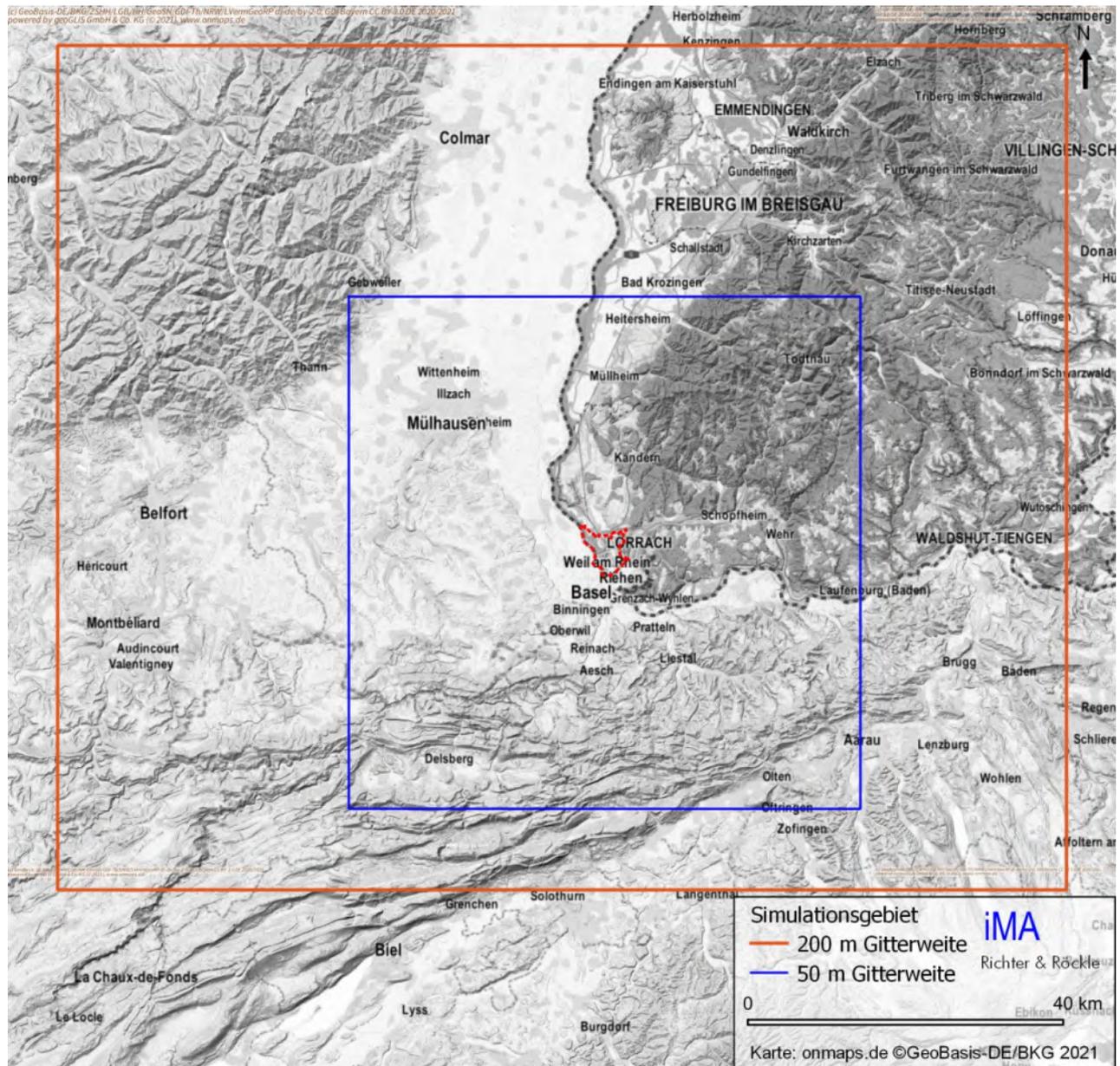


Abbildung 6-2 Simulationsgebiet für die mesoskalige Simulation mit FITNAH.

### 6.2.2 Mikroskalige Simulation mit PALM-4U

Das Stadtklimamodell PALM-4U basiert auf dem prognostischen turbulenzauflösenden Grobstruktursimulationsmodell (engl.: Large-Eddy simulation model, LES model) PALM und ist daher in der Lage, turbulente atmosphärische Strömungen in hoher räumlicher Auflösung (< 10 m) zu simulieren. Atmosphärische Turbulenz wird explizit aufgelöst und ermöglicht eine exakte Simulation der Auswirkung der Turbulenz auf die Wind- sowie Temperatur- und Feuchteverteilung. In der gewählten Auflösung von 3 m bzw. 5 m ist neben der guten Wiedergabe der baulichen Strukturen im Untersuchungsgebiet auch die detailgetreue Berücksichtigung der Vegetation möglich.

Die Landnutzung wird über verschiedene Bodenmodelle in der Simulation berücksichtigt. Dabei wird zwischen versiegelten Oberflächen, mit Vegetation bedeckten Oberflächen, Wasseroberflächen oder Gebäudestrukturen unterschieden. Je nach Klassifizierung werden entsprechende Parameter für die Beschaffenheit der Oberfläche angesetzt (Rauigkeit, Wärmeleitfähigkeit, Bodenfeuchte, usw.).

Durch die direkte Berücksichtigung von Konvektion und Turbulenz wird die an Oberflächen durch zum Beispiel Sonneneinstrahlung entstehende Wärme im Modellgebiet weitertransportiert und sorgt für eine realistische Temperaturverteilung.

Die Vegetation wird mit Hilfe eines Vegetationsmodells detailgetreu berücksichtigt. Dabei werden einzelne Bäume und Sträucher, sofern es die Gitterweite zulässt, explizit als Strömungshindernis sowie über den Schattenwurf sowohl dynamisch (Einfluss auf Windgeschwindigkeit und -richtung) als auch thermisch (Einfluss auf Temperatur und Feuchte) berücksichtigt.

Der hohe Detaillierungsgrad im Modell PALM-4U ergibt sich aus der hohen Auflösung, die es erlaubt, sowohl kleine Strukturen wie einzelne Bäume bis hin zu ganzen Stadtkreisen zu betrachten. Durch die Interaktion zwischen mikroskaligen (z.B. Umströmung einzelner Gebäude) und mesoskaligen Prozessen (z.B. städtische Wärmeinsel) können die Verhältnisse realitätsnah abgebildet werden.

PALM-4U wurde in der Vergangenheit bereits mehrfach erfolgreich im Bereich der Stadtklimafor- schung validiert und angewandt und wird seit Kurzem erfolgreich im gutachterlichen Bereich für Stadtklimaanalysen verwendet.

Wie bereits für die FITNAH-Simulationen wird auch für die PALM-4U Simulation eine wolkenarme windschwache Situation berücksichtigt. Da die gesamte Stadtfläche von ca. 6,2 km x 6,5 km durch technische Begrenzungen nicht in einer einzigen mikroskaligen Simulation betrachtet werden kann, werden mehrere mikroskalige Simulationen für Teilgebiete angefertigt. Für die Situation tagsüber werden zwei einzelne mikroskalige Simulationen mit jeweils einem Modellgebiet von 3,3 km x 1,8 km und 1,8 km x 1,8 km und einer Auflösung von 3 m betrachtet. Dabei wird der Fokus auf die Innenstadt und Haltingen gelegt (Abbildung 6-3). Für die Analyse der abendlichen Situation mit Kaltluftabflüssen ist es entscheidend, dass die Geländestrukturen innerhalb des Stadtgebiets mög- lichst vollständig von der mikroskaligen Simulation abgedeckt werden. Daher wird für die Betrachtung der Abend- und Nachtsituation ein Modellgebiet von 4,3 km x 3,8 km betrachtet (Abbildung 6-3). Die räumliche Auflösung beträgt für diesen Fall 5 m in alle Raumrichtungen.

Durch die geringe räumliche Ausdehnung der mikroskaligen Simulation können großskalige Ein- flussfaktoren wie Gebirgszüge oder große Talflächen nicht direkt in der Simulation berücksichtigt werden. Um die Auswirkungen dieser Faktoren auf die meteorologischen Größen Wind, Tempera- tur und Feuchte dennoch in der mikroskaligen Simulation mit einzubeziehen, wird in PALM-4U ein sogenanntes Nesting verwendet. An den Modellgebietsrändern werden die Daten der mesoskali- gen Simulation vorgegeben, welche alle relevanten Einflussfaktoren beinhalten. Auf diese Weise können auch Einflussfaktoren, welche außerhalb des mikroskaligen Modellgebiets liegen, indirekt berücksichtigt werden.

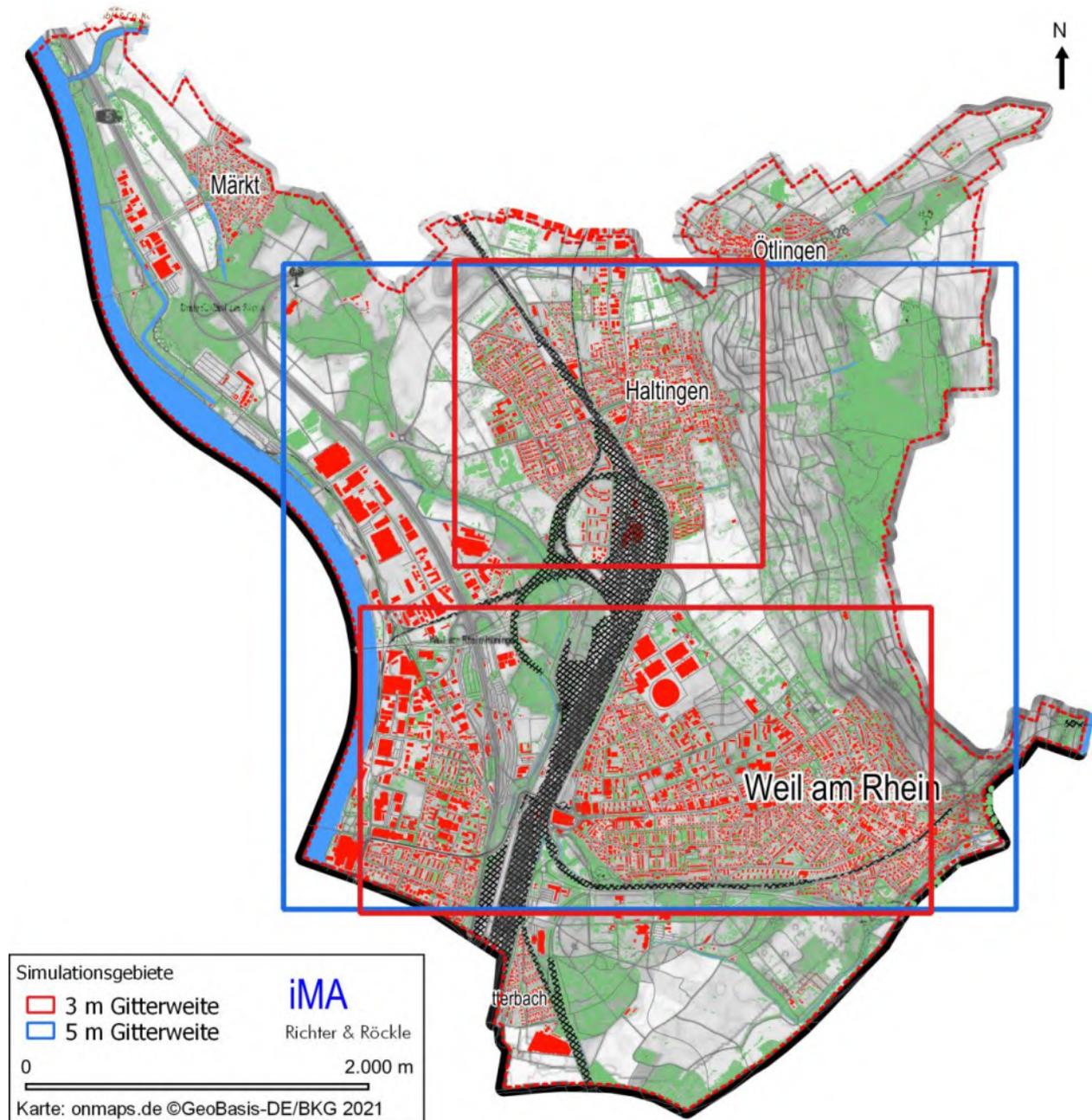


Abbildung 6-3 Simulationsgebiete für die mikroskaligen Simulationen mit PALM-4U.

### 6.2.3 Human-Biometeorologie

Thermische Indizes, wie die Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET, Mayer und Höppe 1987), berücksichtigen den integralen Effekt der meteorologischen Größen Lufttemperatur ( $T_a$ ), Luftfeuchte (VP), Windgeschwindigkeit ( $v$ ) sowie der Strahlungsflüsse ( $T_{\text{mt}}$ ) auf die menschliche Energiebilanz (siehe Abbildung 6-4). Die physiologischen Parameter Aktivität, Kleidung sowie weitere physische Faktoren werden dabei konstant gehalten.

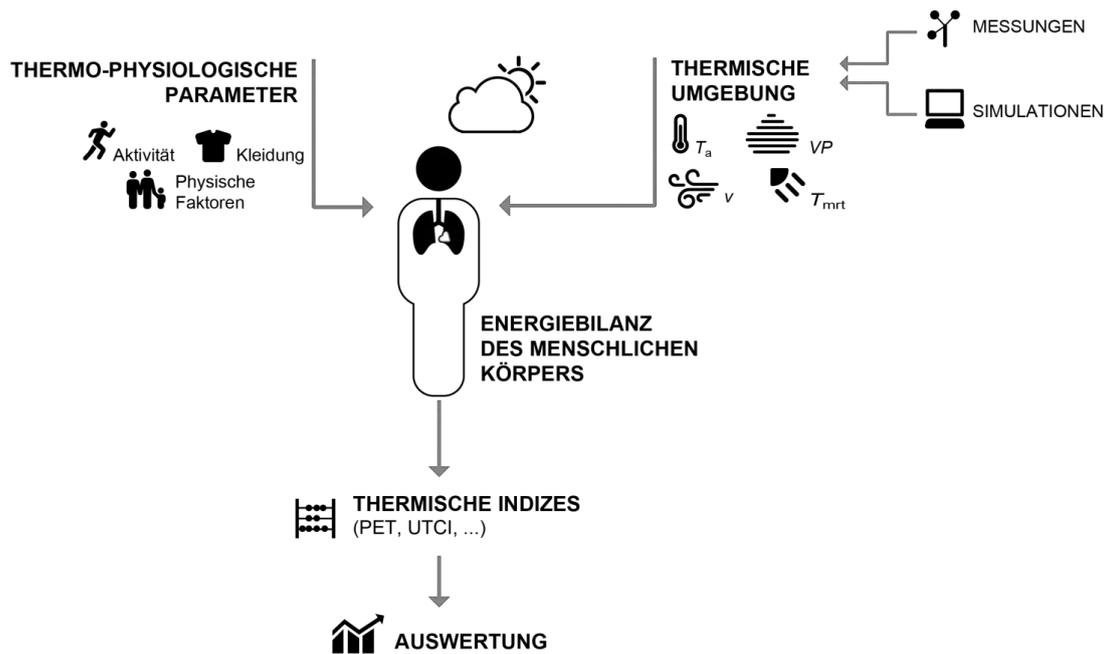


Abbildung 6-4: Fließdiagramm zur Veranschaulichung der Berechnung thermischer Indizes.

Zur Klassifizierung von Hitze- und Kältestress sowie zur Differenzierung des thermischen Komforts für den mitteleuropäischen Raum wurde in der vorliegenden Arbeit die PET-Bewertungsskala nach Matzarakis und Mayer (1997) verwendet (Tabelle 6-4).

Die Physiologisch Äquivalente Temperatur ist konform mit der VDI 3787, Blatt 2 und eignet sich aufgrund ihrer Definition besonders für die (Stadt-)Planung, wird aber auch im Bereich der Kurort-Zertifizierung (VDI 3787, Blatt 10) und im Bereich Tourismus angewandt.

Tabelle 6-4: Bewertungsskala von PET zur Quantifizierung der thermischen Verhältnisse und des Physiologischen Stresses bei Kälte- und Hitzebelastung (Matzarakis und Mayer, 1997).

PET (°C)	Thermische Sensitivität	Physiologischer Stress
< 4,1	sehr kalt	extremer Kältestress
4,1 - 8,0	kalt	starker Kältestress
8,1 - 13,0	kühl	moderater Kältestress
13,1 - 18,0	leicht kühl	leichter Kältestress
18,1 - 23,0	komfortabel (neutral)	kein thermischer Stress
23,1 - 29,0	leicht warm	leichter Hitzestress
29,1 - 35,0	warm	moderater Hitzestress
35,1 - 41,0	heiß	starker Hitzestress
> 41,0	sehr heiß	extremer Hitzestress

### 6.3 Ältere Gutachten

#### REKLIP (1995)

Im trinationalen Regio-Klima-Projekt (REKLIP) wurden Messungen und Simulationen durchgeführt und daraus der „Klimaatlas Oberrhein Mitte-Süd“ (1995) erstellt. Die räumliche Auflösung der Karten lag bei 1 km x 1 km, was für stadtplanerische Belange zu grob ist, aber einen guten Überblick über die Verhältnisse im Oberrheingraben und den Randhöhen zwischen Karlsruhe und Basel liefert. Für Details sei auf die Internetseite [www.reklip.org](http://www.reklip.org) verwiesen.

Exemplarisch sind in Abbildung 6-5 die simulierten Strömungsverhältnisse in 25 m ü. Grund bei Westwind bzw. Ostwind in der Höhe dargestellt. Während in den Höhenlagen die übergeordnete Strömung vorherrscht, findet man im Oberrheingraben eine Kanalisierung der Strömungen parallel zum Talverlauf. Bei Westwind in der Höhe stellt sich im Rheingraben eine südliche, bei Ostwind eine nördliche Strömung ein. Im Raum Weil am Rhein wurden eher schwache Winde berechnet. Die Auflösung lässt keine Differenzierung zu.

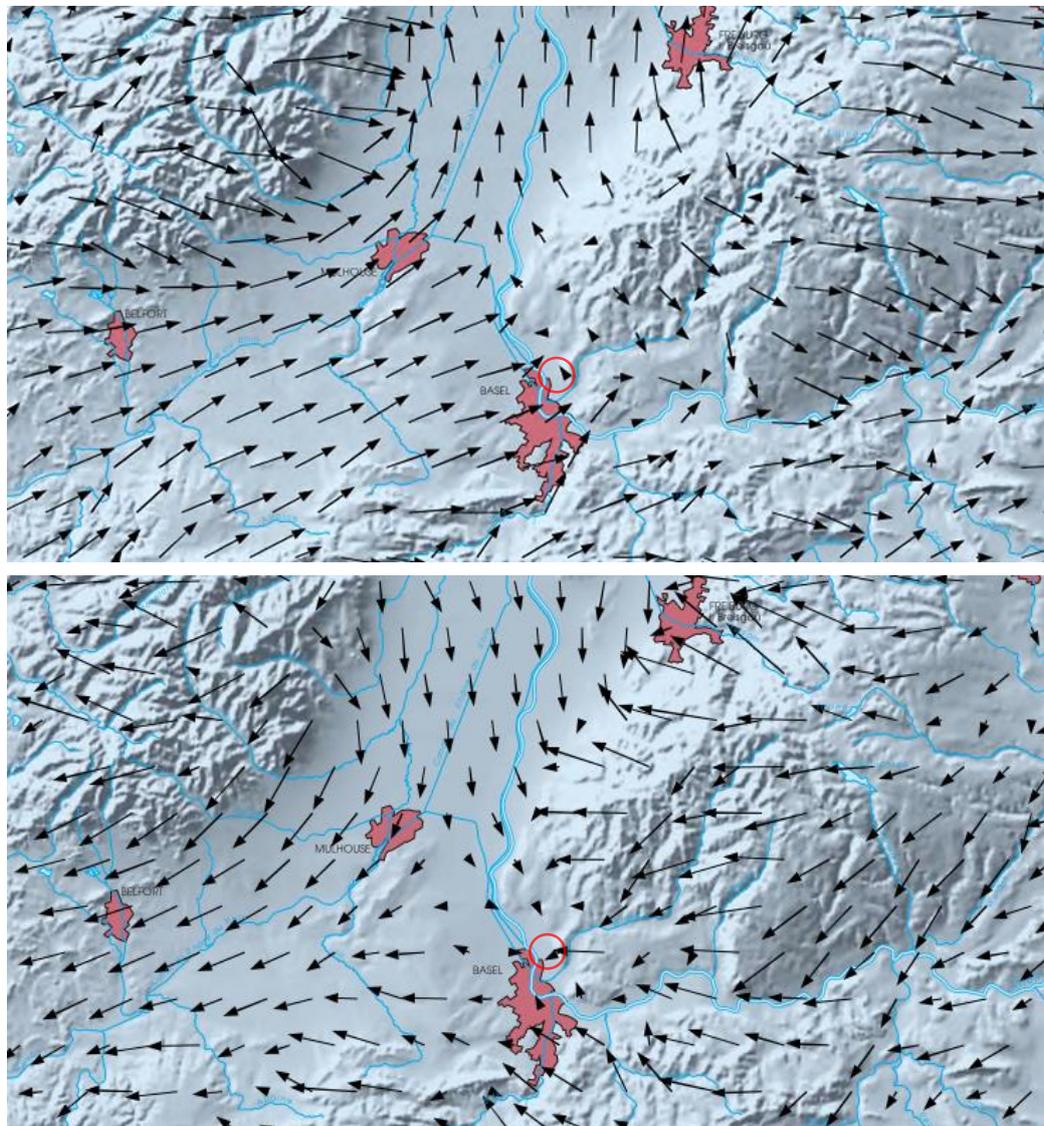


Abbildung 6-5: Ausschnitt mit berechneten Strömungsverhältnissen in 25 m über Grund bei Westwind in den Höhenlagen (oben) und Ostwind in den Höhenlagen (unten). Weil am Rhein wurde mit einem Kreis markiert.

## **Landschaftsrahmenplan Hochrhein-Bodensee (2007)**

Der Landschaftsrahmenplan Hochrhein-Bodensee wurde im Jahr 2007 vom Regionalverband Hochrhein-Bodensee veröffentlicht. Im Landschaftsrahmenplan wurde unter anderem das Schutzgut Klima und Luft im Raum Weil am Rhein untersucht.

Die südliche Rheinebene wurde als wärmebegünstigter Raum identifiziert und weist somit eher warme Bedingungen auf. Durch die nur geringe Belüftung der Rheinebene wurde die bioklimatische Situation im Bereich von Weil am Rhein als belastet bewertet. Die Analyse der Belüftungssysteme identifizierte ein zu schützendes Luftzirkulationssystem entlang der Rheinebene im westlichen Teil von Weil am Rhein sowie Hangwindzirkulationen vom Tüllinger Berg in Richtung Haltingen und der Kernstadt von Weil am Rhein (Abbildung 6-7). Die im südlichen Teil des Stadtgebiets identifizierte Luftströmung wurde als beeinträchtigt gewertet, da die Luft bereits vor Erreichen von Weil am Rhein weitere Siedlungsgebiete passiert und so mit Luftschadstoffen und Wärme angereichert ist. Der Verdichtungsraum Basel, zu dem auch Weil am Rhein gezählt wird, wird als Klimasanierungsgebiet eingestuft. Diese Gebiete gelten als sehr empfindlich gegenüber zusätzlichen Belastungen wie Emissionen aus Verkehr, Gewerbe und Industrie und Wärmeproduktion.

Es wird empfohlen, die Belastung durch Luftverunreinigungen, Aufwärmung und Schwüle zu minimieren. Schadstoffbelastungen sollen reduziert und die Bebauung in Ausgleichsräumen begrenzt werden. Zudem sollen Luftleitbahnen und Grünzüge erhalten und wenn möglich entwickelt werden, um die Versorgung von Siedlungsräumen mit Frischluft zu gewährleisten.

## **Klimaanalyse Basel (2019)**

Mit dem Klimawandel wird es in urbanen Gebieten zunehmend heißer. Vor diesem Hintergrund wurden die aktuelle klimatische Situation und ein Ausblick auf das Jahr 2030 flächendeckend für den Kanton Basel-Stadt modelliert ([www.bs.ch/nm/2019-klimaanalyse-kanton-basel-stadt-liegt-vor-rr.html](http://www.bs.ch/nm/2019-klimaanalyse-kanton-basel-stadt-liegt-vor-rr.html)). „Die Klimaanalysekarten zeigen, wo heutige und zukünftige Wärmeinseln sowie wertvolle kühlende Grünräume liegen und wo sich wichtige Durchlüftungsbahnen befinden. Die Modellierung zeigen, dass es bei sommerlichen Wetterlagen in Basel vermehrt thermisch belastete Siedlungsbereiche geben wird. Betroffen sind rund zwei Drittel der Fläche des Siedlungs- und Gewerberaums. Auch nachts wird die Wärmebelastung bis 2030 voraussichtlich weiter zunehmen. Zudem ist der Frischluftaustausch in den dicht bebauten Stadtquartieren bereits heute deutlich eingeschränkt. Dass der Rhein tagsüber zur Kühlung der unmittelbaren Umgebung beiträgt, war zu erwarten. In einer Sommernacht hingegen strahlt der Rhein aufgrund der hohen Wassertemperatur Wärme ab.“

Am nördlichen Randbereich der Untersuchung liegt Weil am Rhein. Exemplarisch wurde ein Ausschnitt aus der Klimaanalysekarte 2030 (Abbildung 6-6) dargestellt. Man erkennt, dass große Teile der Siedlungsbereiche – auch in Weil am Rhein – überwärmt sein werden.

Die Ergebnisse weisen Ähnlichkeit zur hier vorliegenden Untersuchung auf. Die Strömungsverhältnisse am Tüllinger Berg sind vergleichbar. Der Einfluss des Kaltluftzustroms aus dem Hochrhein-graben scheint u.E. unterschätzt zu werden. Die thermischen Verhältnisse sind nicht direkt vergleichbar. Zum einen wegen des Prognosehorizonts, zum andern wegen der unterschiedlichen räumlichen Auflösung und weil wohl bei der Klimaanalyse Basel das Baumkataster von Weil am Rhein nicht berücksichtigt wurde.

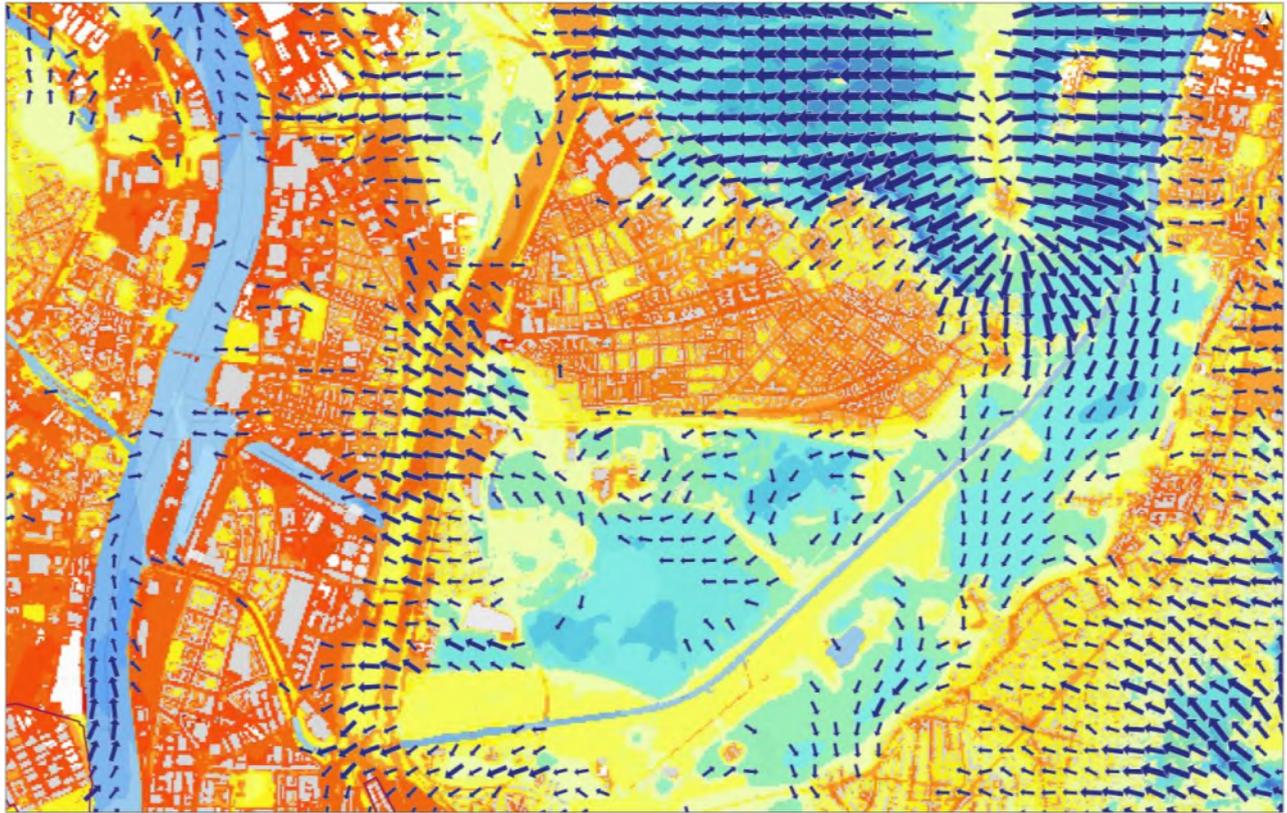
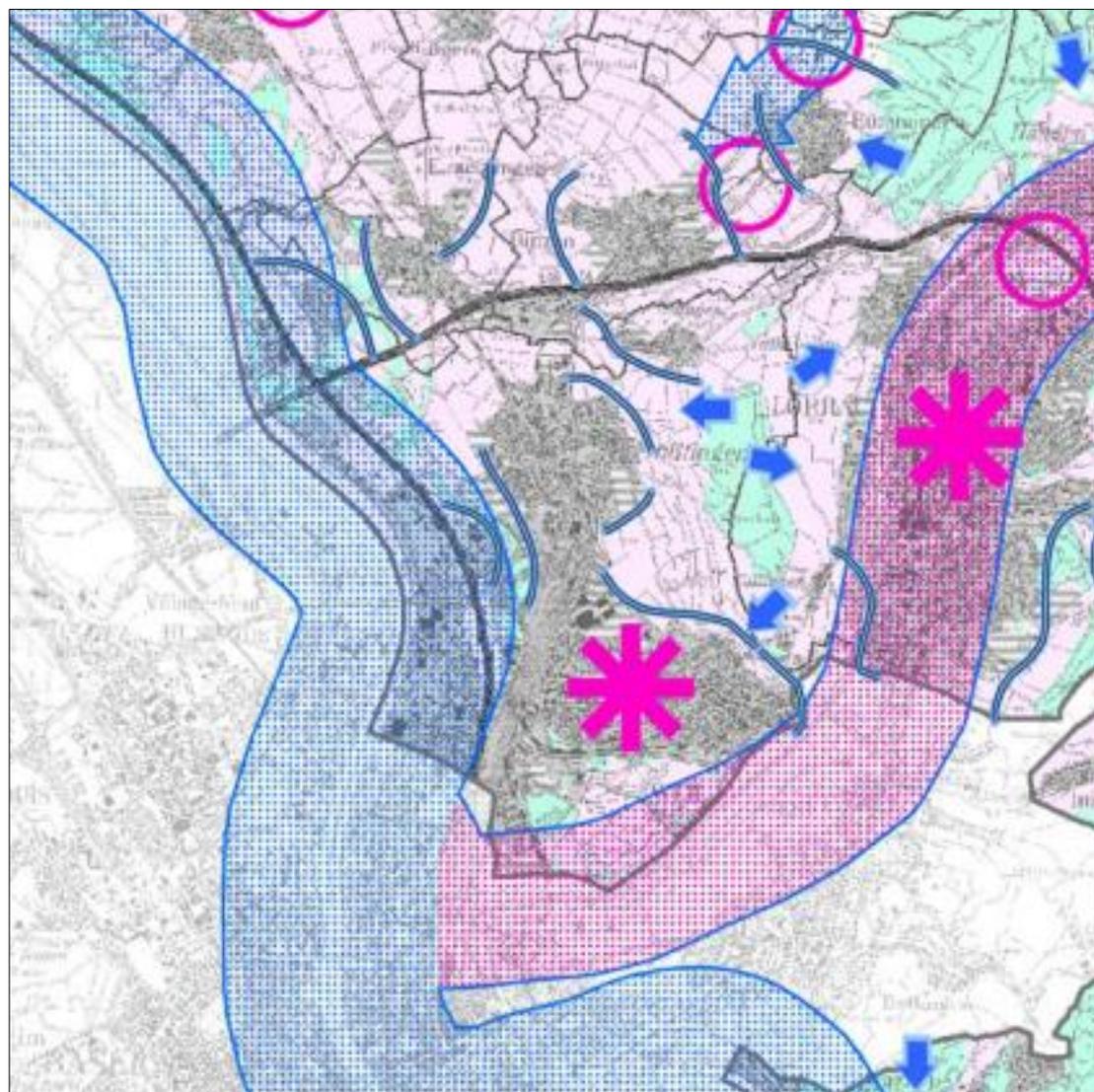


Abbildung 6-6: Ausschnitt aus der Klimaanalysekarte für das Jahr 2030 (Quelle: <https://map.geo.bs.ch>).



LANDSCHAFTSRAHMENPLAN HOCHRHEIN-BODENSEE Karte 4a

### Schutzgut Klima und Luft

siehe Kapitel 2.3, Seite 48

Landkreis Lörrach

#### Sicherung

- **bioklimatisch und lufthygienisch relativ unbelasteter Räume**<sup>1</sup>  
Zu den bisher weitgehend unbelasteten Räumen der Region gehören größere Waldflächen und Gebiete im Hochschwarzwald mit Reizklima. Sie sind von hoher bis sehr hoher Bedeutung für das Schutzgut Klima. Als Reizfaktoren gelten geringer Sauerstoffdruck / Wasserdampfgehalt, erhöhte Intensität der Sonneneinstrahlung, höhere Windgeschwindigkeit und Kältereiz.
- **der Klima- und Immissionschutzwälder**<sup>2</sup>  
Klima- und Immissionschutzwälder der Waldfunktionseinstufung. Sie dienen dem Schutz der Siedlungen, Erholungsanlagen und landschaftliche Flächen vor Kaltluftschäden, ungünstigen Windeinwirkungen, belastenden Emissionen sowie der Verbesserung des Klimas in benachbarten Siedlungsbereichen und Freiflächen durch großräumigen Luftaustausch. Sie sind von sehr hoher Bedeutung für das Schutzgut Klima.

#### Sicherung und Entwicklung

- **des Schonklimas und lufthygienisch gering belasteter Räume**<sup>1</sup>  
Zu den Räumen mit Schonklima und geringer lufthygienischer Belastung gehören in der Region Weinberge, Vorberge, westliche Baa, Holzrande, Südschwarzwald sowie Randen-Obdach. Sie sind von mittlerer Bedeutung für das Schutzgut Klima. Als Schorfaktoren gelten thermisch ausgeglichene Bedingungen und günstige Strahlungsverhältnisse.
- ➔ **der Luftzirkulationssysteme**<sup>1, 2</sup>  
Luftzirkulationssysteme sind von sehr hoher Bedeutung für Lufthygiene und Klima, v.a. in größeren Siedlungsbereichen. Im Vordergrund stehen hierbei die Talwindsysteme, die den Siedlungen Frisch- und Kaltluft zuführen. Am Bodenbereich ist der Seewind positiver Einfluss auf die Witterungsbildung.
- ⌋ **klimatischer Ausgleichsflächen**<sup>1, 2</sup>  
Freiräume zwischen den Siedlungen haben hohe Bedeutung als klimatische Ausgleichsflächen. Dies gilt v.a. für die bioklimatisch belasteten Gebiete der Region.
- ➔ **der Hangwindsysteme**<sup>1, 2</sup>  
Offenland im hängigen Gelände ermöglicht den ungehinderten Abfluss von Kalt- und Frischluft. Offene, unbebaute Hangbereiche sind in räumlicher Nachbarschaft zu Siedlungskörpern zur Erhaltung und Aufwertung der klimatischen Situation im Stadtbereich von Bedeutung. Dies gilt insb. für Vorberge, Hegau, Bodensee und Hochrhein.

#### Sanierung und Aufwertung

- **bioklimatisch und lufthygienisch belasteter Räume**<sup>1</sup>  
Lufthygienische Belastungen werden v.a. durch Emissionen aus Verkehr, Industrie und Gewerbe, Ver- und Entsorgung, intensive Landwirtschaft und Hausbrand verursacht. Zu den bioklimatischen Belastungen gehören Behinderung der kurzweiligen Strahlung (infolge Nebel, großer Trübung) und der Wärmeabgabe des Menschen. Diese Bereiche sind hoch empfindlich gegenüber weiteren Belastungen durch Luftschadstoffe und Wärme.
- **durch Kaltluftstau belasteter Räume**<sup>1, 2</sup>  
Kaltstau durch Kaltluftstau (Kaltfließen) geprägte Räume haben negative Auswirkungen auf das Lokalklima. Kaltluftansammlungen verursachen eine erhöhte Frostgefährdung für die Vegetation, häufigere Nebelbildung und zusätzliche Kaltbelastungen für den Menschen; örtliche Emissionen sammeln sich an und bedingen eine hohe Empfindlichkeit gegenüber Schadstoffbelastungen.
- ➔ **beeinträchtigter Luftzirkulationssysteme**<sup>1, 2</sup>  
Luftzirkulationssysteme, die durch luftschadstoffemittierende Strukturen, bauliche Querriegel oder Bewaldung beeinträchtigt sind. Durch Hindernisse nimmt die Eindringtiefe der Luftströmung in die Siedlungskörper ab oder wird im Extremfall ganz unterbrochen. Die Bedeutung der Luftleitbahnen für das Schutzgut Klima ist herabgesetzt.
- ➔ **beeinträchtigter Luftleitbahnen innerhalb von Siedlungsräumen**<sup>1, 2</sup>  
Luftleitbahnen innerhalb von Siedlungsräumen werden durch die Emission von Luftschadstoffen und bauliche Querriegel in ihrer Wirksamkeit und damit ihrer Bedeutung für das Schutzgut Klima herabgesetzt.
- **der bioklimatischen und lufthygienischen Situation um die Luftkurorte**<sup>1, 2</sup>  
Luftkurorte, die im Vergleich zu den weitgehend unbelasteten restlichen Luftkurorten, in bioklimatisch gering belasteten oder belasteten Räumen liegen. Für sie sind die klimatischen Ausgleichsleistungen der Umgebung von besonderer Bedeutung.
- ★ **Klimasanierungsgebiete**<sup>1, 2</sup>  
Siedlungsgebiete, in denen aufgrund ihrer Größe, ihrem überschnittrich hohen Industrie- und Gewerbeanteil und ihrer Lage in bioklimatisch belasteten Räumen mit besonders hohen lufthygienischen und bioklimatischen Belastungen und entsprechend sehr hohen Empfindlichkeiten zu rechnen ist.

#### Nachrichtliche Übernahme

- Gemeindegrenze<sup>3</sup>
- Siedlungsfläche (Best. / Plan)<sup>4</sup>
- Stillgewässer<sup>1, 2</sup>
- Waldflächen in bioklimatisch<sup>1</sup> / gering belasteten Räumen
- Fließgewässer<sup>1</sup>
- Autobahn / Tunnel<sup>1</sup>
- Autobahn / Tunnel, geplant<sup>1</sup>
- Autobahn / Tunnel, geplant, Variante<sup>1</sup>

Kartengrundlage: Topografische Karte 1:50.000 BW GLandesvermessungsamt Baden-Württemberg (www.lv.bw.de); Az.: 2851-2-01/103

Datenquellen: <sup>1</sup> Digitales Landschaftsmodell A7H10P<sup>3</sup>; DLM32 BW GLandesvermessungsamt Baden-Württemberg (www.lv.bw.de); Az.: 2851-0-1/8

<sup>2</sup> RFD-Datensatz 1:25.000 GLandesvermessungsamt für Umweltschutz Baden-Württemberg 2004

<sup>3</sup> Rechenverfahren Hochrhein-Bodensee 1:50.000 ©Regierungsverband Hochrhein-Bodensee 2005

<sup>4</sup> Die bioklimatischen Zonen 1:50.000 ©DWD Deutscher Wetterdienst 1976

<sup>5</sup> Waldfunktionstabelle 1:10.000 - 1:50.000 (FDGIS) ©FVA Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt BW 1990/91

<sup>6</sup> Kartensatz K-58 - Materialien zum Landschaftsrahmenprogramm 1:200.000 ©M&K Kreis, Landkreis Raum Entreeff 2001

<sup>7</sup> Liste der Luftkurorte in der Region Hochrhein-Bodensee Regierungspräsidium Freiburg 2002

<sup>8</sup> Flächenverwertungspläne 1:10.000 Regierungspräsidium Freiburg 2005

Regionalverband Hochrhein-Bodensee  
Im Walldorfer 50  
79761 Waldshut-Tiengen

Bearbeitung:  
HNP HAGE + HOPPENSTEDT PARTNER  
Gartenstraße 88  
72108 Rotenburg a.N.

Maßstab 1:50.000  
0 1 2 3 4 5 Kilometer

© IMA / HNP 2005

Abbildung 6-7: Luftzirkulationssysteme und bioklimatisch belastete Räume im Bereich Weil am Rhein. Die Abbildung ist ein Ausschnitt der Karte 4a aus dem Landschaftsrahmenplan Hochrhein-Bodensee (Quelle: Landschaftsrahmenplan Hochrhein-Bodensee, Regionalverband Hochrhein-Bodensee, 2007. Abbildung verkleinert, nicht maßstabsgetreu).

## 7 Ergebnisse der Simulationen

Im Folgenden werden die Ergebnisse der untersuchten Faktoren beschrieben. Diese sind im Flussdiagramm (Abbildung 5-1, S. 39) durch rote Kästen markiert.

### 7.1 Kaltluftströmung

Bei Tiefdruckwetterlagen (bewölkt, windig, regnerisch) herrschen in der Regel gute Austauschbedingungen. Die lokalen Strömungsverhältnisse werden im Wesentlichen durch das Gelände geprägt. In Tallagen treten z.B. Kanalisierungen der Strömung auf. Lufttemperaturunterschiede sind bei diesen Wetterlagen zwischen bebauten und unbebauten Flächen vergleichsweise gering.

Hochdruckwetterlagen können dagegen mit geringen übergeordneten Windgeschwindigkeiten und geringer Bewölkung verbunden sein. Bei diesen sogenannten autochthonen Wetterlagen stellt sich meist ein ausgeprägter Tagesgang der Lufttemperatur ein, d.h. die Luft kann sich nachts stark abkühlen und am Tag stark aufheizen. Aufgrund des geringen großräumigen Luftaustausches beeinflussen die lokalen topographischen Verhältnisse (sowohl das Geländere relief als auch die Realnutzung) signifikant die lokale Strömung.

In reliefiertem oder gegliedertem Gelände bilden sich unter autochthonen Bedingungen tagesperiodische Windsysteme aus. In den Tagstunden sind dies tal- und hangaufwärtsgerichtete, meist böige Winde, in den Nachtstunden dagegen eher turbulenzarme Kaltluftabflüsse. In Ebenen sind insbesondere nachts nur geringe Strömungsgeschwindigkeiten vorhanden. Die nächtliche Inversion unterdrückt zusätzlich den Luftaustausch. Deshalb zählen Kaltluftabflüsse in gegliedertem Gelände zu den klimatischen Gunstfaktoren einer Region.

Durch die Lage Weil am Rheins zwischen den Ausläufern des Schwarzwaldes und dem Rhein mit entsprechenden Höhenunterschieden treten Kaltluftabflüsse auf. Sie sind für die Belüftung von Siedlungsgebieten von hoher Bedeutung. Kaltluftabflüsse transportieren in den Abend- und Nachtstunden kühlere und meist frischere Luft in die Siedungsbereiche, wodurch thermische und lufthygienische Belastungen spürbar reduziert werden.

Deshalb ist zur Wahrung gesunder Wohn- und Arbeitsverhältnisse der Erhalt und die Verbesserung dieser Strömungssysteme relevant.

#### 7.1.1 Entstehung von Kaltluftabflüssen

In klaren windschwachen Nächten ist die Energieabgabe der Boden- und Pflanzenoberflächen aufgrund der Wärmeausstrahlung größer als die atmosphärische Gegenstrahlung. Dieser Energieverlust verursacht eine Abkühlung der Boden- und Pflanzenoberfläche, so dass die Bodentemperatur niedriger als die Lufttemperatur ist. Der kühlere Boden kühlt daraufhin die bodennahen Luftschichten ab und es entsteht eine bodennahe Kaltluftschicht. Diese ist umso ausgeprägter, je negativer die Strahlungsbilanz, je geringer die Wärmezufuhr aus tieferen Bodenschichten an die Oberfläche und je schwächer der Luftaustausch mit der darüber liegenden Atmosphäre ist.

In ebenem Gelände bleibt die bodennahe Kaltluft an Ort und Stelle liegen. In geneigtem Gelände setzt sie sich infolge von horizontalen Dichteunterschieden (kalte Luft besitzt eine höhere Dichte als warme Luft) hangabwärts in Bewegung. Die Geschwindigkeit der Luftmassen ist letztlich von der Hangneigung und dem Dichteunterschied abhängig. Die Reibungskraft bremst die abfließende

Luft. Die beschriebenen Vorgänge sind in der Regel zeitlich nicht konstant, d.h. es kommt zu „pulserenden“ Kaltluftabflüssen.

In Geländeeinschnitten fließen die Hangabwinde zusammen und es kann ein mehr oder weniger mächtiger Bergwind (Talabwind) entstehen. Die vertikale Mächtigkeit des Bergwinds und die Geschwindigkeit hängen im Wesentlichen von der Fläche des Einzugsgebiets, der Kaltluftproduktionsrate, dem Talgefälle und den Rauigkeiten, d.h. den Strömungshindernissen und der Bodenbeschaffenheit, im Talbereich ab. Die Fließrichtung wird durch die Geländeform bestimmt. Talwärts führende Einsenkungen des Geländes wie z.B. Seitentäler, Schluchten und Rinnen beeinflussen einen Kaltluftabfluss.

In tiefer gelegenen konkaven Geländeformen wie z.B. in Tälern, Talkesseln, Schluchten und Mulden kann sich die Kaltluft sammeln und es kann sich ein Kaltluftsee ausbilden. In dieser stagnierenden Kaltluft können sich intensive Inversionen ausbilden, die den vertikalen Luftaustausch deutlich reduzieren.

Die Kaltluftentstehung und der Kaltluftabfluss hängen somit von folgenden Faktoren ab:

- meteorologische Verhältnisse
- Flächennutzung
- Geländeform und -exposition.

### **7.1.2 Zeitlicher Verlauf von Kaltluftabflüssen**

Hangabwinde setzen ein, wenn sich der Erdboden eines Hanges deutlich abkühlt. Dies ist, abhängig von der Exposition des Hanges, in den Nachmittags- und Abendstunden der Fall. An nicht-besonnten Hängen setzen die Hangabwinde bereits vor Sonnenuntergang ein. Sie dauern die Nacht über an, sofern sie nicht von einem stärkeren Bergwind überlagert werden. Wenn der Hang am Morgen wieder besonnt wird, endet der Hangabwind.

Bergwinde setzen gegenüber den Hangabwinden später ein. Sie beginnen meist erst nach Sonnenuntergang. In den Morgenstunden dauern sie länger an.

### **7.1.3 Häufigkeit von Kaltluftabflüssen**

Kaltluftabflüsse treten bei windschwachen und gleichzeitig wolkenarmen Wetterlagen auf, da in diesen Fällen gute Ausstrahlungsbedingungen vorliegen und die bodennah gebildete Kaltluftschicht nicht durch Turbulenz zerstört wird. Dies entspricht der Ausbreitungsklasse I, die in Weil am Rhein in 45,2 % der Jahresstunden vorkommt. Auch bei Ausbreitungsklasse II, die in 19,7 % der Jahresstunden auftritt, können noch Kaltluftabflüsse auftreten, die aber stärker von den übergeordneten Windrichtungen beeinflusst werden.

Das Maximum von Kaltluftabflüssen wird im Spätsommer/Frühherbst beobachtet, da dann die größten Tagesgänge der Lufttemperatur erfolgen. In den Wintermonaten ist die Wahrscheinlichkeit, auch aufgrund der stabilen Nebellagen, am geringsten.

Die vertikale Mächtigkeit der Kaltluftabflüsse ist abhängig vom Weg, den die Kaltluft nimmt. Liegen entlang der Zugbahn der Kaltluft mehrere Kaltluftproduktionsflächen, können sich schnell große Kaltluftthöhen ergeben.

Trifft die Kaltluft auf Bebauung, dringt diese bodennah in die Bebauungsschicht ein (vgl. Abbildung 7-1, links). Der größere Teil der Kaltluft überströmt jedoch die Bebauung und wird durch die

gebäudeinduzierte Turbulenz in die Bebauung herabgemischt (vgl. Abbildung 7-1, rechts). Für die innerstädtische Belüftung ist deshalb die Überdachströmung die relevante Größe.

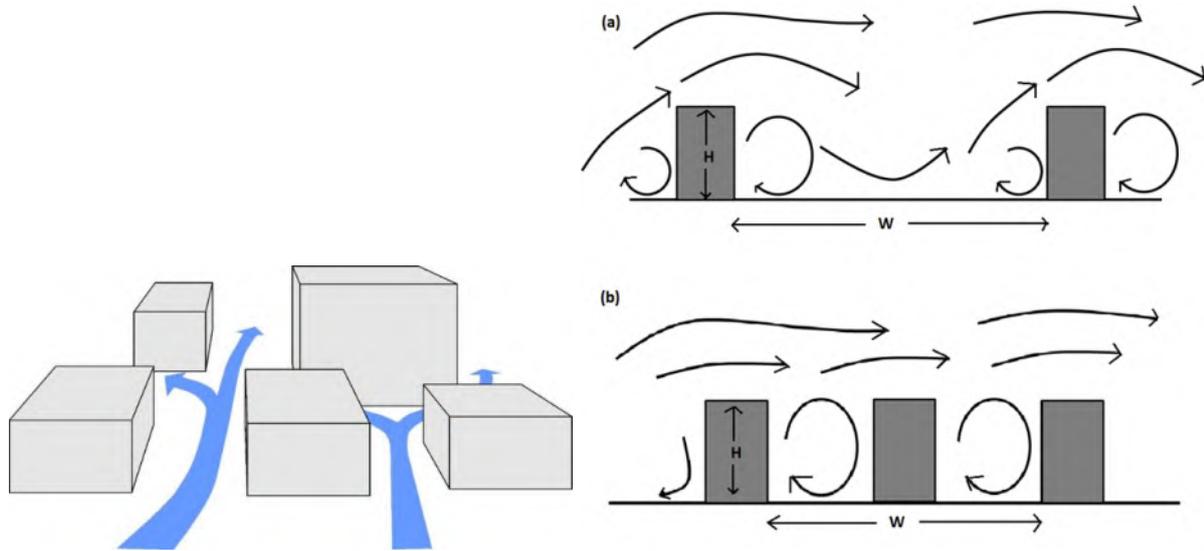


Abbildung 7-1: Bodennahe Belüftung in den peripheren Bereichen (links) und Herabmischen der Luft aus dem Überdachniveau in den Straßenraum (rechts).

#### 7.1.4 Ergebnisse der Modellierung

In Abbildung 7-2 sind die bodennahen Strömungsverhältnisse am Abend und in Abbildung 7-4 in der zweiten Nachthälfte dargestellt. Aus Übersichtlichkeitsgründen sind vorrangig die Pfeile bei hoher Volumenstromdichte dargestellt (Algorithmus zur Pfeildarstellung siehe REKLIBO, 2009).

In den Abendstunden entstehen markante Kaltluftabflüsse an den Hängen des Tüllinger Bergs. Diese erreichen das östliche Stadtgebiet von Weil, Alt-Weil und im Überdachniveau auch das Stadtzentrum. Auch Haltingen wird durch die Kaltluftabflüsse von den Hängen des Tüllinger Bergs belüftet. Größere Volumenströme bilden sich hauptsächlich über weniger rauen landwirtschaftlichen Flächen aus. In Wald- und Siedlungsgebieten findet man infolge der Rauigkeit eher geringe Strömungsgeschwindigkeiten. Gut erkennbar ist dies beispielsweise im Osten Haltingens, wo die Hangabwinde von den dortigen Baukörpern bodennah stark abgebremst werden (Abbildung 7-3). Anhand der Ergebnisse der mikroskaligen Simulation wird deutlich, dass dort, wo Straßen parallel zur Strömung ausgerichtet sind, die Hangabwinde bodennah weiter in die Siedlung eindringen und diese mit Frischluft versorgen können. Dies ist beispielsweise entlang der Kirchstraße der Fall (siehe Abbildung 7-3).

Südlich der B317 strömt die Kaltluft aus dem Wiesental aus Osten über die Kiesgrube Käppelin, das Laguna und den Drei-Länder-Garten und dreht dann auf eine südöstliche Strömung. Des Weiteren trifft die Kaltluftströmung aus dem Wiesental auf die Strömung aus dem Hochrhein, welche ebenfalls aus Ost kommt und nördlich des Rheinknies ebenfalls auf eine südöstliche Richtung dreht.

Auch in den Nachtstunden halten die Hangabwinde mit verringerter Windgeschwindigkeit am Tüllinger Berg an (Abbildung 7-4). In der Ebene setzt sich im Überdachniveau südlich der Gartenstadt und der B317 eine östliche Strömung durch, die in dann in eine südliche Strömung dreht (vgl.

Abbildung 7-5). Zudem sind die höheren Windgeschwindigkeiten im Dachniveau auf die geringere Bremswirkung durch Hindernisse zurückzuführen.

In der hangferneren Ebene bildet sich im Laufe der Nacht die typische südliche Strömung /Rheintalabwind) aus.

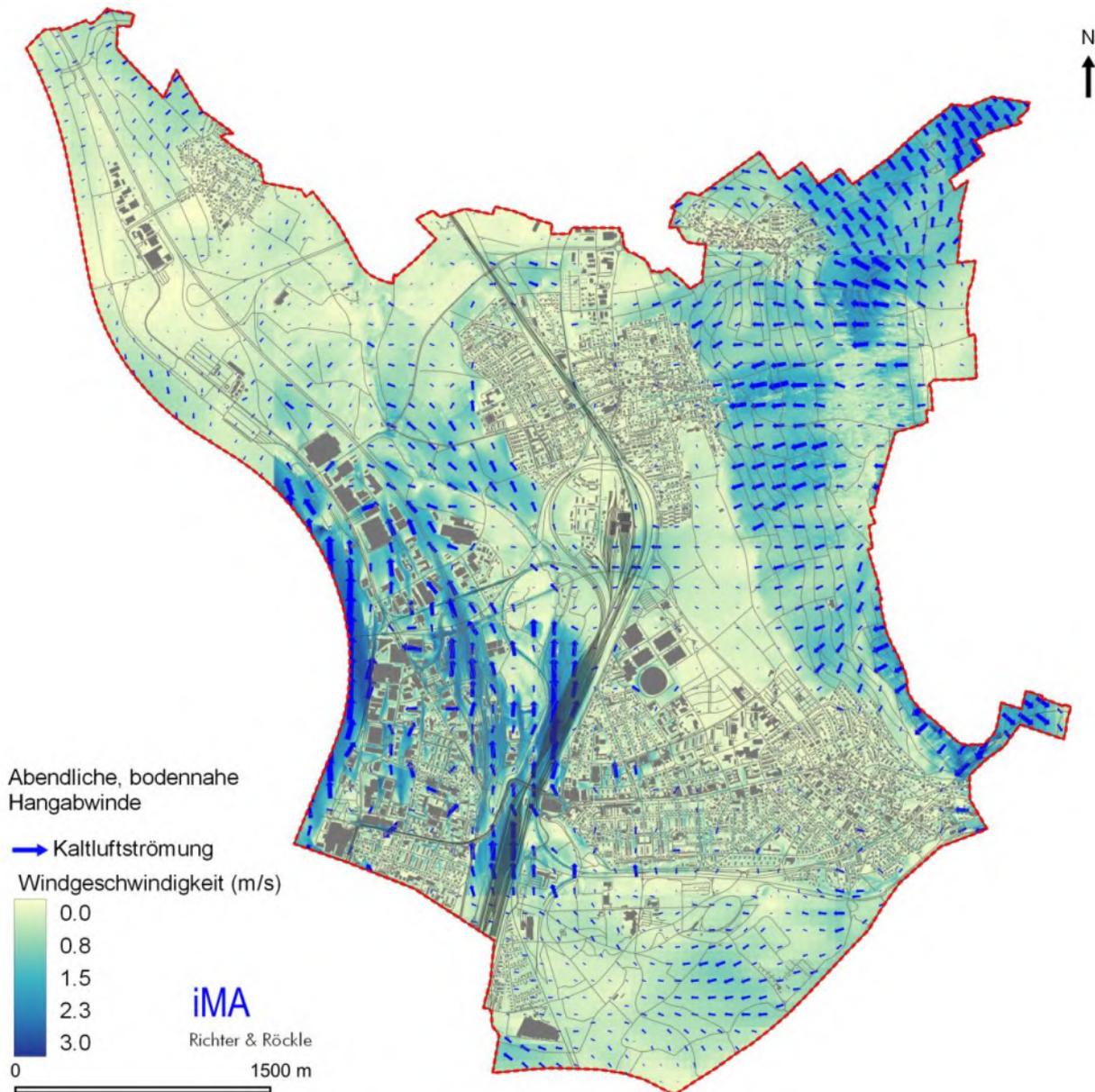


Abbildung 7-2: Bodennahe Durchlüftung (5 m ü. Grund) in Weil am Rhein durch abendliche Hangabwinde. Die Pfeile zeigen an, in welche Richtung der Wind weht.

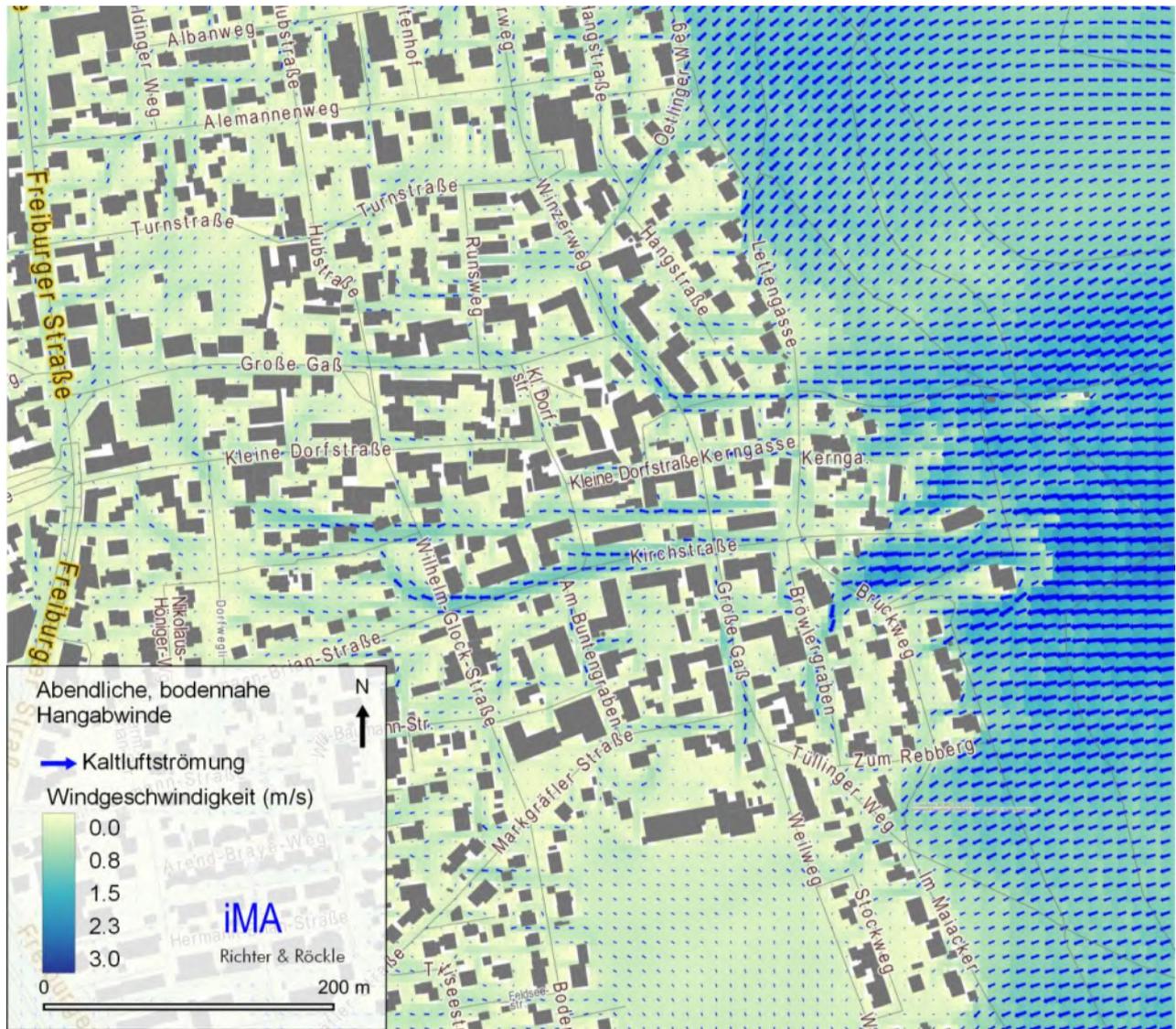


Abbildung 7-3 Vergrößerte Darstellung der bodennahen Durchlüftung (5 m ü. Grund) im Osten Haltigen.

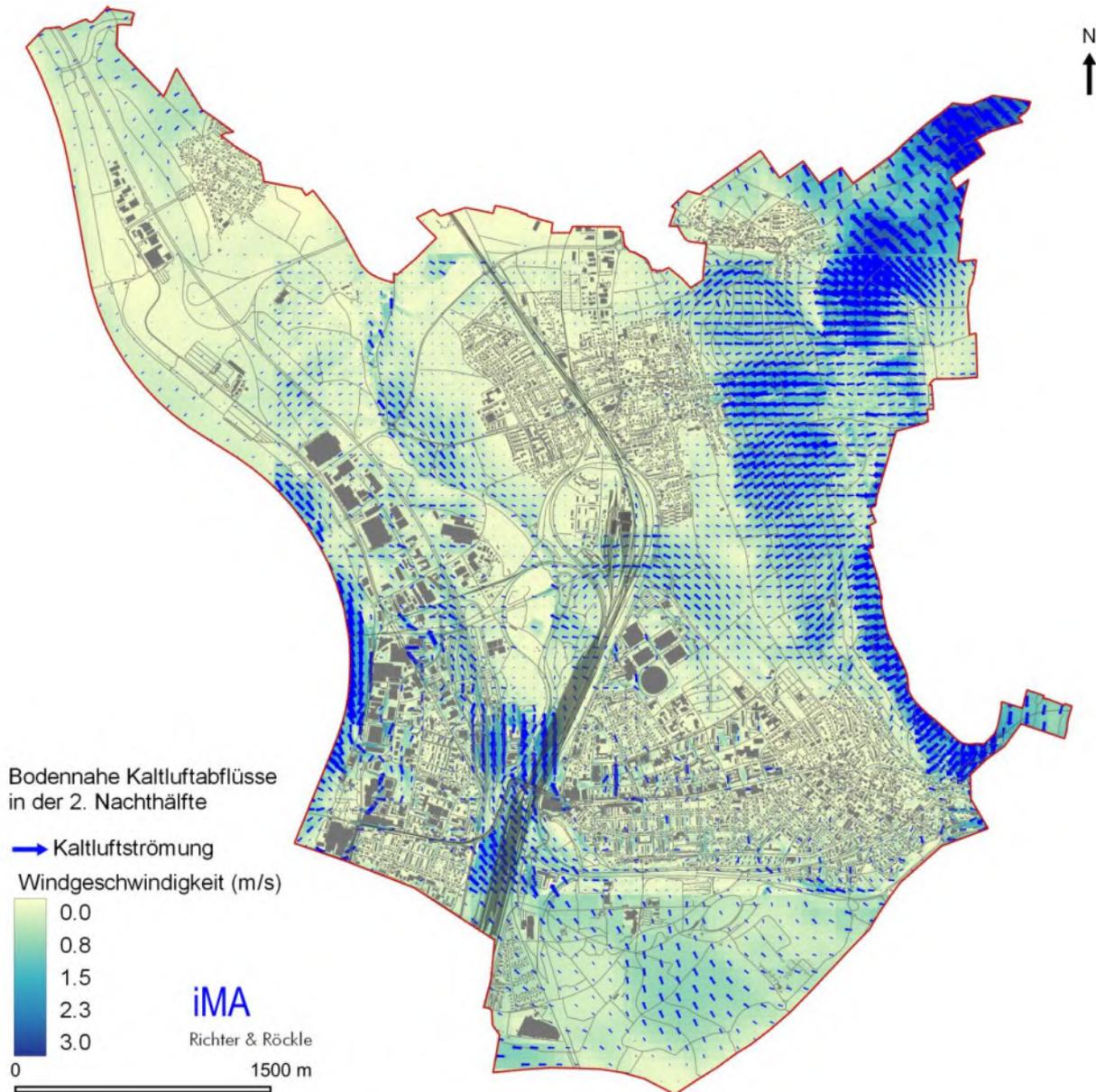


Abbildung 7-4: Bodennahe Durchlüftung (5 m ü. Grund) in Weil am Rhein durch Kaltluftabflüsse in der zweiten Nachthälfte (4 Uhr). Die Pfeile zeigen an, in welche Richtung der Wind weht.

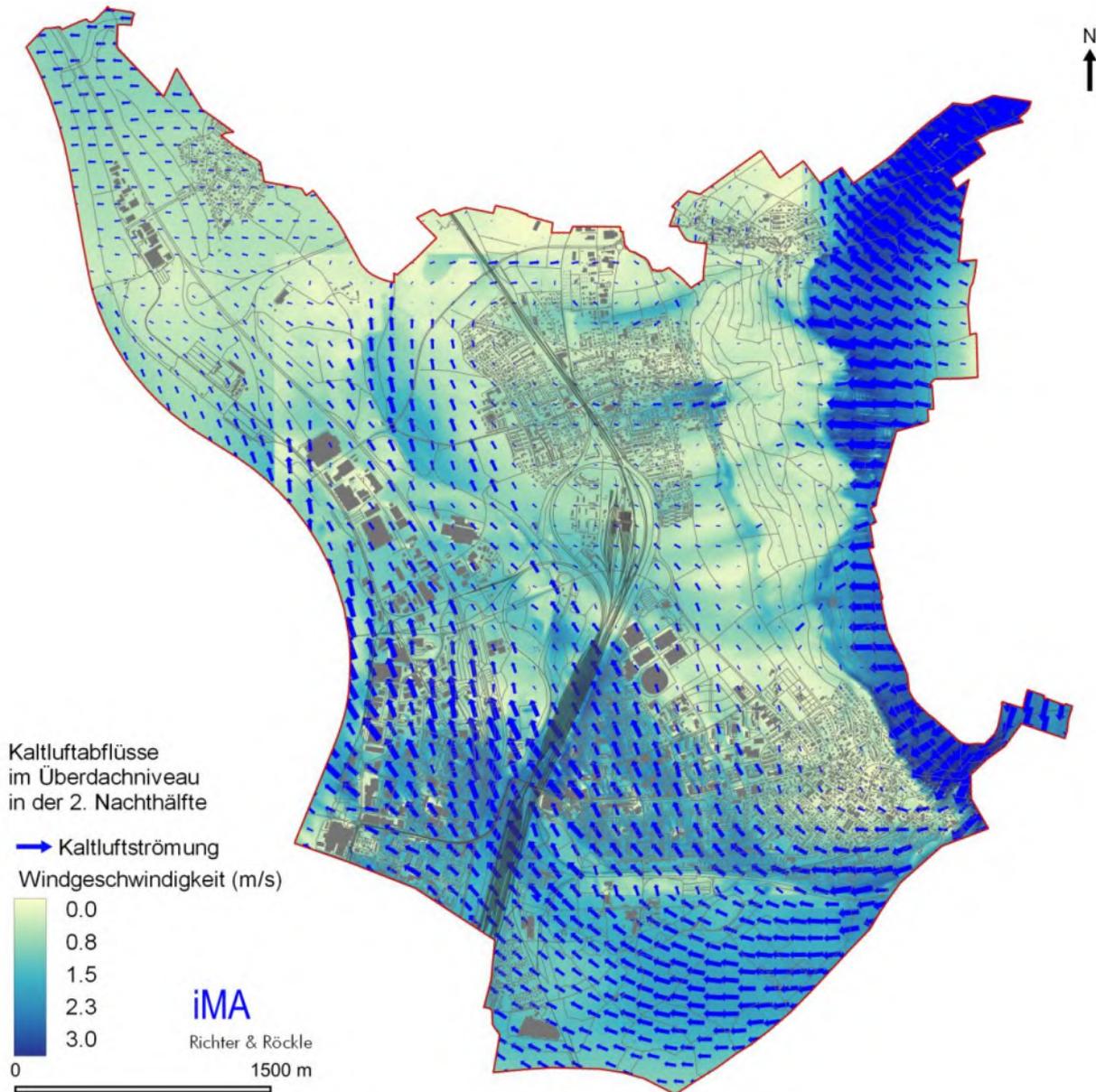


Abbildung 7-5: Durchlüftung im Dachniveau (28 m ü. Grund) in der zweiten Nachthälfte (4 Uhr). Die Pfeile zeigen an, in welche Richtung der Wind weht.

## 7.2 Thermische und human-biometeorologische Verhältnisse

Für die Bewertung der human-biometeorologischen Verhältnisse tagsüber ist die Betrachtung der Lufttemperatur nur bedingt geeignet, da neben der Temperatur auch die Luftfeuchte, die Windgeschwindigkeit und die Strahlungsflüsse einen erheblichen Einfluss auf das thermische Befinden haben. Als Indikator für die thermische Belastung wird daher die Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET) betrachtet (siehe Kapitel 6.2.3).

Nachts korrelieren die PET und die Lufttemperatur stark, da vor allem der Einfluss der Sonnenstrahlung entfällt. Deshalb wird nachts der Unterschied der Lufttemperatur zwischen Weil am Rhein mit seiner anthropogenen Landnutzung und dem Stadtgebiet ohne Bebauung und anthropogenen Wärmestrom, welche in einer weiteren FITNAH-Simulation durch 50% Wald und 50% Feldanteil ersetzt wurde, analysiert. Dieser Lufttemperaturunterschied wird als urbane Wärmeinsel bezeichnet.

### **7.2.1 Human-biometeorologische Verhältnisse**

In Abbildung 7-6 ist die PET zur Mittagszeit an einem heißen Sommertag dargestellt. Die thermische Belastung ist stark von der Sonneneinstrahlung abhängig. Besonnte Bereiche wie beispielsweise die Freiflächen am Tüllinger Berg oder um Haltingen weisen eine deutlich höhere thermische Belastung auf als die verschatteten Waldgebiete z.B. im DreiländerGarten oder am Autobahndreieck Weil am Rhein. Daher spielen schattenspendende Hindernisse wie Gebäude und Bäume eine wesentliche Rolle.

In durch Bäumen abgeschatteten Bereichen beträgt die PET weniger als 30 °C, so dass hier zwar „warme“ Bedingungen jedoch ohne starken Hitzestress vorzufinden sind (Bewertungsmaßstab siehe Tabelle 6-4). Ebenso sind Gebiete mit hohem Grünflächen- oder Gewässeranteil weniger stark Hitze-belastet. Hier wird die Einstrahlung der Sonne in Verdunstungsenergie umgewandelt und die Oberflächen heizen sich im Vergleich zu versiegelten Flächen weniger stark auf.

In Abbildung 7-6 ist die PET zur Mittagszeit dargestellt. Die höchsten Belastungen findet man in den Gewerbe-/Industriegebieten, die stark versiegelt sind und häufig hohe Baumassenanteile aufweisen. Solche Gebiete befinden sich westlich der Autobahn A5 sowie nördlich von Haltingen. Auch das Vitra-Gelände zählt zu den hoch belasteten Gebieten.

Die mikroskalig berechneten PET-Werte mit expliziter Berücksichtigung der Bebauung und der Bäume ist in Abbildung 7-7 und Abbildung 7-8 dargestellt. Hier treten die warmen Bereiche des Gewerbegebiets westlich der Bahnanlagen deutlich hervor. Mit Straßenbäumen verschattete Straßenabschnitte wie teilweise entlang der Hauptstraße oder die Kaiserstraße weisen deutlich geringere PET-Werte auf.

Ein ähnlicher Effekt ist in Haltingen entlang der Heldelinger Straße erkennbar. Der unverschattete westliche Abschnitt der Straße weist hohe PET-Werte auf, wohingegen im östlichen Teil durch die Straßenbäume niedrigere Werte erzielt werden. Parkflächen weisen ebenfalls nur geringe PET-Werte dank der Baumbestände auf. Beispiele sind der Läublin Park an der Hauptstraße sowie der Spielplatz am Bromenackerweg in Haltingen. Unverschattete Grünflächen weisen ebenfalls niedrigere PET-Werte auf als versiegelte Freiflächen (z.B. Vergleich zwischen Friedhof an der Bergstraße zum Bereich des Grenzübergangs an der Autobahn A5), allerdings ist der kühlende Effekt geringer als der durch Verschattung bewirkte.

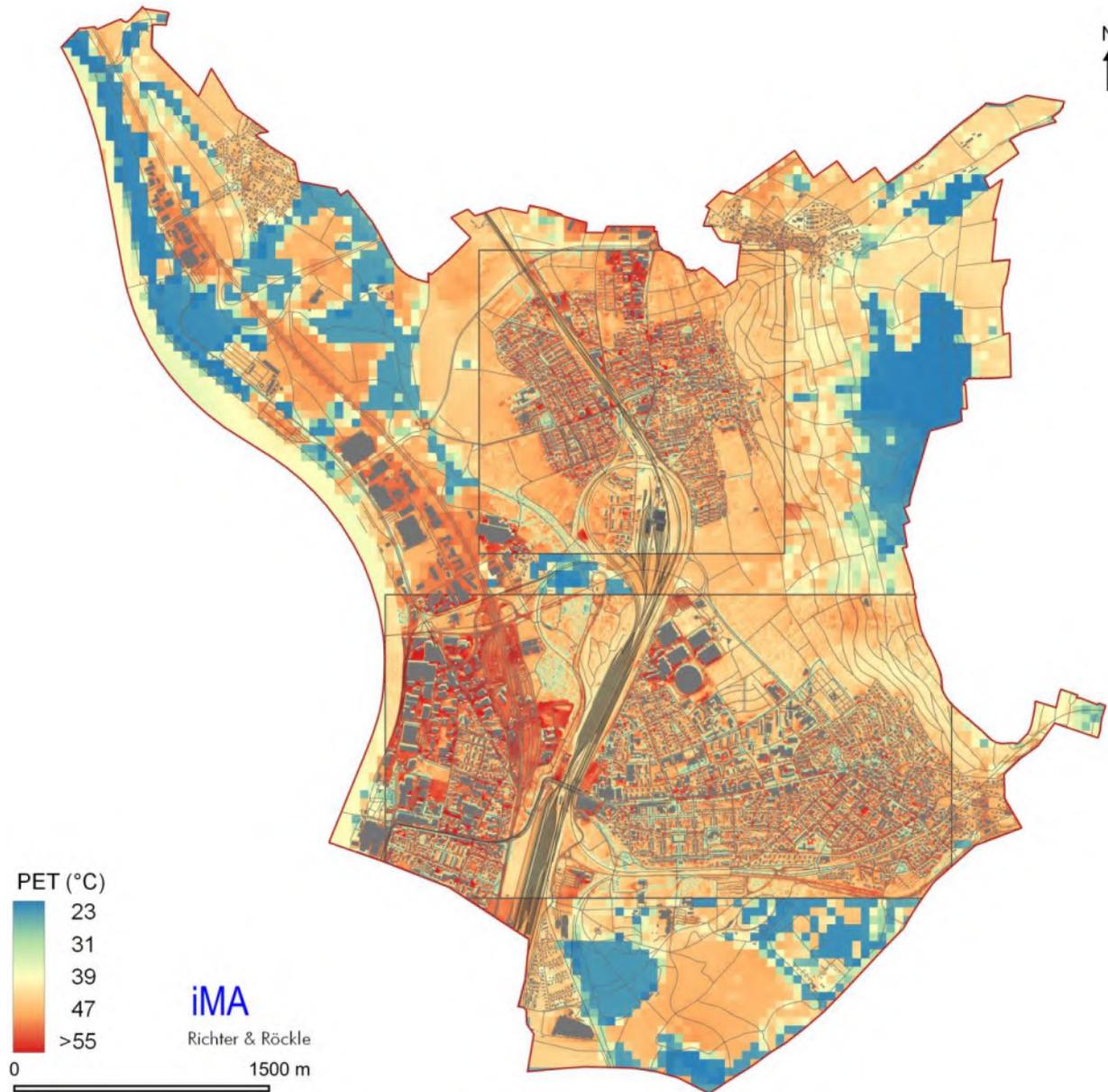


Abbildung 7-6: Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET, in °C) zur Mittagszeit (2 m ü. Grund).



Abbildung 7-7: Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET in °C) zur Mittagszeit (2 m ü. Grund).

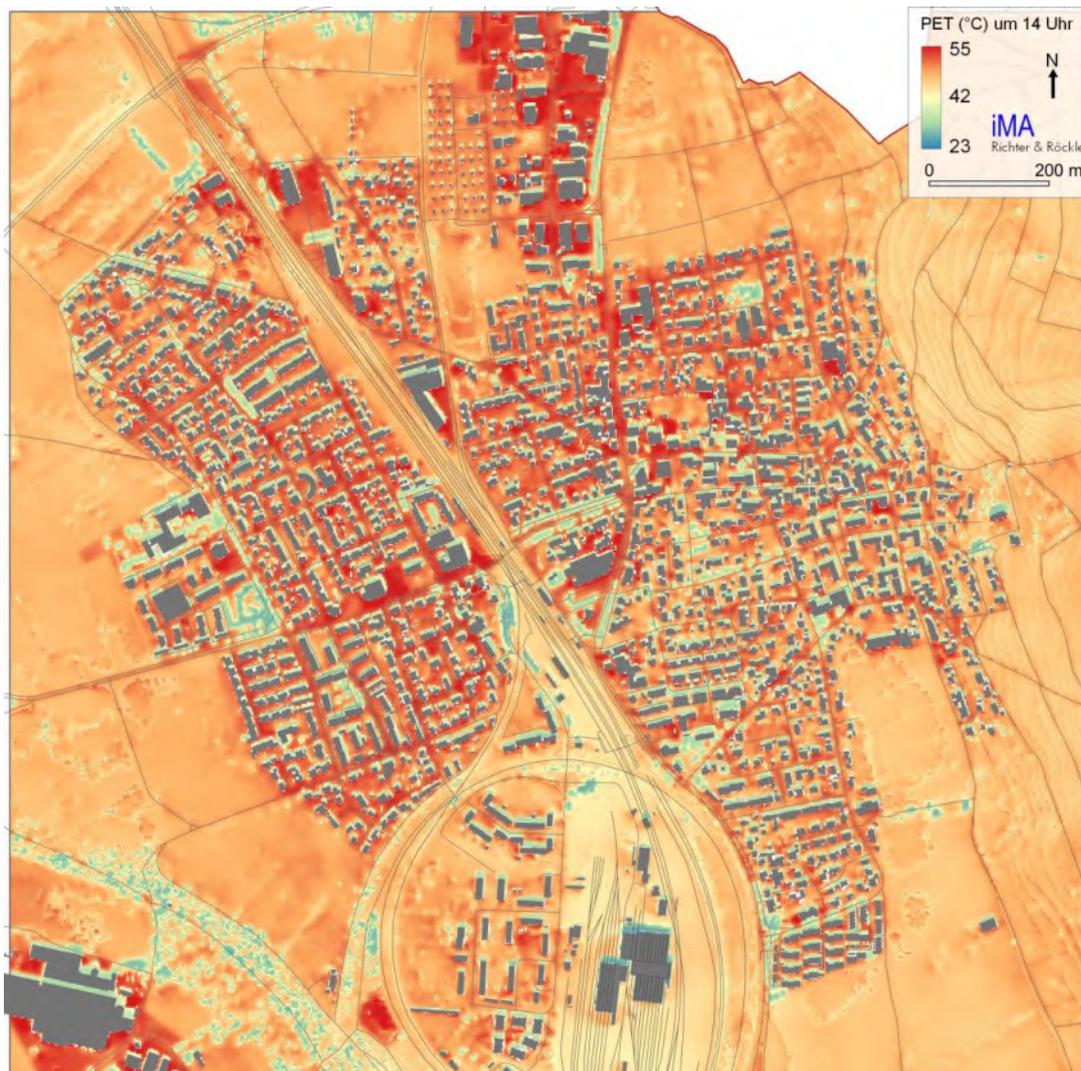


Abbildung 7-8: Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET in °C) zur Mittagszeit (2 m ü. Grund) in Haltingen.

### **7.2.2 Urbane Wärmeinsel**

Als urbane Wärmeinsel (UHI) wird die Überwärmung des Siedlungsbereiches gegenüber dem Umland bezeichnet. Sie ist nachts stärker ausgeprägt als am Tag. Ursachen sind u.a. die unterschiedliche Strahlungsumsetzung zwischen Umland und Stadt, die Wärmespeicherung der Baukörper und versiegelten Flächen und zu Teilen auch die anthropogene Abwärme (Kühlung, Kfz-Verkehr, Produktionsverfahren, ...).

Zur Berechnung der urbanen Wärmeinsel wurde eine Simulation durchgeführt, in welcher die versiegelten und bebauten Flächen im Stadtgebiet zu jeweils 50 % in Wald und 50 % Feld umgewandelt wurden. Die Differenz der bodennahen Lufttemperatur zwischen dem Bestand und dieser Simulation wird als urbane Wärmeinsel ausgewiesen.

Die urbane Wärmeinsel in Weil am Rhein ist in den Abendstunden (Abbildung 7-9 links) besonders in der dicht bebauten Innenstadt und dem Vitra-Gelände sowie in den Gewerbegebieten entlang des Rheins ausgeprägt. Auch Haltingen weist eine ausgeprägte urbane Wärmeinsel auf. Die weniger bebauten Stadtteile Märkt, Ötlingen und Otterbach weisen aufgrund ihrer geringen Siedlungsfläche nur eine geringe Überwärmung auf.

In der Nacht kühlen sich auch die städtischen Oberflächen ab, wodurch sich der Wärmeinseleffekt abschwächt. In besonders dicht bebauten Bereichen ist die urbane Wärmeinsel allerdings auch in der zweiten Nachthälfte noch merklich ausgeprägt. Zu diesen Bereichen zählen die Gewerbegebiete am Rhein, das Vitra-Gelände, der Bereich um die östliche Hälfte der Hauptstraße sowie das Zentrum von Haltingen (Abbildung 7-9 rechts).

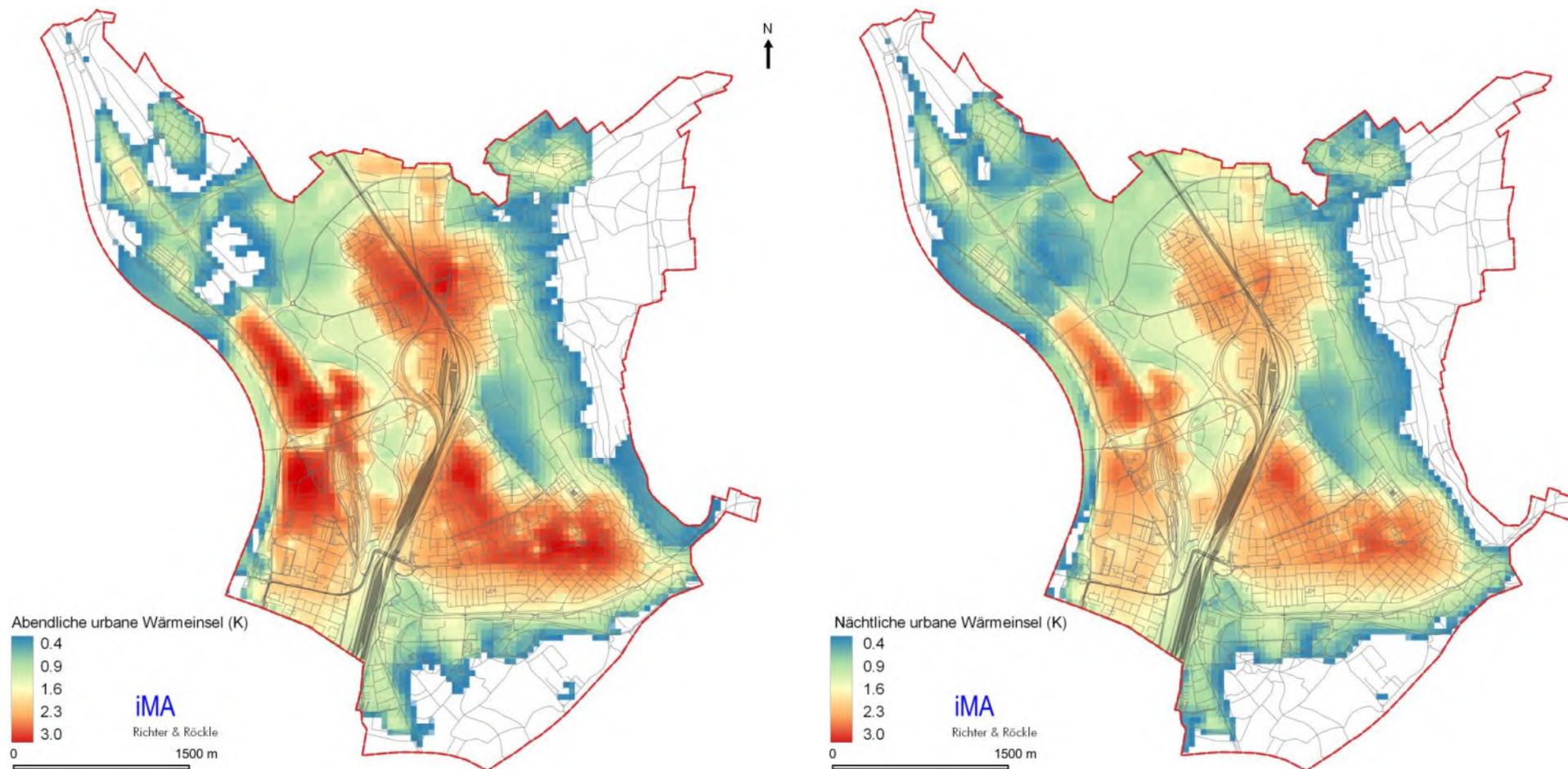


Abbildung 7-9: Abendliche (links) und nächtliche (rechts) Urbane Wärmeinsel (K) in Weil am Rhein.

### 7.3 Stadtgrün und Klimavielfalt

Alle Formen des städtischen Grüns, von Parkanlagen über Kleingärten, Friedhöfen, Straßengrün oder Fassaden- und Dachbegrünung, bis hin zu Privatgärten oder landwirtschaftlichen Flächen werden als „städtisches Grün“ bezeichnet (BMUB 2015, S. 23 ff.). Grüne Infrastruktur erfüllt viele Funktionen. Sie dient

- als klimatische Ausgleichsfläche insbesondere auch während der Hitzeperioden
- der Erholung und Freizeitgestaltung,
- dem Regenwasserrückhalt,
- der Verbesserung des Stadtklimas (Klimavielfalt),
- der Filterung von Luftschadstoffen,
- als Lebensraum für Tiere und Pflanzen,
- dem seelischen Wohlbefinden,
- der sozialen Interaktion,
- der Attraktivität einer Stadt.

Gleichzeitig wird die grüne Infrastruktur auch selbst vom Stadtklima und dem Klimawandel beeinflusst, etwa durch Trocken- und Hitzestress, verlängerter Vegetationsperiode und damit auch erhöhtem Spätfrostisiko. Dadurch entstehen zunehmend Schäden durch Trockenstress, Pilzkrankheiten und Schädlinge.

Wärmebelastung im Freien tritt insbesondere tagsüber in den Mittags- und Nachmittagsstunden von Mai bis Oktober auf. Um die Wärme- und Hitzebelastung zu verringern, können die Stadtbewohner tagsüber beschattete und begrünte Plätze aufsuchen.

Auf Grünflächen mit einer Größe größer als 0,5 ha kann sich an heißen Sommertagen ein eigenes Kleinklima ausbilden. Ihr Erholungswert und ihre Aufenthaltsqualität können einen Beitrag zur Entlastung an heißen Sommertagen bewirken. In Abbildung 7-10 ist der Bestand an größeren öffentlich zugänglichen Grün- und Freiflächen mit Erholungswert und Aufenthaltsqualität an heißen Sommertagen abgebildet.

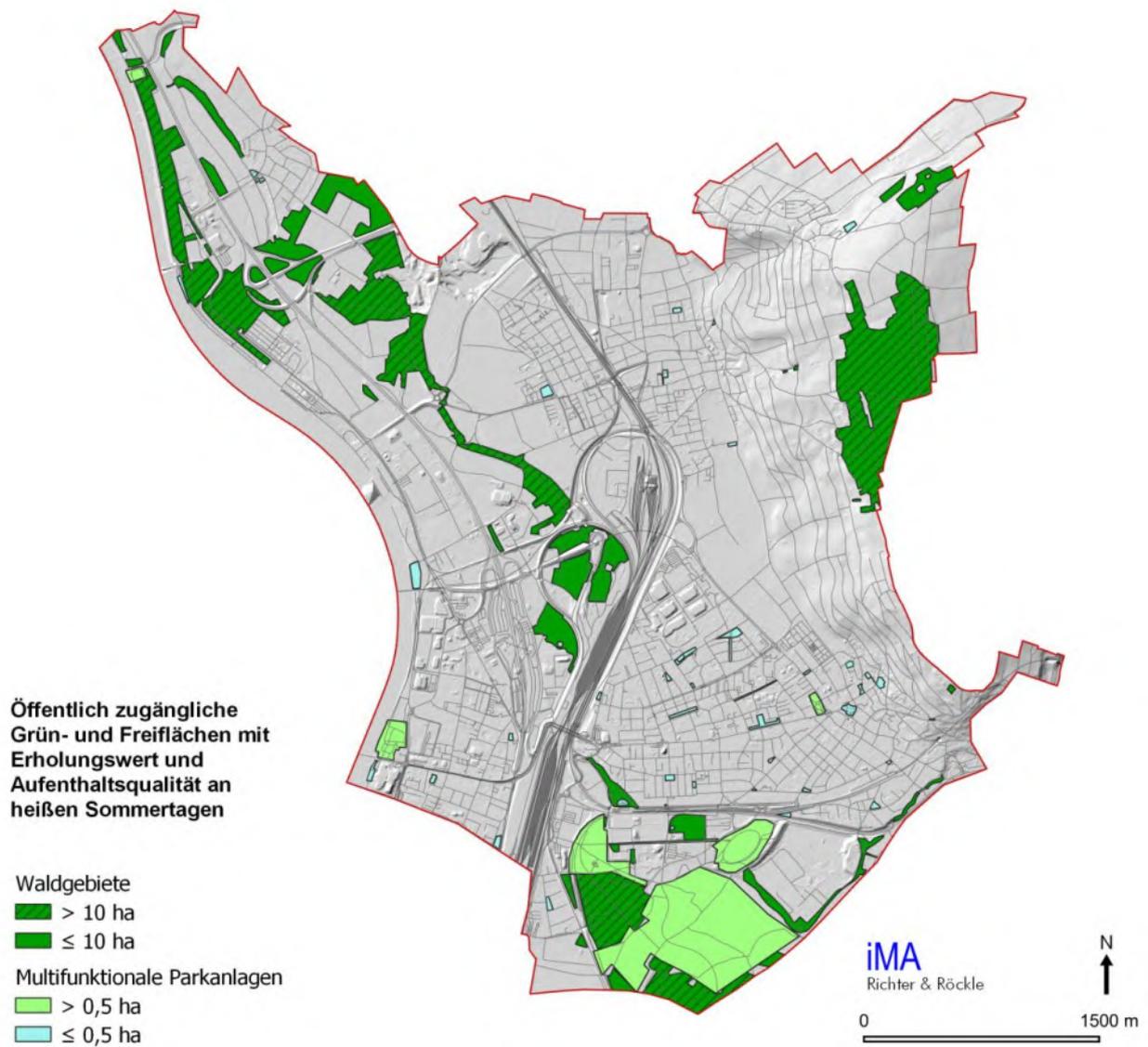


Abbildung 7-10: Bestand an öffentlich zugänglichen Grün- und Freiflächen mit Erholungswert und Aufenthaltsqualität an heißen Sommertagen.

Die in Weil am Rhein anzutreffenden Flächen mit Stadtgrün lassen sich wie folgt gliedern:

### **Multifunktionale Parkanlagen**

Beispiele:

- DreiländerGarten
- Läublinpark
- Rheinpark

Die großen multifunktionalen Parkanlagen in Weil am Rhein ab einer Fläche von ca. 5.000 m<sup>2</sup> bieten große innerstädtische Erholungsräume für Anwohner und Touristen. Sie sind von stadtweiter Bedeutung und für die Erholung und Regeneration in Hitzeperioden besonders wichtig. In Abhängigkeit der Gestaltung und Beschaffenheit der Flächen wirken sie aufgrund ihrer Größe klimatisch günstig auf die angrenzenden Siedlungsbereiche. Als offene Grünflächen übernehmen sie auch die Funktion von Kaltluftentstehungsgebieten.



### **Kleine Park- und Grünanlagen, Spazierwege**

Beispiele:

- Parkanlage an der Straße „Im Hasengarten“
- Parkanlage an der Rheinstraße Höhe Teichweg (Märkt)
- Rheinufer

Kleinere Parks mit weniger als 5.000 m<sup>2</sup> Fläche oder nur geringer Breite haben meist keine oder nur geringe klimatische Wirkung auf die angrenzenden Siedlungsbereiche, wenn sie nicht an den Außenbereich anschließen. Diese können dennoch für die angrenzenden Anwohner eine wichtige Rolle für die Erholung im Stadtteil, insbesondere in Hitzeperioden, spielen.

## Verkehrsbegleitgrün

Beispiele:

- Kaiserstraße
- Dammstraße

Unter das Verkehrsbegleitgrün fallen das klassische Straßenbegleitgrün, Wegraine, Bahndämme und -böschungen. Aufgrund ihrer unmittelbaren Nähe zu Verkehrsachsen sind sie für die Erholung kaum nutzbar, außer an Fuß- und Radwegen. Verkehrsbegleitgrün reduziert die durch die Verkehrswege verursachte thermische Belastung, dient der Filterung und Versickerung von Oberflächenwasser und stellt als linienhafte Grünstruktur oft wichtige Elemente im Grünverbund dar.



## Friedhöfe

Beispiele:

- Friedhof an der Bergstraße
- Friedhof Haltingen

Friedhöfe sind Orte der Stille und Erinnerung. Sie sind aber auch Orte der Begegnung, der naturnahen, ruhigen Erholung und der Biodiversität. Sie sollten als Potenzialräume betrachtet und behutsam entwickelt werden.



## Außenanlagen an öffentlichen Gebäuden

Beispiele:

- Lindenplatz an der Altweiler Kirche
- an Schulen

Grün- und Freiflächen an öffentlichen Gebäuden, vor allem an Schulen und Kindergärten bzw. Kindertagesstätten stellen in Weil am Rhein große innerstädtische Freiräume dar. Sie sind heute teilweise bereits wertvolle Grünflächen mit alten Baumbeständen und als solche stadtklimatisch und ökologisch von hoher Bedeutung. Eine stadtklimatische Wirksamkeit dieser Flächen ist gegeben.

## Freibäder und Badeplätze

Beispiele:

- Laguna Badeland

Freibäder und Badeplätze dienen der Erholung der städtischen Bevölkerung in der heißen Jahreszeit. Die zugehörigen Liegewiesen und Baumbestände übernehmen dabei eine wichtige erholungsrelevante Funktion ein und sind stadtklimatisch sowie ökologisch wertvolle Freiflächen. Da Hitzeperioden mit fortschreitendem Klimawandel zunehmen, wird auch die Nachfrage nach Freibädern steigen.

## Spielplätze

Beispiele:

- Spielplatz Rheinpark
- Spielplatz Schutzacker
- Spielplatz Rümmlinger Weg
- Heldelinger Straße/Bromenackerweg

Für Familien sind Kinderspielplätze besonders wichtige städtische Freiflächen, welche klimatische, ökologische und erholungsrelevante Funktionen übernehmen können. Auf ausreichende Verschattung und Verfügbarkeit von Aufenthaltsbereichen und Spielzonen ist zu achten. Anmerkung: Spielplätze wurden nicht in ihrer Gesamtheit analysiert.



## Sportflächen

Beispiele:

- Sportanlagen im DreiländerGarten
- Sportplatz Ötlingen

Sportplätze stellen zweckgebundene Grünflächen dar, welche sich tagsüber stark aufheizen können und nachts jedoch ausreichend abkühlen. Sie sind für die Erholung in Hitzeperioden nur eingeschränkt nutzbar.

## Kleingartenanlagen

Beispiele:

- Hupfergrube
- Kleingartenanlage nördlich von Haltingen
- Kleingärten an der Straße „Im Rad“

Gartenkleinanlagen können der Öffentlichkeit als Naherholungsgrünflächen dienen, auch indem z.B. Gemeinschaftsgärten ermöglicht werden.

## Private Grün- und Freiflächen

Durch eine natur- und artenfreundliche Gestaltung privater Grünflächen kann jeder einen Beitrag zur Reduktion der thermischen Belastung des unmittelbaren Wohnumfeldes leisten und die natürliche Lebensgrundlage stärken. Insbesondere alte Baumbestände sollten sowohl auf öffentlichen als auch auf privaten Grundstücken unter Schutz gestellt werden. Schottergärten sind kontraproduktiv. Sie heizen sich wie versiegelte Flächen tagsüber stark auf und geben die Wärme abends wieder an die Umgebung ab, tragen somit zu einer höheren nächtlichen Lufttemperatur und einem stärkeren urbanen Wärmeinseleffekt bei.

Grünflächen sowie Naherholungsgebiete müssen für die Menschen erreichbar sein, um als Erholungsorte wirken zu können. Daher ist die Entfernung dieser Gebiete zu den Wohngebieten entscheidend für die Bewertung der Klimavielfalt. Für die Bewertung der Klimavielfalt wurde die Entfernung in Luftlinie zwischen den jeweiligen Wohngebieten und den nächstgelegenen multifunktionalen Parkanlagen und Naherholungsgebieten ermittelt. Dies ist in Abbildung 7-11 dargestellt. Eine Entfernung vom Siedlungsbereich zu diesen Flächen von weniger als 250 m (das entspricht bis zu 5 min Fußweg) wird als „sehr gute Klimavielfalt“ und von weniger als 500 m (bis zu 10 min Fußweg) als „Klimavielfalt vorhanden“ gewertet (vgl. Schumacher et al. 2016, Richter et al. 2016, Mayer 1989).

Für die Erreichbarkeit spielen neben der Distanz auch Barrieren zwischen Wohngebiet und Grünfläche bzw. Naherholungsgebiet eine Rolle. Barrieren können beispielsweise Bahnlinien oder Autobahnen sein. Eine explizite Berücksichtigung der Barrieren gestaltet sich oft aufgrund der Datengrundlage als schwierig (Fußgängerüberwege sind häufig unzureichend in den Datenbeständen erfasst) und wurde daher im vorliegenden Bericht nicht explizit durchgeführt.

Grundstücke mit einem großen Gartenanteil (und Baumbestand) bieten ihren Bewohnern in der Regel eine gute Erholungsmöglichkeit, so dass in Stadtbezirken mit hohem privatem Grünanteil nur ein geringer Bedarf an zusätzlichem Stadtgrün vorhanden ist. Daher wurden in der Bedarfsanalyse lediglich solche Grundstücke berücksichtigt, welche weniger als 60 m<sup>2</sup> unversiegelte Fläche pro Einwohner aufweisen. Die Ergebnisse liefern ein gutes Bild über die Versorgung mit Grünflächen auf gesamtstädtischer Ebene (Abbildung 7-12).

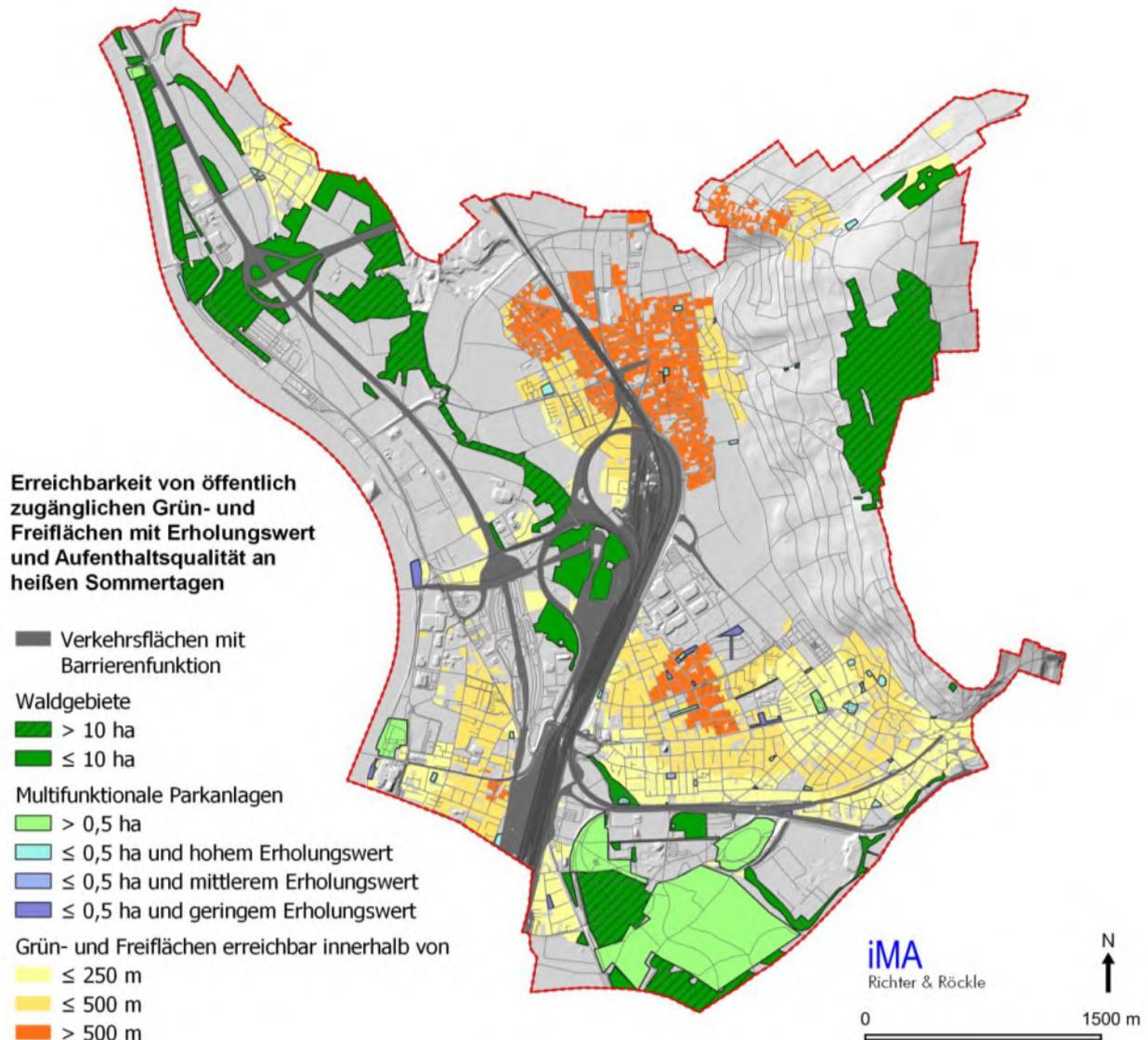


Abbildung 7-11: Abstände der Siedlungsräume zu multifunktionalen Parkanlagen und Naherholungsgebieten (Waldgebieten).

Eine gewisse Unterversorgung an öffentlichen Grünanlagen herrscht in Weil am Rhein vor allem in Haltingen, Ötlingen und dem Bereich zwischen dem Vitra-Gelände und der Hauptstraße (Abbildung 7-11). Dieser Mangel an öffentlichen Grünflächen kann teilweise durch private Gärten ausgeglichen werden, insbesondere in Ortsteilen mit geringer Einwohnerdichte und vornehmlich Einfamilienhäusern wie z.B. Haltingen oder Ötlingen (Abbildung 7-12).

Neben den innerstädtischen Grünanlagen dienen auch die stadtnahen Wälder als Erholungsgebiete für die Stadtbevölkerung. Beispiele hierfür sind die Waldflächen am DreiländerGarten oder auf dem Tüllinger Berg.

Ebenfalls können die Weinanbaugebiete am Tüllinger Berg als Naherholungsgebiete dienen, sofern ausreichend Spazierwege und verschattete Sitzmöglichkeiten für die Bürgerinnen und Bürger bestehen. Da sich die Weinanbauflächen überwiegend in privater Hand befinden und keine Information über Sitzgelegenheiten und deren Verschattung vorliegen, werden diese bei der Klimavielfaltsanalyse nicht berücksichtigt.

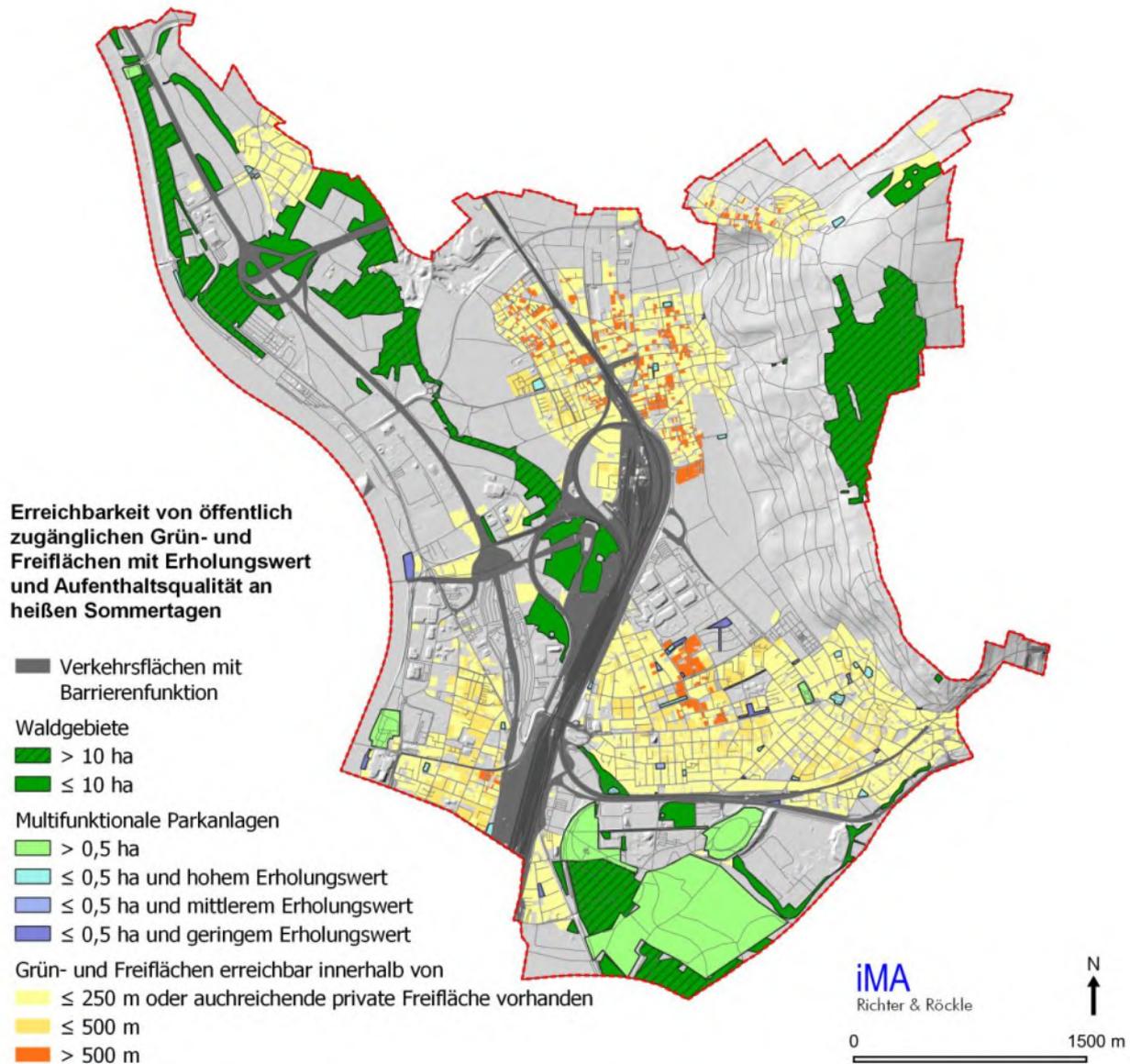


Abbildung 7-12 Versorgung der Siedlungsräume mit multifunktionalen Parkanlagen und Naherholungsgebieten (Waldgebiete) unter Berücksichtigung von privaten Gartenanlagen.

In der Stadt Weil am Rhein können 87 % der Einwohner innerhalb von 500 m Luftlinie und 58 % der Einwohner innerhalb von 250 m Luftlinie öffentlich zugängliche Parkanlagen und Waldgebiete aufsuchen. Die reale Weglänge im Süden von Weil am Rhein ist höher, da die B317 nur an wenigen Stellen überquert werden kann und dadurch Umwege entstehen.

Einen erhöhten Bedarf an zusätzlichen Parkanlagen besteht südlich des Vitra Geländes zwischen Vitra Gelände und Hauptstraße. Aufgrund der Siedlungsstruktur und der Wärmebelastung sind dort Grünflächen mit guter Aufenthaltsqualität besonders wichtig.

Die Erreichbarkeit von Erholungsflächen ist in großen Teilen von Haltingen nur gering, wobei dies durch private Grünflächen und Gärten größtenteils kompensiert werden kann. Bei weiterer Bebauung und Nachverdichtung würden mehrere kleine, durch Laubbäume abgeschattete Grüninseln (Spiel- und Grünflächen) die Aufenthaltsqualität an heißen Tagen in Haltingen verbessern.

#### 7.4 Sensitivität

Zur Ermittlung der Sensitivität (Empfindlichkeit) der Siedlungsbereiche wird die Einwohnerdichte für die Flächen von 50 m x 50 m (Abbildung 7-13) berechnet. Bereiche mit hoher Einwohnerdichte sind empfindlicher gegenüber Nutzungsänderungen; sie weisen somit eine hohe Sensitivität auf.

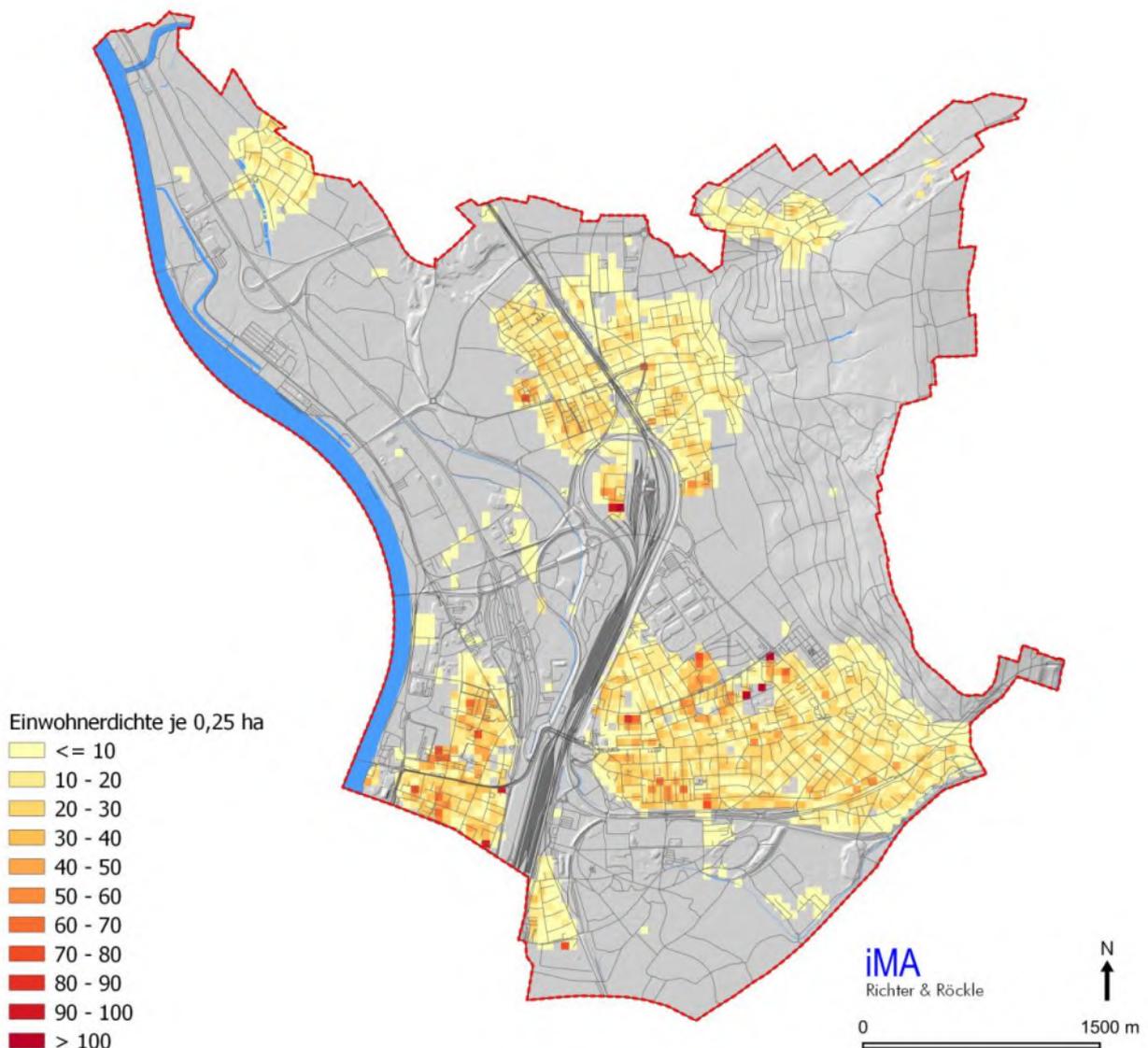


Abbildung 7-13: Einwohnerdichte pro 50 m x 50 m-Fläche.

Die höchste Einwohnerdichte tritt entlang der Breslauer Straße im nördlichen Stadtgebiet von Weil, sowie entlang der Hauptstraße auf. Haltingen weist in der Straße „Im Rad“ sowie „Im Sandacker“, entlang der Weinbergstraße eine hohe Einwohnerdichte auf. Die größte Einwohnerdichte der

einzelnen Stadtteile findet man in Friedlingen. Märkt, Otterbach und Ötlingen weisen geringere Einwohnerdichten auf.

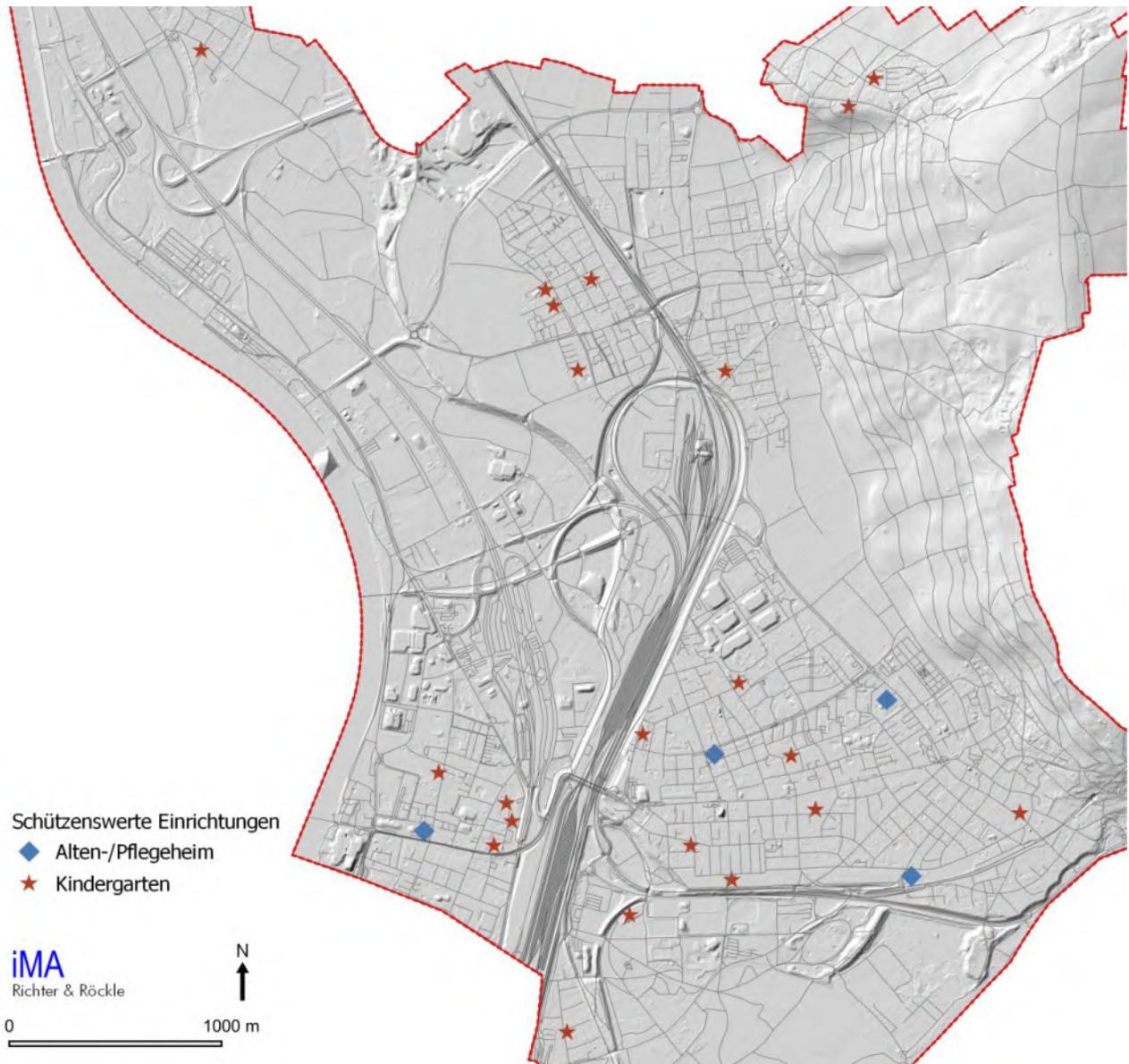


Abbildung 7-14: Vor Hitzestress schützenswerte Einrichtungen, wie z.B. Pflegeheime und Kindergärten.

Besonders junge, alte oder kranke Personen reagieren empfindlich auf Hitzestress und weisen dementsprechend hohe Mortalitäts- und Morbiditätsraten während Hitzewellen auf (Grize et al. 2003, Robine et al. 2008). In Abbildung 7-14 sind Einrichtungen eingetragen, welche in Bezug auf Hitzestress besonders schützenswert sind. Dabei zeigt Abbildung 7-14 lediglich zunächst eine räumliche Auflistung der schützenswerten Einrichtungen noch ohne Bewertung, ob tatsächlich Hitzestress vorliegt. Die Bewertung geschieht im folgenden Abschnitt.

Während Seniorenheime sich auch in der Einwohnerdichte niederschlagen, müssen Krankenhäuser, Sanatorien und Kindertagesstätten bei der Berechnung der Empfindlichkeit (Abbildung 7-15) gesondert berücksichtigt werden.

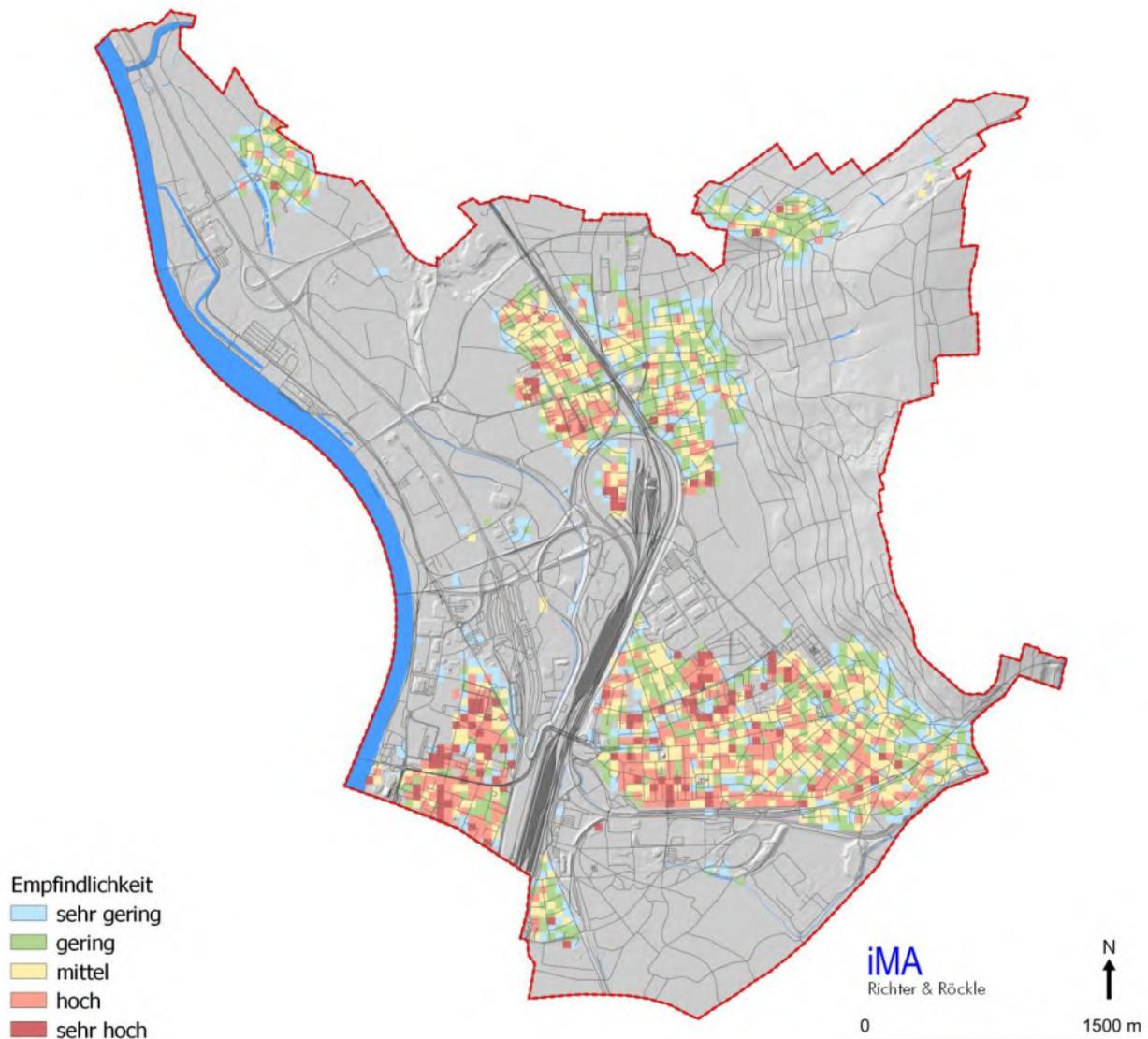


Abbildung 7-15: Empfindlichkeit pro 50 m x 50 m-Fläche.

## 7.5 Betroffenheit

Die Betroffenheit (Abbildung 7-17) ergibt sich aus der Überlagerung der Empfindlichkeit (Abbildung 7-15) mit der thermischen Belastung (Abbildung 7-16). Die Berechnung der thermischen Betroffenheit wird im Anhang A1.2.3 (Seite 101) detailliert beschrieben.

Die thermische Belastung (Abbildung 7-16) wird auf Grundlage der human-biometeorologischen Belastung tagsüber, der Intensität der nächtlichen urbanem Wärmeinsel und der Klimavielfalt bewertet. Die thermische Belastung ist in Weil selbst von der Altweiler Kirche im Osten entlang der Hauptstraße im Süden bis zum Vitra-Gelände im Norden, sowie in den westlichen, am Rhein gelegenen Industrie- und Gewerbegebieten und der Ortsmitte in Haltingen am höchsten.

An den Hanglagen, auf bewaldeten Flächen und Streuobstwiesen ist die die thermische Belastung als gering einzustufen. Siedlungsflächen, die gut durchlüftet werden oder stark durchgrünt sind, heizen sich tagsüber vergleichsweise weniger stark auf und kühlen nachts besser ab, weshalb die thermische Belastung als mittel bis gering eingestuft werden kann.

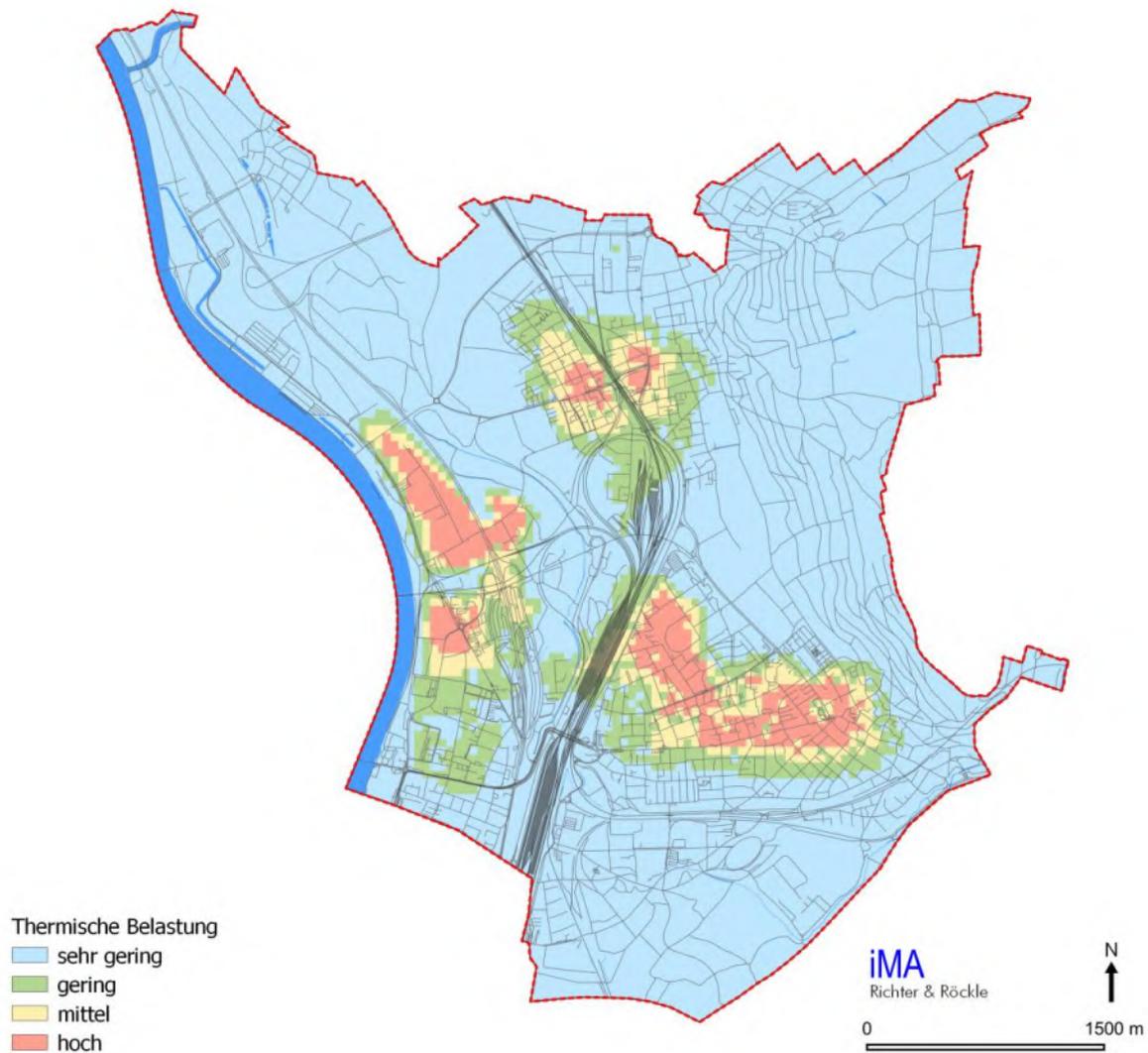


Abbildung 7-16: Thermische Belastung auf den Siedlungsflächen. Eingangsgrößen für die Berechnung der thermischen Belastung sind die urbane Wärmeinsel, PET und die Klimavielfalt. Außerhalb der Modellgebiete der mikroskaligen Simulationen wurde auf die mesoskaligen Simulationsergebnisse zurückgegriffen.

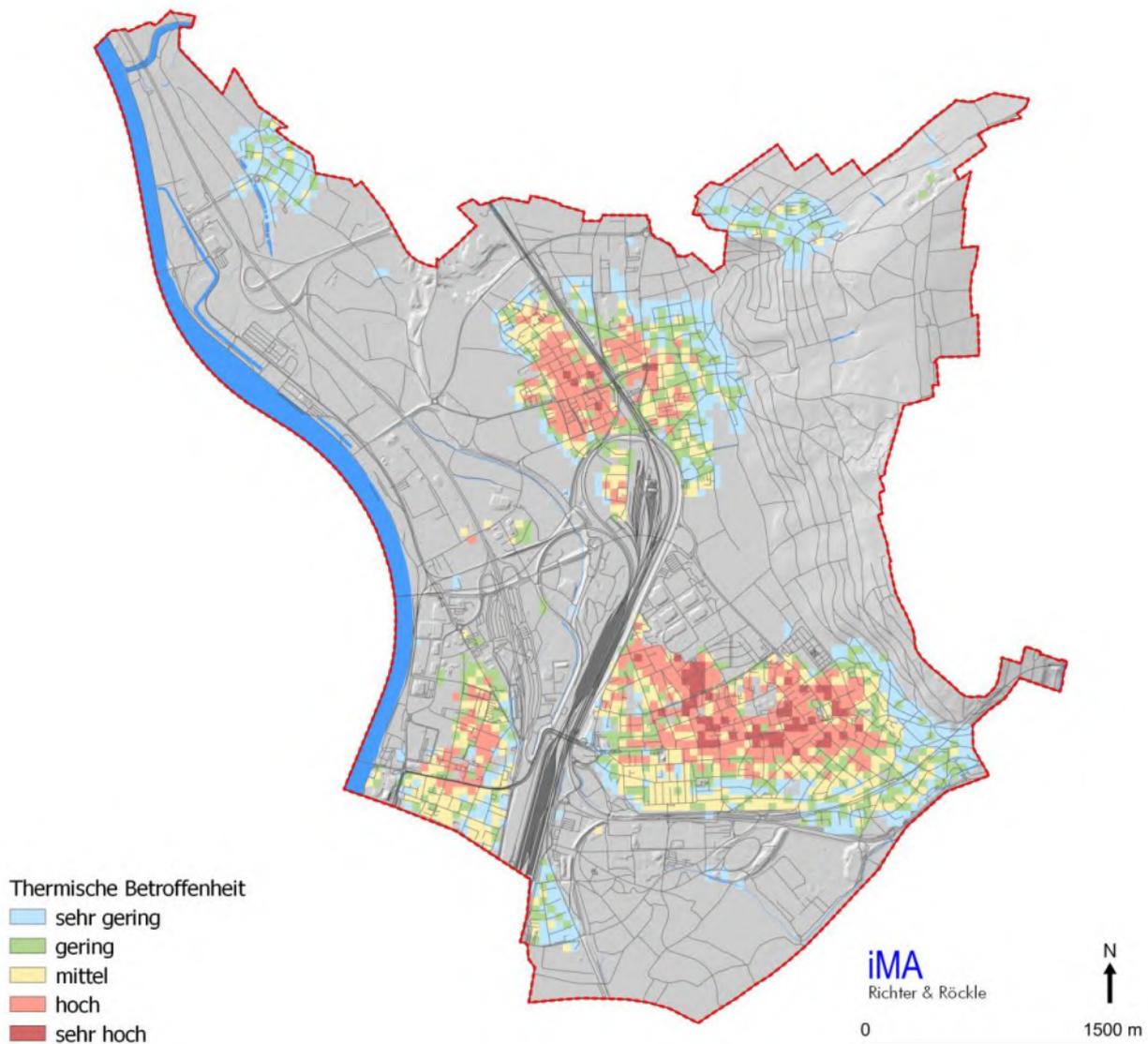


Abbildung 7-17: Thermische Betroffenheit (Vulnerabilität). Eingangsgrößen für die Berechnung der thermischen Betroffenheit sind die Empfindlichkeit, urbane Wärmeinsel, PET und die Klimavielfalt.

In Weil und Alt-Weil, Friedlingen und Haltingen sind Bereiche mit mittlerer bis hoher Betroffenheit (Abbildung 7-17) vorhanden. Der Schwerpunkt liegt meist im Kerngebiet der jeweiligen Siedlungsgebiete, welche die höchste Einwohnerdichte und die geringste Durchlüftung und Durchgrünung aufweisen. Märkt, Ötlingen und Otterbach sind durch die geringere Bebauungsdichte und oft bessere Frischluftversorgung durch das Umland überwiegend deutlich weniger betroffen.

Eine sehr hohe Betroffenheit (Abbildung 7-17) tritt hauptsächlich im nördlichen Stadtgebiet von Weil auf. Hohe Betroffenheiten sind im westlichen Teil von Haltingen und in Friedlingen zu finden. Geringe bis mittlere Betroffenheiten finden sich im östlichen und südlichen Teil von Weil und auch in östlichen Teil von Haltingen, aufgrund der guten Durchlüftung und damit verbundenen besseren nächtlichen Abkühlung.

## 8 Klimaanalysekarte

Die Klimaanalysekarte (Abbildung 8-1), auch Klimatopkarte genannt, zeigt eine flächendeckende, detaillierte Darstellung der thermischen und dynamischen Verhältnisse des klimatischen Ist-Zustandes. Dabei gibt sie in erster Linie die Verhältnisse während autochthoner Wetterlagen, also windschwacher, austauscharmer Hochdruckwetterlagen wieder. Die gezeigten Luftleitbahnen wurden auf Grundlage der langjährigen Windverhältnisse ermittelt und beziehen somit alle auftretenden Wetterlagen mit ein.

Die Kartenerstellung basiert auf der VDI-Richtlinie 3787, Blatt 1:2015-09, in der vorgeschlagen wird, klimarelevante Flächen, sogenannte Klimatope, auszuweisen. **Klimatope** bezeichnen räumliche Einheiten mit ähnlichen mikroklimatischen Strukturen.

### Klimaanalysekarte Weil am Rhein

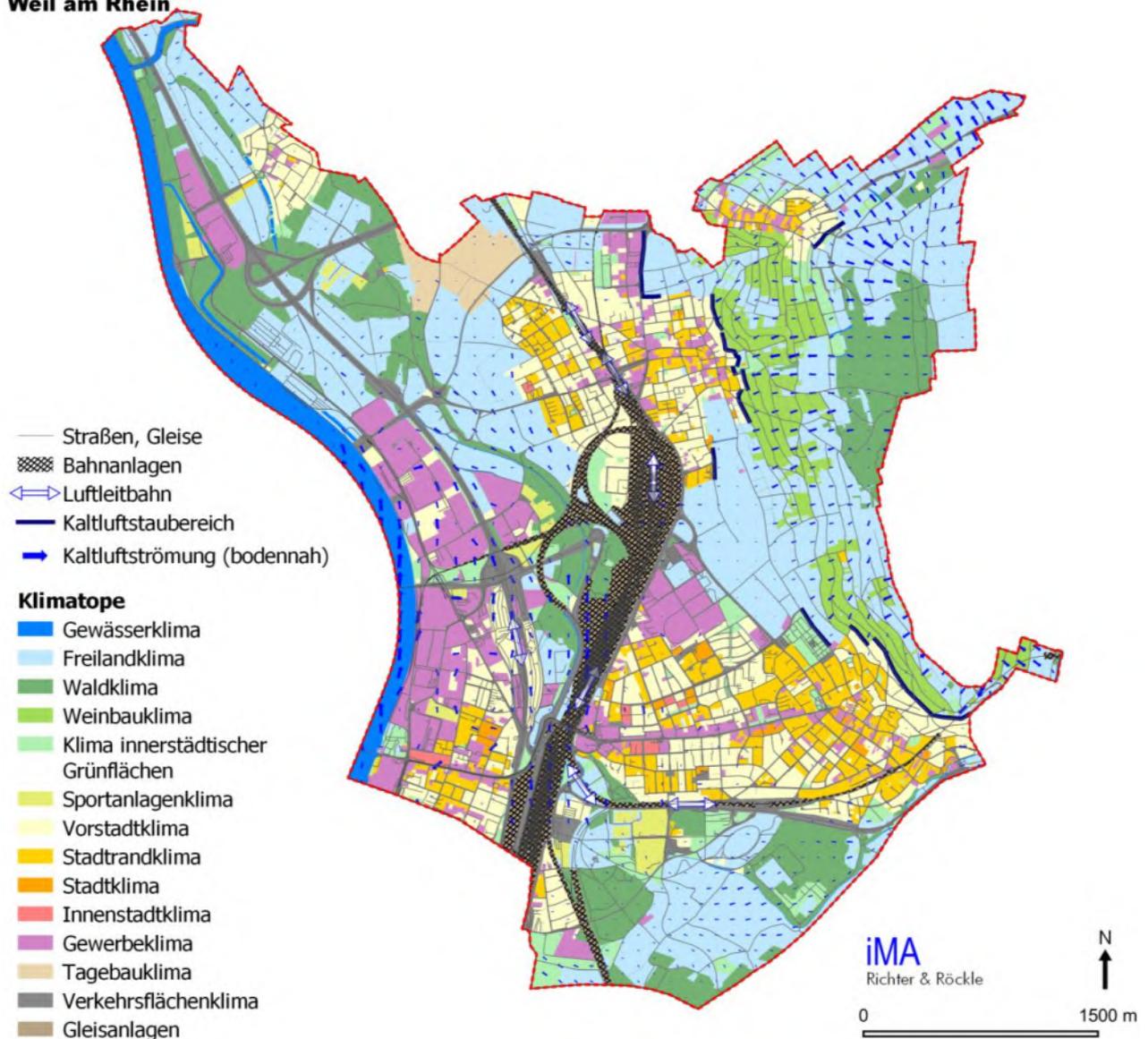


Abbildung 8-1: Klimaanalysekarte für Weil am Rhein. Dargestellt sind die Klimatope, die Kaltluftströmung um 22 Uhr und die potentiellen Luftleitbahnen.

Die in den vorangegangenen Kapiteln beschriebenen Modellierungen bilden neben der Realnutzung die Grundlage für die Klimaanalysekarte. Da Vorgänge in der unteren Atmosphäre betrachtet werden, sind die Übergänge zwischen den Klimatopen eigentlich fließend, d.h. die Abgrenzungen in der Klimaanalysekarte sind nicht als „scharfe“ Grenzen, sondern eher als „Grenzsäume“ zu sehen.

Die in Abbildung 8-1 dargestellte Strömung bezieht sich auf das Bodenniveau in den Abendstunden. Die Beschreibung der Klimatope und ihrer klimatischen Eigenschaften ist in Anhang A2 aufgelistet.

**Kaltluftstau** (hellblaue Linien) kann an Siedlungsrändern oder riegelbildenden Vegetationsstrukturen auftreten. Durch den durch die Barriere bewirkten Aufstau von Kaltluft kann sich ein Kaltluftsee ausprägen, dessen vertikale Mächtigkeit durch die Hindernishöhe begrenzt wird. Das Frostrisiko ist in diesem Bereich erhöht, da sich die Luft in Stagnationsbereichen stärker abkühlen kann als in Fließbereichen. Die Kaltluftstaubereiche wurden unter Berücksichtigung der bodennahen Strömung und Lufttemperatur ausgewiesen.

In Weil, Haltingen und Ötlingen bilden die östlichen Siedlungsrändern Barrieren, welche die von Tüllinger Berg kommende Kaltluft lokal stauen.

In Weil am Rhein bilden die Verkehrsflächen der Bahn und der Autobahn Luftleitbahnen im Siedlungsbereich für die im der Oberrheingraben auftretenden typischen Strömungen aus nördlichen und südlichen Richtungen. Auch die B317 kann für die Kaltluftströmung aus östlicher Richtung als Luftleitbahn fungieren. Sie ist aber für Siedlungsbereiche kaum relevant.

## 9 Planungshinweiskarte

Während die Klimaanalysekarte eine weitgehend wertfreie Darstellung der klimatischen und lufthygienischen Verhältnisse repräsentiert, werden auf der Planungshinweiskarte zum einen die Freiflächen hinsichtlich ihrer klimatischen Ausgleichsfunktion und zum anderen die Siedlungsflächen hinsichtlich ihrer Empfindlichkeit gegenüber einer Siedlungsverdichtung oder -erweiterung klassifiziert.

In Abbildung 9-1 werden die Siedlungsflächen im Hinblick auf die thermische Betroffenheit (Vulnerabilität) unter Berücksichtigung der thermischen Belastung und der Sensitivität (Einwohnerdichte) bewertet.

Die **Siedlungsbereiche** sind je nach **thermischer Betroffenheit** eingefärbt. Je dunkler die Farbe, desto höher ist dort die Vulnerabilität. In den stark belasteten Bereichen ist es von Vorteil, die Wärmebelastung nicht weiter zu erhöhen und stattdessen Minderungsmaßnahmen anzustreben. Dies kann in Form von Ausgleichsflächen erfolgen, die stärker begrünt werden. Aber auch eine Verringerung des Anteils der versiegelten Fläche z.B. durch Fassaden- und Dachbegrünung, Bäume sowie Pocket-Parks verringern die Wärmebelastung. Nachverdichtungen in diesen Bereichen sind eher kritisch zu sehen. Es wird empfohlen, diese Bereiche durch Schaffung von Ausgleichsflächen zu entlasten.

Der Anpassungsbedarf zur Optimierung des Klimakomforts nimmt von den dunkelroten Bereichen zu den orangefarbenen Bereichen ab. In den gelben Bereichen ist der Anpassungsbedarf eher gering.

Die **Grünflächen** sind nach aufsteigender Relevanz für die nächtliche Durchlüftung von gelb über grün nach blau eingefärbt. Je blauer die Fläche, desto wichtiger ist diese für den Kaltluftzustrom. Um ihre Funktion zu erhalten, sollten diese Flächen von geschlossener Bebauung freigehalten werden. Dies wäre Aufgabe für die Flächennutzungsplanung. Zwar sind einzelne Gebäude in diesen Bereichen möglich, sofern sie die Höhe der angrenzenden oder umliegenden Bebauung nicht übersteigen und keine Riegel quer zur Strömung darstellen, dies ist jedoch im Einzelfall abzuwägen.

Die **innerörtlichen klimarelevanten Grünflächen** sind grün eingefärbt. Sie haben eine hohe Bedeutung als Erholungsflächen (Klimavielfalt) bzw. Ausgleichsflächen für die Nachbarschaft.

In Bereichen mit geringer Rauigkeit (z.B. Wiesen, Ackerland) sind die möglichen bodennahen Strömungsgeschwindigkeiten höher als in rauem Gelände (z.B. Siedlung, Wald). Hindernisse machen die Strömung turbulenter und schwächen damit den mittleren Luftstrom. Potenziell sind folglich Wasserflächen und Acker- und Grünflächen mit niedriger Vegetation und damit geringer Rauigkeit gute Luftleitbahnen. Aber auch breite langgestreckte Gleisanlagen oder breitere geradlinige Ausfallstraßen können Luftleitbahnen darstellen.

Wenn eine Luftleitbahn dazu dient, thermisch oder lufthygienisch belastete Gebiete bodennah zu belüften, wird von einer stadtklimarelevanten Luftleitbahn gesprochen. Nach Mayer & Matzarakis (1992) sollen stadtklimarelevante Luftleitbahnen mindestens 1 km lang und 50 m breit und weitgehend hindernisfrei sein. Die Bedeutung der Luftleitbahnen hängt von den vorherrschenden Windrichtungen und der Durchlüftungsfunktion in thermisch belasteten Siedlungsbereichen ab. Luftleitbahnen beschreiben Flächen, über die Kaltluftströmungen bodennah entlastend wirksam werden. Aber auch Kaltluftströmungen, die sich im Überdachniveau fortsetzen und in weiter stadteinwärts liegende Bereiche reichen tragen zur Entlastung bei. Die Bahnlinie stellt in den westlichen Stadtgebieten eine funktionelle **Luftleitbahn** für die Nord-Süd gerichtete Strömung, welche typisch ist für die Oberrheinische Tiefebene ist, dar.

Für die Durchlüftung von Alt-Weil, den östlichen Stadtgebieten von Weil und Haltingen sowie Ötlingen während autochthoner Wetterlagen sind die Hangabwinde vom Tüllinger Berg von großer Bedeutung. Bodennah gibt es in Weil keine ausgeprägte hindernisarme Luftleitbahn. Deshalb nimmt die Windgeschwindigkeit bodennah im Mittel rasch ab.

Für die Durchlüftung von Friedlingen, Märkt und Otterbach sind die rheintalfolgenden Strömungen von Bedeutung.

Die Planungshinweiskarte wurde zudem für die Zeiträume 2031 – 2060 und 2071 – 2100 unter Berücksichtigung des prognostizierten Klimawandels erstellt. Diese Karten sind im Anhang in Kapitel A3 dargestellt. Die betrachteten Szenarien RCP2.6 und RCP8.5 sind in Kapitel 4.1 genauer beschrieben. Die Auswirkungen des Klimawandels auf die thermische Belastung werden über die Zunahme der Lufttemperatur sowie über die steigende Häufigkeit der jährlichen Sommertage berücksichtigt.

Unter Betrachtung des Szenarios RCP2.6 (Abbildung A3-12-3) nimmt durch die Erhöhung der Lufttemperatur und der Häufigkeit der Sommertage die Betroffenheit zur Mitte des Jahrhunderts zu. Zum Ende des 21. Jahrhunderts sinkt die thermische Betroffenheit wieder. Es ergeben sich im Vergleich zur heutigen Planungshinweiskarte nahezu keine Änderungen.

Bei Betrachtung des Szenarios RCP8.5 nimmt durch den hohen Anstieg der Lufttemperatur und durch die große Zunahme der Anzahl an jährlichen Sommertagen die thermische Betroffenheit deutlich zu. Dies führt bereits im Zeitraum 2031 – 2060 (Abbildung A3-12-4 oben) zu einer allgemein deutlich höheren Betroffenheit als im aktuellen Zeitraum. Zu Ende des Jahrhunderts verstärkt sich dies nochmals und führt zu sehr hohen Betroffenheiten in weiten Teilen des Stadtgebiets (Abbildung A3-12-4 unten).

In Folge der stark steigenden Betroffenheit steigt entsprechend auch die Relevanz der umliegenden Grünflächen für die Durchlüftung und Kaltluftproduktion.

**Planungshinweiskarte  
Weil am Rhein**

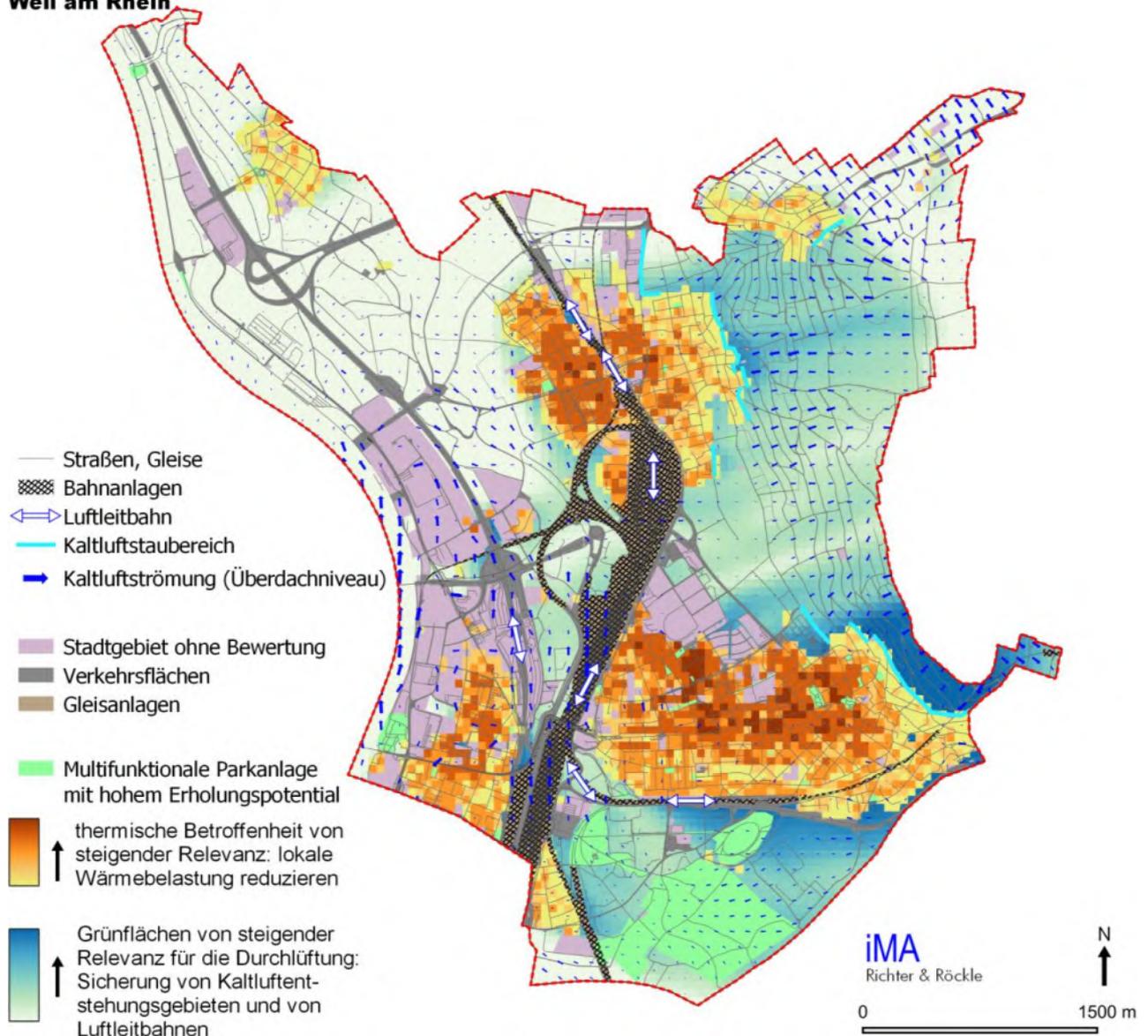


Abbildung 9-1: Planungshinweiskarte für Weil am Rhein.

## 10 Untersuchung verschiedener Planflächen

Um die Entwicklung des Stadtklimas der Stadt Weil am Rhein zu untersuchen, wurde untersucht wie die Umsetzung verschiedener im FNP 2022 ausgewiesener Planflächen das Stadtklima beeinflussen. Die betrachteten Flächen sind in Abbildung 10-1 und Tabelle 10-1 aufgeführt. Diese Flächen sind zum Teil bereits bebaut und wurden in der Klimaanalyse nicht erfasst, weil sie zum Zeitpunkt der Modellierung noch nicht im Kataster enthalten waren. Für die geplanten Flächenausweisungen wurden Annahmen zur Grundflächenzahl und maximaler Bauhöhe getroffen (siehe Tabelle 10-1).

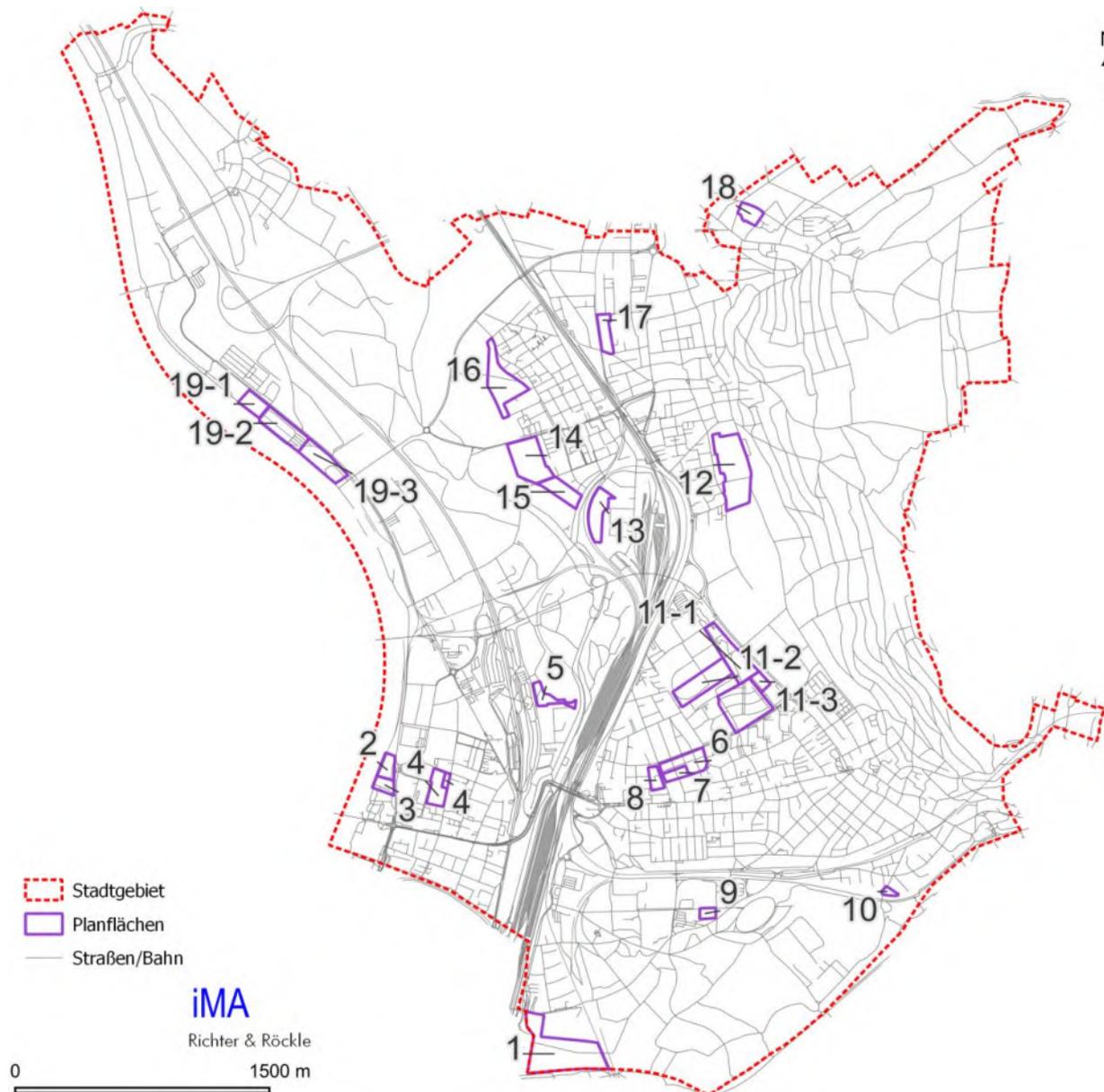


Abbildung 10-1: Betrachtete Flächen.

Für die Untersuchung wurden zusätzliche mesoskalige Simulationen mit dem Modell FITNAH durchgeführt, in denen die Flächen gemäß Planung umgesetzt wurden. Die Änderung des Stadtklimas durch diese Flächen wird mithilfe von Differenzendarstellungen im Folgenden beschrieben. Betrachtet werden die Änderungen in den Abendstunden und der Nacht. Diese sind die kritischen

Zeitpunkte, da während der zunehmenden sommerlichen Hitzeperioden die Abendstunden und die Nacht einen Zeitraum der Abkühlung verspricht und die warmen Stadtgebiete mit kühler Umgebungsluft versorgt.

Tabelle 10-1: Liste der betrachteten Flächen.

Kennnummer	Bezeichnung	Annahmen zur Nutzung
1	Otterbach Süd	GRZ 0,6; max. Bauhöhe 17 m
2	Nördliche Rheinparkerweiterung	GRZ 0,7; max. Bauhöhe 17 m
3	Grünfläche	Unbebaute Grünfläche
4	Juno II	Sport- und Freiflächen mit Kita/Jugendzentrum im Nordosten laut Planunterlagen
5	G8	Gewerbegebiet; GRZ 0,6; max. Bauhöhe 8 m
6	Messeplatz	GRZ 0,4; max. Bauhöhe 12,5 m
7	Messeplatz	GRZ 0,6; max. Bauhöhe 16,5 m
8	Johannisquartier	GRZ 0,6; max. Bauhöhe 13 m
9		GRZ 0,6; max. Bauhöhe 8 m
10	Kleingartenanlage	GRZ 0,3; max. Bauhöhe 3 m
11-1	Hohe Straße, Sonderbaugebiet	GRZ 0,6; max. Bauhöhe 28 m
11-2	Hohe Straße, Mischgebiet	GRZ 0,6; max. Bauhöhe 15,7 m
11-3	Hohe Straße, Mischgebiet	GRZ 0,6; max. Bauhöhe 16 m
11-4	Hohe Straße, Wohnen	GRZ 0,4; max. Bauhöhe 13 m
12	Haltingen Ort	GRZ 0,4; max. Bauhöhe 13 m
13	Im Rad	GRZ 0,4; max. Bauhöhe 17 m
14	Hedelinger Boden	GRZ 0,4; max. Bauhöhe 13 m
15	Auf dem Wäschrain	GRZ 0,4; max. Bauhöhe 13 m
16	Unterer Brommenacker und Schule	GRZ 0,4; max. Bauhöhe 13 m
17	Grielloch	GRZ 0,4; max. Bauhöhe 8 m
18	Hinter dem Dorf III	GRZ 0,4; max. Bauhöhe 8 m
19-1	Rheinhafen	GRZ 0,8; max. Bauhöhe 13 m
19-2	Rheinhafen	GRZ 0,8; max. Bauhöhe 15 m
19-3	Rheinhafen	GRZ 0,8; max. Bauhöhe 6 m

## 10.1 Simulationsergebnisse

Die Abbildungen Abbildung 10-2 und Abbildung 10-3 zeigen die Änderung der abendlichen bzw. der nächtlichen Lufttemperatur durch die Umsetzung der geplanten Bebauung auf den Flächen.

Die Flächen 12 bis 16 in Haltingen zeigen eine deutliche Zunahme der Lufttemperatur innerhalb der Flächen. Die Flächen werden aktuell landwirtschaftlich genutzt. Durch die zusätzliche Bebauung und die damit einhergehende Versiegelung heizen sich die Flächen tagsüber stärker auf und weisen somit auch in den Abend- und Nachtstunden höhere Lufttemperaturen auf als im nicht bebauten Zustand.

Für die Flächen 13 bis 16 bleibt der Einfluss auf die Flächen begrenzt.

Die Fläche 12 („Haltingen Ost“) liegt im Bereich des Kaltluftabflusses vom Tüllinger Berg. Die zusätzliche Bebauung auf dieser Fläche verringert die Durchlüftung der nachfolgenden Gebiete (siehe auch Abbildung 10-4) und führt so zu einer Erhöhung der Lufttemperatur westlich der Fläche. Im Bereich zwischen der Fläche und der Bahngleise erhöht sich die abendliche Lufttemperatur um 0,5 °C bis 1,5 °C. In der Nacht ist eine Erhöhung von 0,5 °C noch in 150 m Entfernung in Nordwestlicher Richtung zu erwarten.

Die Fläche 17 „Grielloch“ ist bereits im aktuellen Zustand bebaut. Die geplante zusätzliche Bebauung erhöht den Versiegelungsgrad im Vergleich zum Bestand nur geringfügig, wodurch sich nur geringe Änderungen auf das Stadtklima ergeben. Die abendliche Lufttemperatur erhöht sich im Bereich zwischen Locherweg und Kanderstraße um weniger als 0,4 °C. In der Nacht ist keine Änderung der Lufttemperatur zu erwarten.

Die Fläche 18 „Hinter dem Dorf III“ in Ötlingen verursacht eine Erhöhung der abendlichen Lufttemperatur von bis zu 0,7 °C innerhalb der Fläche selbst. Angrenzende Flächen sind nicht betroffen.

Die Flächen 11-1 bis 11-4 („Hohe Straße“) bewirken ebenfalls eine leichte Temperaturerhöhung. In den Abendstunden erhöht sich die Lufttemperatur durch die Bebauung im Bereich der Leimgrubenstraße um weniger als 0,5 °C. Im Bereich der August-Bauer-Straße und der Adolf-Glattacker-Straße nimmt die abendliche Lufttemperatur um bis zu 0,7 °C zu. Im weiteren Verlauf der Nacht gleicht sich die Lufttemperatur durch die geänderten Windverhältnisse wieder aus. Lediglich innerhalb der Fläche 11-1 und im östlichen Teil der Fläche 11-2 tritt noch eine Erhöhung der Lufttemperatur von 0,4 °C bis 0,7 °C auf.

Die Flächen 6 und 7 („Messeplatz“) und 8 „Johannisquartier“ bewirken eine geringfügige Erhöhung der abendlichen Lufttemperatur um weniger als 0,4 °C im Bereich zwischen Lessingstraße und Goethestraße. Durch die geänderten Oberflächeneigenschaften im Vergleich zum Bestand wird die Lufttemperatur in der Nacht innerhalb der Flächen um bis zu 0,4 °C verringert.

Zum Zeitpunkt der Modellierung wurde für die Fläche 5 „G8“ eine gewerbliche Nutzung geplant. Gegenüber der aktuellen Nutzung als Grünfläche ergeben sich deutliche Änderungen in der Lufttemperatur auf der Fläche 5 sowie im näheren Umfeld. Der Effekt bleibt auf den Bereich zwischen der Autobahn 5 und der Bahnanlage beschränkt. In der Nacht ist lediglich auf der Fläche selbst eine geringe Erhöhung der Lufttemperatur von weniger als 0,5 °C zu erwarten. Aktuelle Planungen sehen eine Nutzung der Fläche 5 als Artenschutzfläche vor. Es ist davon auszugehen, dass bei einer Nutzung als Artenschutzfläche keine Änderungen des Stadtklimas durch die Fläche 5 auftreten werden.

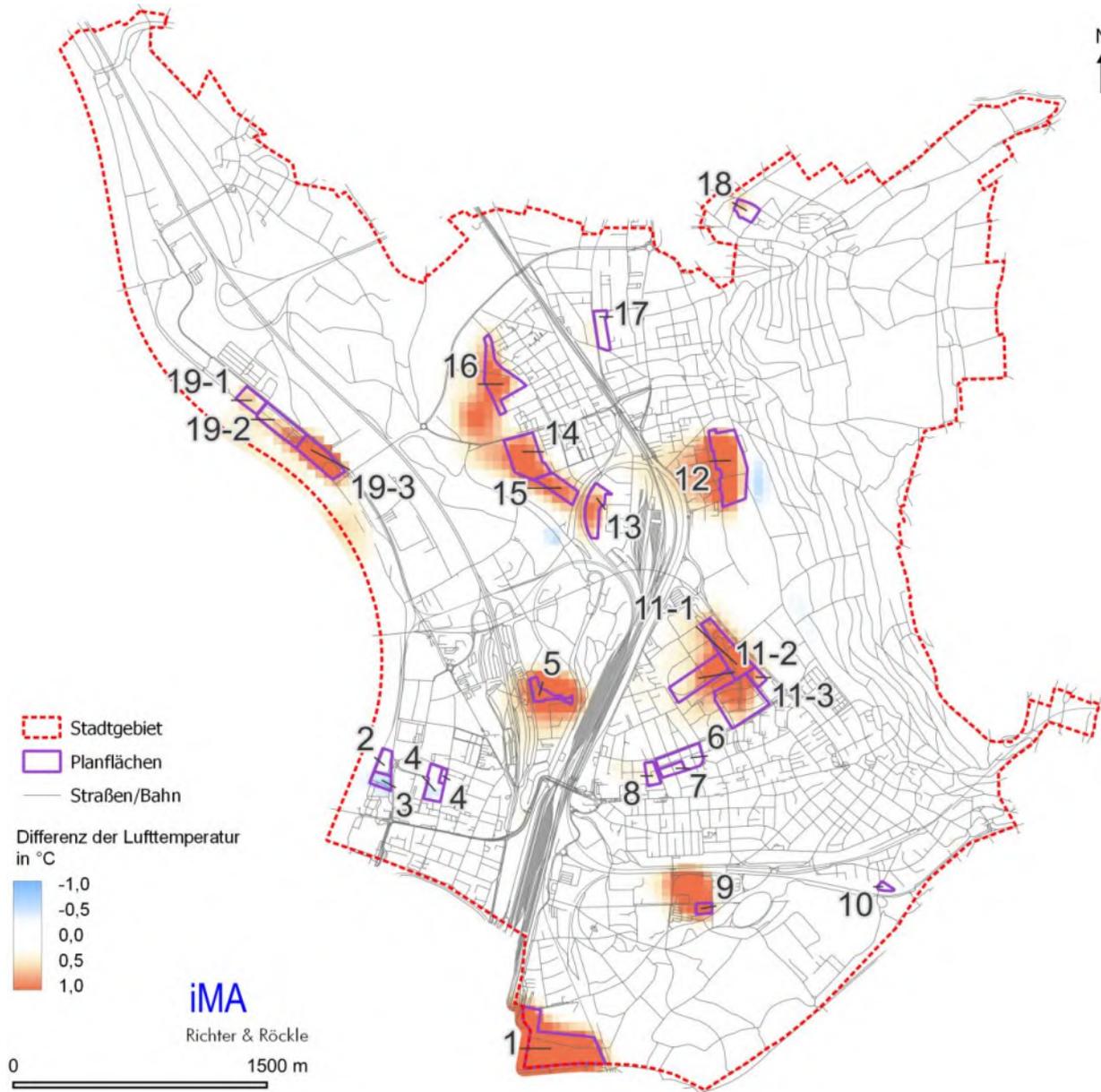


Abbildung 10-2: Änderung der abendlichen Lufttemperatur bei Umsetzung der Flächen.

Die geplante Entsiegelung bzw. Teilentsiegelung auf den Flächen 2, 3 und 4 im westlichen Teil von Weil am Rhein bewirken eine Verringerung der Lufttemperatur von bis zu 0,6 °C innerhalb der Flächen. Im Laufe der Nacht wirkt sich dieser kühlende Effekt auf die nähere Umgebung aus und sorgt in einem Umkreis von etwa 50 m für eine Verringerung der Lufttemperatur um bis zu 0,4 °C.

Die Fläche 1 „Otterbach Süd“ im Ortsteil Otterbach bewirkt eine deutliche Zunahme der Lufttemperatur auf der Fläche selbst. Die angrenzende Wohnbebauung ist davon allerdings kaum betroffen. Lediglich im südwestlichen Teil im Bereich Basler Straße/Nonnenholzstraße ist eine Temperaturerhöhung in unmittelbarer Nähe zur Fläche von maximal 0,6 °C in den Abendstunden zu verzeichnen. Nachts nimmt der Effekt deutlich ab.

Durch die Lage der Fläche 9 im Bereich der Kaltluftströmung südlich der Kernstadt an der Nonnenholzstraße kann sich der Einfluss der Fläche bis in 250 m Entfernung nach Nordwesten ausbreiten.

Der Einfluss endet an der B317, sodass keine Wohnbebauung betroffen ist. In der Nacht beschränkt sich die Temperaturerhöhung auf die Fläche.

Die Fläche 10 an der Straße Zwölfthauen hat keine Auswirkung auf die Lufttemperatur in den Abendstunden. In der Nacht ist durch den Wegfall der Bewaldung eine um bis zu 0,3 °C niedrigere Lufttemperatur zu erwarten.

Die zusätzliche Bebauung der Flächen 19 „Rheinhafen“ verursachen eine Erhöhung der abendlichen Lufttemperatur im Bereich des Rheins und der südlich angrenzenden Industrieflächen von weniger als 0,5 °C. In der Nacht ist der Einfluss deutlich reduziert und auf die Flächen begrenzt.

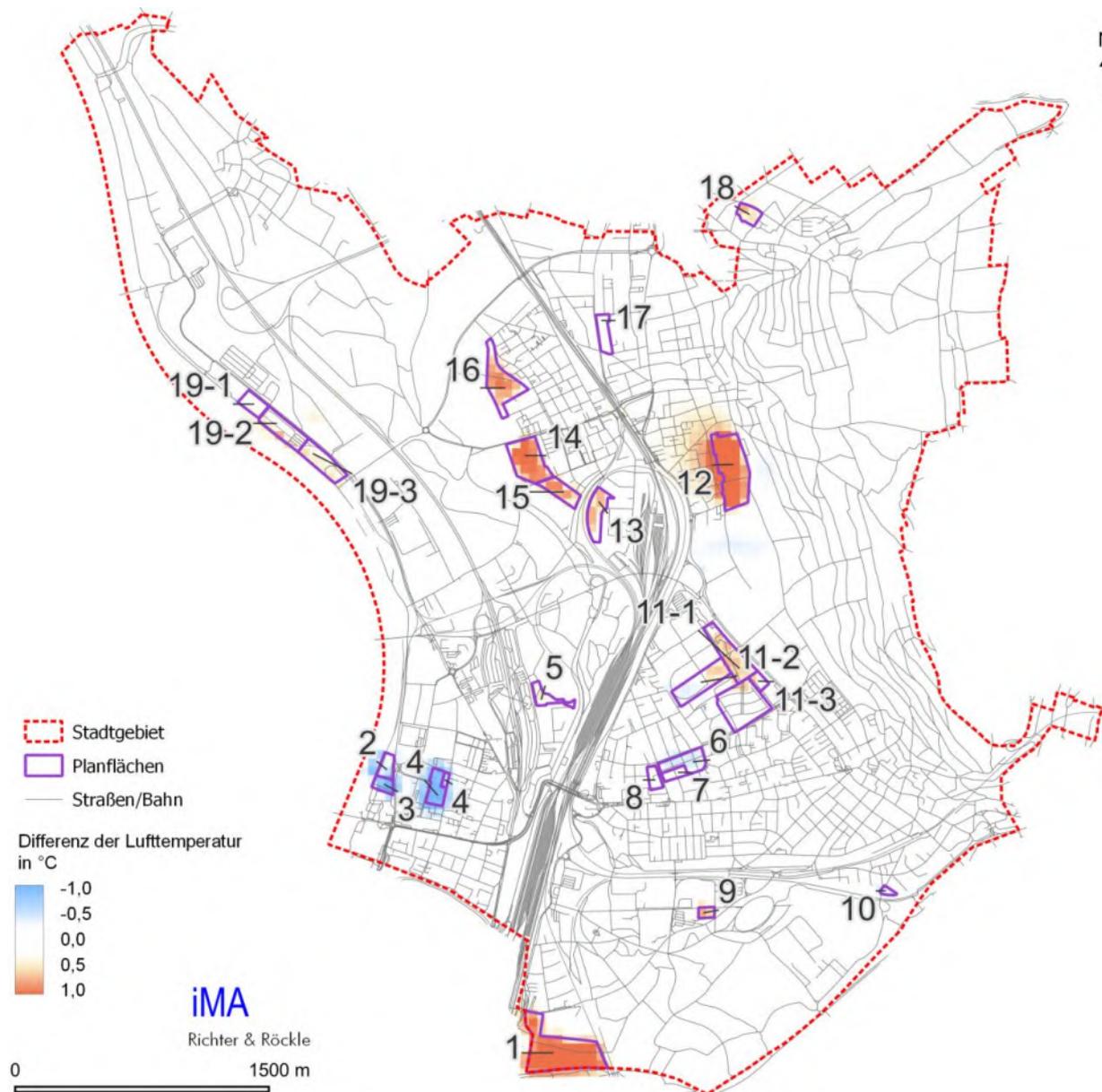


Abbildung 10-3: Änderung der nächtlichen Lufttemperatur bei Umsetzung der Flächen.

Durch die eher gering ausgeprägten Kaltluftabflüsse in Weil am Rhein hat die zusätzliche Bebauung auf den Flächen einen merklichen Einfluss auf den Volumenstrom (Abbildung 10-4 und Abbildung 10-5). Dies gilt für alle betrachteten Flächen. Den größten Einfluss haben solche Flächen, die direkt im Kaltluftabflussbereich liegen und die Strömung abbremsen oder umlenken, dass die nachfolgende Wohnbebauung nicht mehr oder nur noch deutlich abgeschwächt von der Kaltluftströmung erreicht wird.

Dies ist besonders bei der Fläche 12 „Haltingen Ost“ der Fall. Durch die Lage der Fläche am Rand zwischen Haltingen und dem Tüllinger Berg wird die Kaltluftströmung gebremst und der Volumenstrom dadurch reduziert. Da die Volumenströme nur gering ausgeprägt sind, ergibt sich eine hohe relative Änderung von bis zu 50% westlich der Fläche 12 bis zu den Flächen 13 bis 15 im Westen von Haltingen.

Durch zusätzliche Bebauung wird der Luftstrom nicht nur im Bereich hinter der Bebauung reduziert, sondern durch den Stau effekt auch in einem geringen Bereich an der windwärts gerichteten Seite der Bebauung. Dadurch kommt es auch östlich der Fläche 12 zu einer Verringerung des Volumenstroms.

Auch die Flächen 13 bis 17 haben einen deutlichen Einfluss und verringern den Volumenstrom im Raum Haltingen und westlich der Ortschaft bis an den Rhein, wo die Fläche 19 „Rheinhafen“ den Volumenstrom ebenfalls reduziert. Fläche 17 weist nur eine geringe Zunahme in der Bebauung auf, diese kann den nur schwach ausgeprägten Volumenstrom dennoch beeinträchtigen.

Die hohen relativen Änderungen sind auf die generell geringen Windgeschwindigkeiten und die damit geringen absoluten Volumenströme in der Stadt Weil am Rhein zurückzuführen. Betrachtet man die absolute Änderung der bodennahen Windgeschwindigkeit (Abbildung 10-6 und Abbildung 10-7), wird dies deutlich. Die bodennahe Windgeschwindigkeit wird in den Abendstunden durch die Fläche 12 um lediglich 0,3 m/s westlich der Fläche reduziert. In Richtung Tüllinger Berg wird die Luftströmung aufgestaut, wodurch sich die Geschwindigkeit östlich der Fläche ebenfalls reduziert. Die Flächen 14 und 15 haben ebenfalls einen deutlichen Einfluss auf die Windgeschwindigkeit und reduzieren diese um 0,2 m/s in bis 100 m Entfernung östlich der Flächen. Die Flächen 13, 16 und 17 bewirken nur eine Reduzierung auf den Flächen selbst. Durch die Bebauung auf den Flächen 14 und 16 wird die Luftströmung zwischen diesen Flächen stärker kanalisiert als im Bestand, was eine Zunahme der Windgeschwindigkeit von bis zu 0,4 m/s auf den Freiflächen nördlich der Helde linger Straße zur Folge hat.

Auch in der Nacht wird die Windgeschwindigkeit und somit auch der Volumenstrom reduziert. Durch die Änderung der Windrichtung von östlichen auf südliche Richtungen verlagern sich allerdings die Einflussbereiche der einzelnen Flächen. So reduzieren die Flächen 13 bis 16 den Volumenstrom im westlichen Teil Haltingens etwa westlich der Lindenstraße, des Bromenackerwegs und der westlichen Hälfte der Stockbergstraße. Der Einfluss der Fläche 17 liegt größtenteils im Bereich zwischen den Bahngleisen westlich der Fläche sowie (durch den Stau effekt) im näheren Umkreis um die Fläche.

Der Einfluss der Fläche 12 „Haltingen Ost“ verlagert sich ebenfalls entsprechend der südlichen Anströmung nach Norden und Nordwesten und reicht bis etwa zur Willi-Baumann-Straße. Durch die Blockierung der Strömung, die durch die Bebauung der Fläche 12 verursacht wird, wird die

Luftströmung vermehrt östlich um Haltingen geleitet und führt im Bereich Bröwlergraben/Bruckweg zu einer Zunahme des Volumenstroms.

Die Fläche 18 im Ortsteil Ötlingen bewirkt eine Reduzierung des Volumenstroms in den Abendstunden und in der Nacht. Der Einfluss auf umliegende Bereiche bleibt auf einen Bereich bis 100 m Entfernung beschränkt.

Auch die Flächen 1 bis 11 in der südlichen Hälfte von Weil am Rhein bewirken eine Reduzierung des Volumenstroms. Auch hier muss wieder darauf verwiesen werden, dass die hohen relativen Änderungen durch die generell geringen absoluten Werte des Volumenstroms und der Windgeschwindigkeit bedingt werden. So verursachen die Flächen 6, 7, 8 und 11 eine deutliche relative Abnahme des Volumenstroms in weiten Teilen der nördlichen Kernstadt, aber tatsächlich wird die Windgeschwindigkeit nur geringfügig innerhalb der Planflächen abgeschwächt. In der Nacht verlagert sich der Einfluss durch die geänderte Windrichtung (in der Nacht herrscht Süd- bis Südostwind) nach Norden.

Die Situation ist für die Flächen 2 bis 5 entsprechend identisch, wobei der Einfluss durch die geringe Größe der Flächen vergleichsweise geringer ausfällt als bei den bisher betrachteten Flächen. Für die hier betrachtete Untersuchung wurde für die Fläche 5 eine gewerbliche Nutzung angenommen. Aktuellere Planungen sehen allerdings eine Nutzung als unbebaute Artenschutzfläche vor. In diesem Fall ist davon auszugehen, dass kein Einfluss auf den Volumenstrom von der Fläche 5 ausgeht.

Der Einfluss der Flächen 9 und 10 ist ebenfalls eher gering und beschränkt sich auf die Umgebung der Flächen, sowohl in den Abendstunden als auch in der Nacht.

Die Fläche 1 in Otterbach bewirkt ebenfalls eine Reduzierung des Volumenstroms. In den Abendstunden sind die umliegenden Wohngebiete davon nicht betroffen. In der Nacht reduziert sich der Volumenstrom bis in den Bereich südlich des Siedlerwegs und südlich des Hölzliwegs.

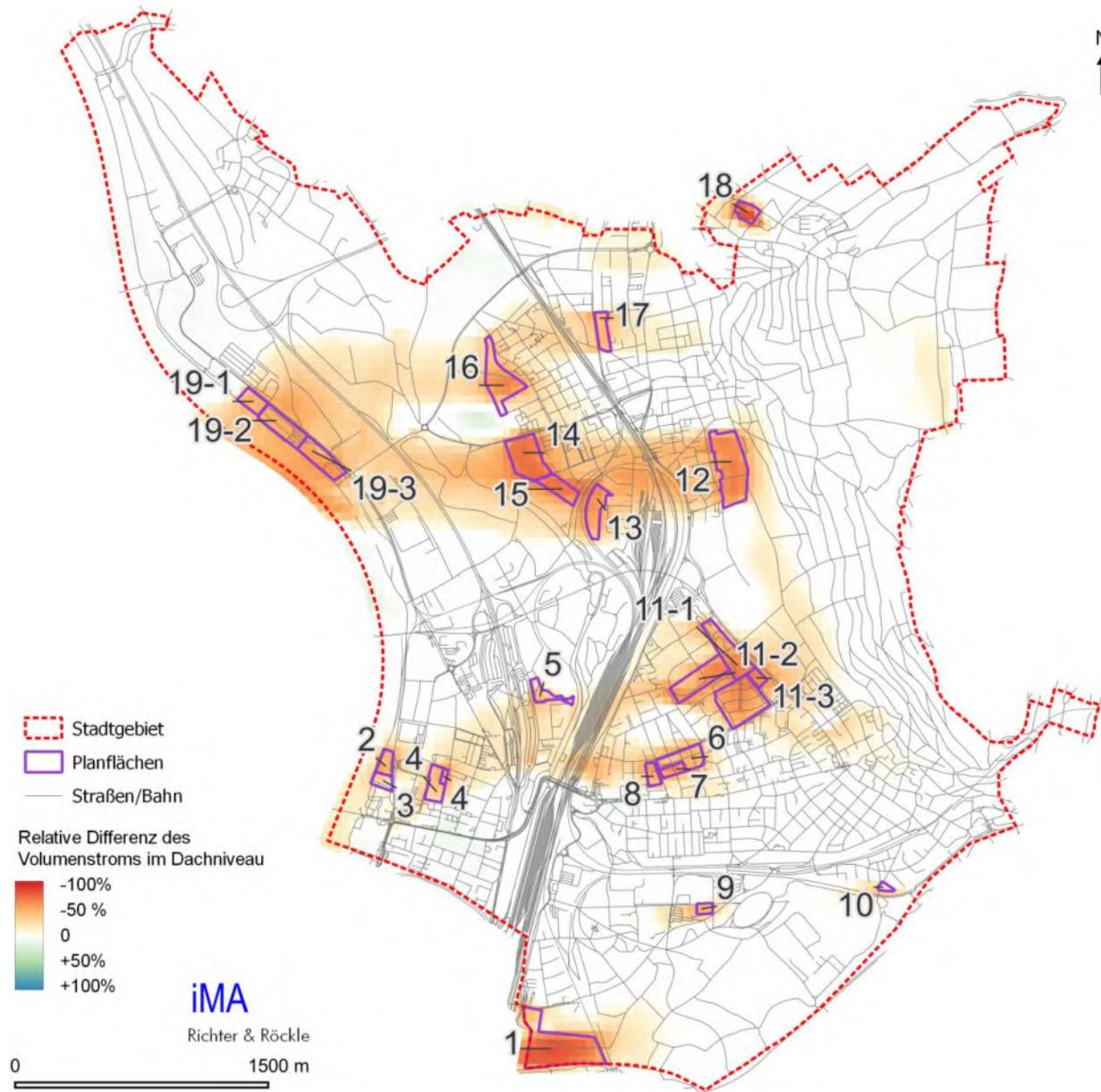


Abbildung 10-4: Relative Änderung des abendlichen Volumenstroms bei Umsetzung der Flächen.

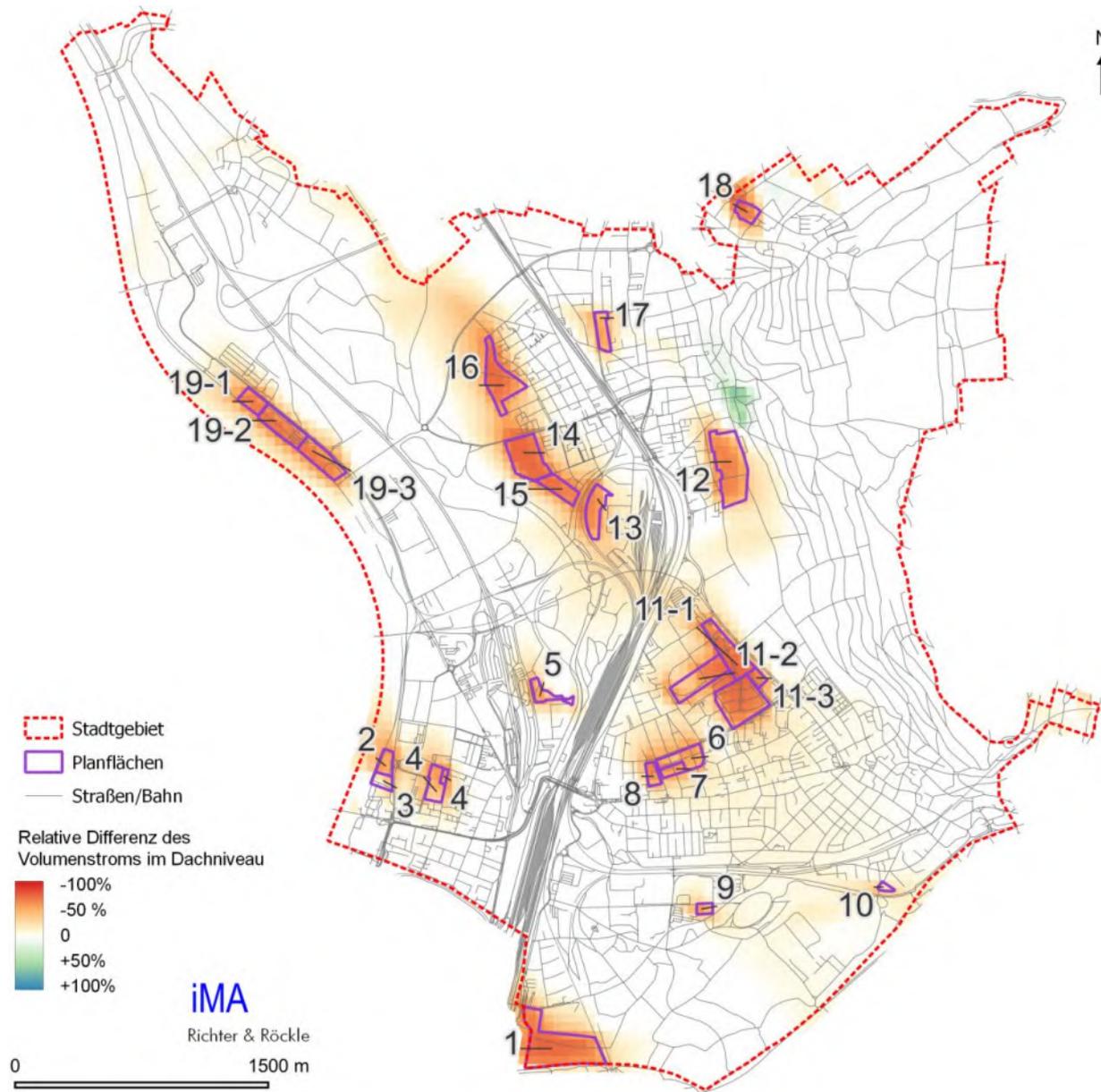


Abbildung 10-5: Relative Änderung des nächtlichen Volumenstroms bei Umsetzung der Flächen.

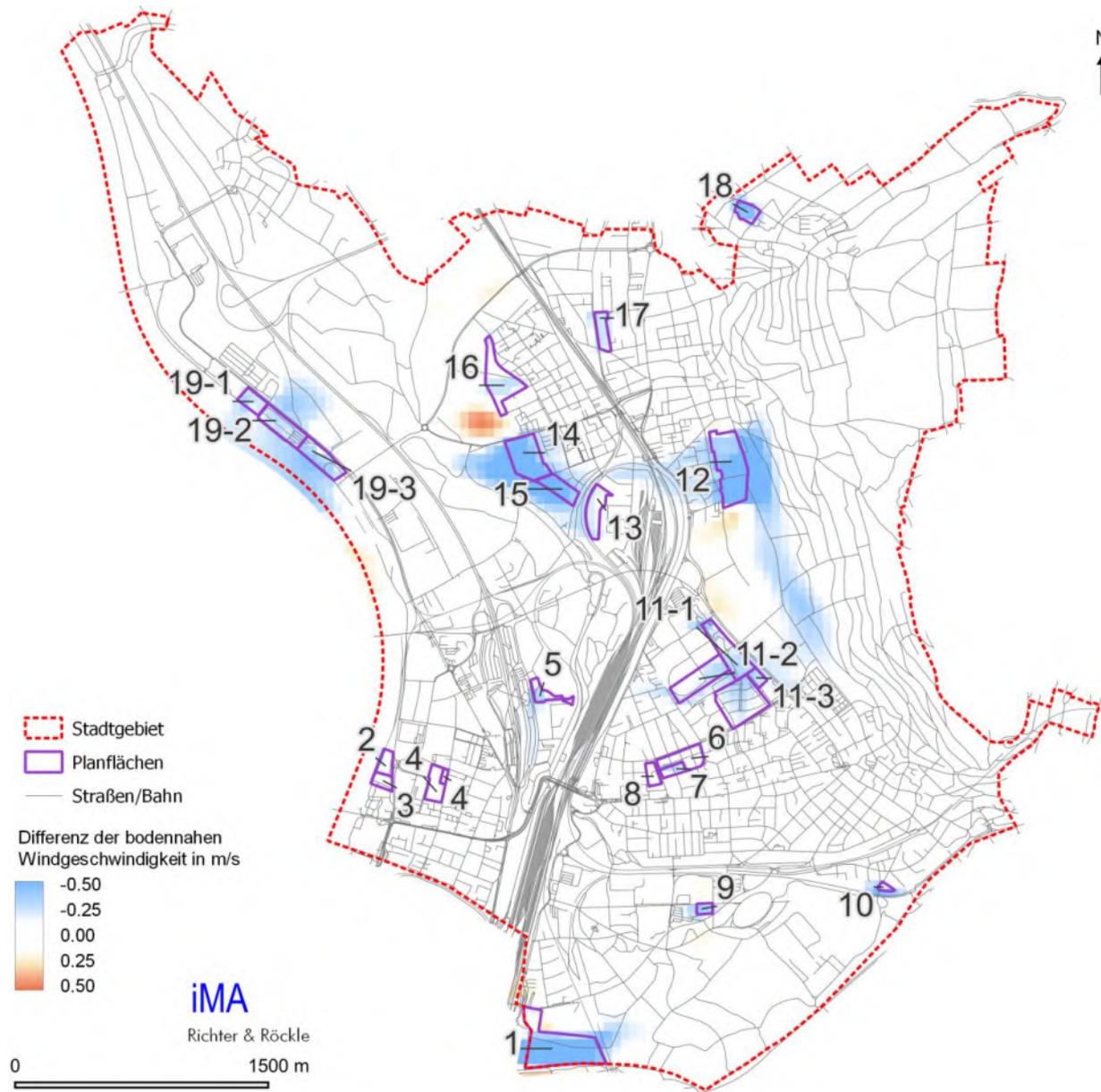


Abbildung 10-6: Änderung der abendlichen bodennahen Windgeschwindigkeit bei Umsetzung der Flächen.

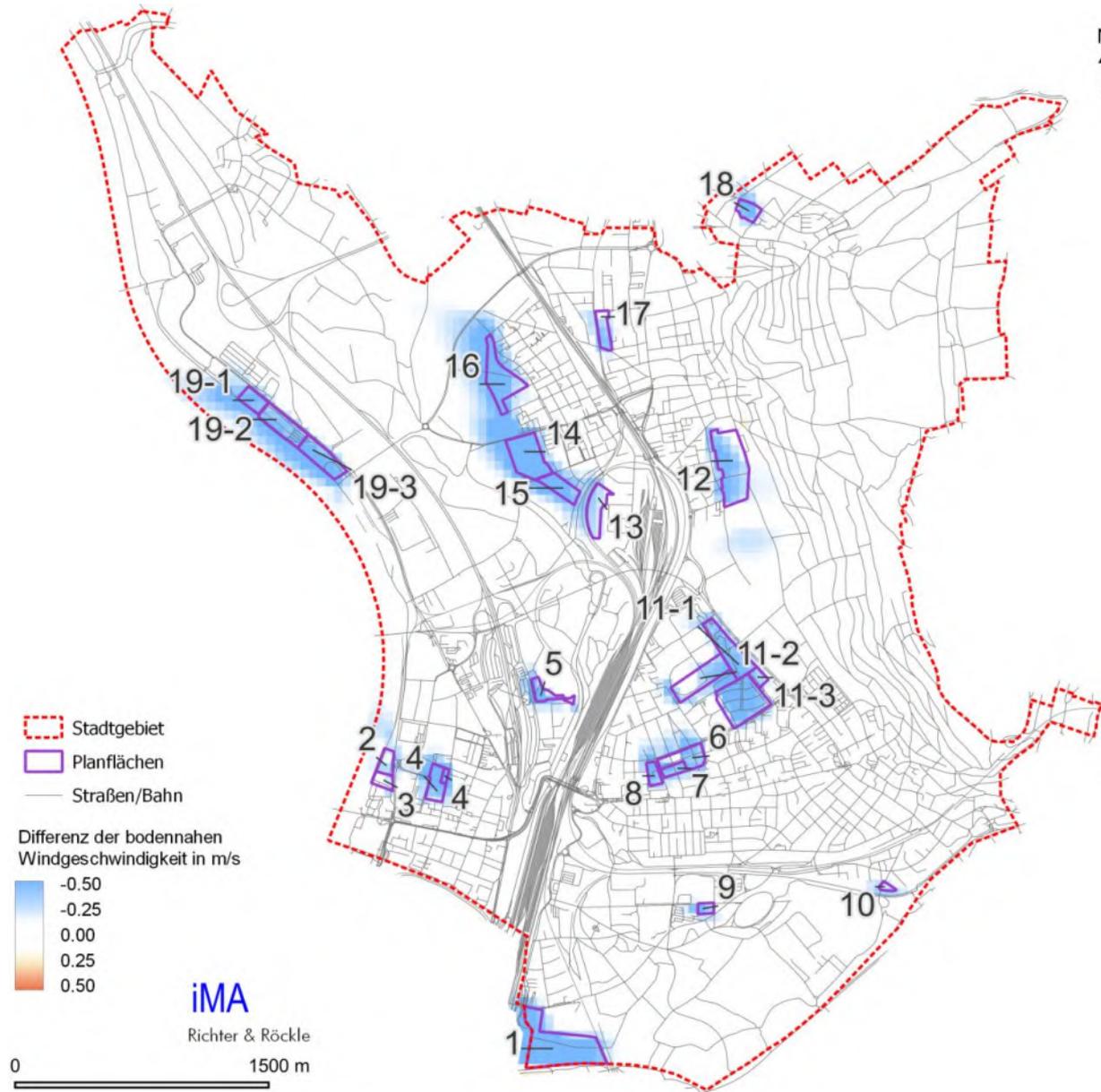


Abbildung 10-7: Änderung der nächtlichen bodennahen Windgeschwindigkeit bei Umsetzung der Flächen.

### Dreiländergalerie

An der B3 auf Höhe des Bahnhofs ist an der Hangkante in der Zwischenzeit das Einkaufszentrum Dreiländergalerie entstanden. Die Simulationen basieren auf dem Datenstand vor Errichtung des Gebäudekomplexes. Die Wärmebelastung in den Tagstunden geht gegenüber den Simulationsergebnissen etwas zurück, nimmt in den Nachtstunden dafür aufgrund der Wärmespeicherwirkung etwas zu. Aufgrund der vorherrschenden nächtlichen Windrichtungen spielt die jetzt realisierte Bebauung keine signifikante Rolle für die Belastungsgebiete, insbesondere den Kernstadtbereich.

## 11 Handlungsstrategien für die Stadtplanung

Die Stadtklimaanalyse ist nur ein Baustein in einem anzustrebenden Gesamtkonzept, wie mit den Auswirkungen des Klimawandels auf lokaler Ebene umzugehen ist.

Hilfreich ist hierfür die Erarbeitung von Leitbildern. Diese sollen die Ziele des Klimaschutzes und der Klimaanpassung mit den Anforderungen der Menschen an ihren Wohn-, Arbeits- und Erholungsraum verknüpfen<sup>15</sup>.

Dieses Kapitel stellt Handlungsstrategien für die klimarelevanten Aspekte der Durchlüftung, der thermischen und der lufthygienischen Belastung zusammen. Die Strategien bzw. Empfehlungen beruhen auf den Modellergebnissen, der wissenschaftlichen Literatur, aber auch auf den Inhalten der Städtebaulichen Klimafibel oder der Regionalen Klimaanalyse der Region Bodensee-Oberschwaben (REKLIBO).

Da es für lokalklimatische Größen keine Grenzwerte gibt und auch die Ziele (z.B. Wahrung gesunder Wohn- und Arbeitsverhältnisse, BauGB §34 Absatz 1 oder §136 Absatz 2 Punkt 1) nicht konkret formuliert sind, können Maßnahmen nicht zwingend gefordert werden. Vielmehr gilt ein Minimierungsgebot, d.h. unerwünschte Auswirkungen sind unter Beachtung anderer Anforderungen weitgehend zu reduzieren.

Bei den Handlungsstrategien handelt es sich um voneinander unabhängige Optionen. Diese können für unterschiedliche Zielsetzungen zueinander in Konflikt stehen. Zum Beispiel kann eine Begrünung des Straßenraumes mit Bäumen human-bioklimatisch positiv sein, da Wege im Schatten zurückgelegt werden können. Jedoch reduzieren Bäume den Luftaustausch im Straßenraum wodurch die Luftbelastung erhöht wird. Im Einzelfall ist daher die Wahl der Maßnahmen zu prüfen und abzuwägen, welche Ziele die größere Priorität haben.

### 11.1 Maßnahmen zur Verbesserung und Erhaltung der Durchlüftung

Eine ausreichende Durchlüftung vermeidet oder reduziert die Akkumulation von thermischen und lufthygienischen Belastungen. Dies ist insbesondere bei austauscharmen Wetterlagen (z.B. autochthonen Wetterlagen) relevant. Zum einen sind hier Kaltluftproduktionsflächen und Geländeneigungen, zum anderen möglichst hindernisarme Fließwege zu belasteten Bereichen erforderlich. Um das bodennahe Eindringen von Kaltluft in Siedlungsbereiche zu ermöglichen, sind Luftleitbahnen in Fließrichtung der Kaltluft hilfreich.

Folgende Punkte tragen zum Erhalt des Luftaustauschs bei oder verbessern diesen (vgl. hierzu auch Abbildung 11-1):

- Freihalten von relevanten Kaltluftproduktionsflächen und Luftleitbahnen von geschlossener Bebauung oder riegelbildenden Hindernissen,
- Schaffung oder Erhalt von Grünzügen innerhalb der Siedlungskörper als Belüftungsschneisen und Luftleitbahnen,
- Begrenzung von Gebäudehöhen, um das Überdachniveau niedrig zu halten,
- Bau von strömungsdurchlässigen Siedlungsbereichen mit Luftleitbahnen,

<sup>15</sup> [https://www.kea-bw.de/fileadmin/user\\_upload/Kommunaler\\_Klimaschutz/Wissensportal/Klimaanpassung/LUBW\\_Leitfaden\\_Landschaftsplan\\_Klimaanpassung\\_2018.pdf](https://www.kea-bw.de/fileadmin/user_upload/Kommunaler_Klimaschutz/Wissensportal/Klimaanpassung/LUBW_Leitfaden_Landschaftsplan_Klimaanpassung_2018.pdf)

- Offene Gestaltung von Siedlungsrändern für eine möglichst hohe bodennahe Eindringtiefe,
- Ausrichtung von Straßenzügen längs zur vorherrschenden, für den Luftaustausch relevanten Windrichtung.

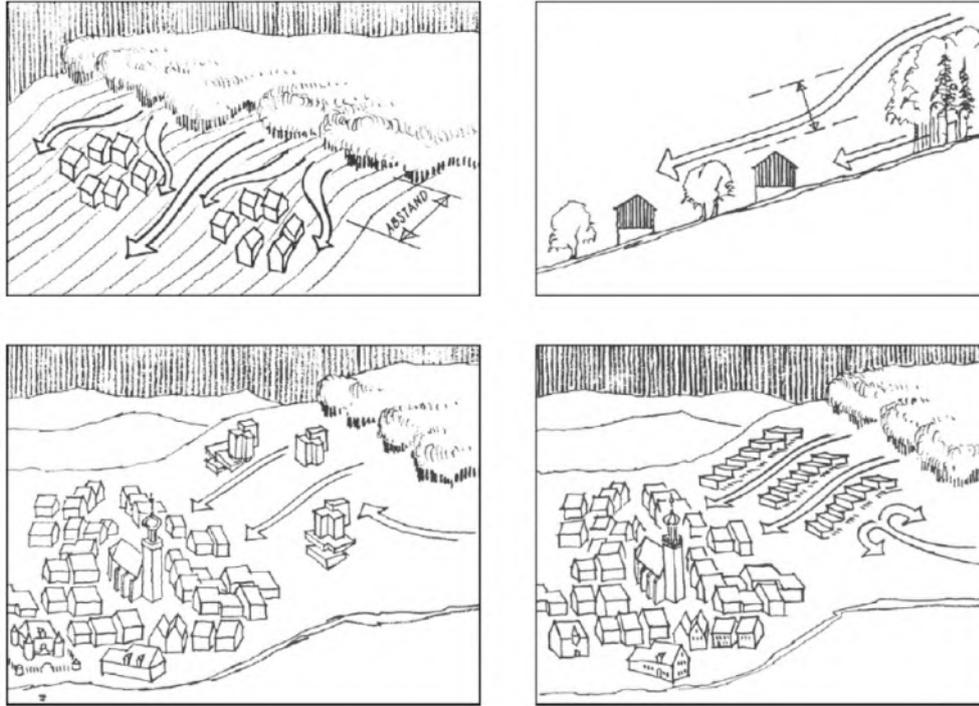


Abbildung 11-1: Empfehlungen zur Bebauung von Hanglagen aus der Städtebaulichen Klimafibel: Einhaltung eines möglichst großen Abstands von Waldrändern (oben links), Unterschreitung der Gebäudehöhe bezüglich der Höhe bestehender Hindernisse (oben rechts), bevorzugt punktförmige Bebauung (unten links) und Ausrichtung der Gebäude längs der Richtung von Hangabwinden unter Berücksichtigung anderer dominierender Windrichtungen (Baumüller, Hoffmann und Reuter, 1990).

## 11.2 Maßnahmen zur Reduktion der thermischen Belastung

Für die Reduktion von thermischen Belastungen sollte vorrangig die Erhaltung und Gewinnung von Vegetationsflächen betrachtet werden. Die in Kapitel 11.1 aufgeführten Handlungsstrategien zur Erhaltung bzw. Verbesserung der Durchlüftung können sich darüber hinaus ebenso positiv auswirken (z.B. durch Kalt- und Frischluftzufuhr und Abtransport der Wärme). Eine höhere Windgeschwindigkeit hingegen kann die thermische Belastung des Menschen sowohl reduzieren (erhöhte Schweißverdunstung bei Hitzestress) als auch erhöhen (Auskühlung bei Kältestress).

Die hier betrachteten Handlungsstrategien beziehen sich hauptsächlich auf sommerliche Wärmebelastung. Hinsichtlich winterlichen Kältestresses sind weitere Maßnahmen der REKLISO-Untersuchung (Parlow et al., 2006) zu entnehmen.

Generell sind Maßnahmen, die das innerstädtische Grünvolumen erhöhen und Schattenplätze schaffen, zielführend. Auch Entsiegelung, Wasserrückhaltung, Wasserspiele und die Erhöhung der Albedo (helle Oberflächen) sind geeignete Maßnahmen, die Aufenthaltsqualitäten zu verbessern.

Je nach Durchlüftungssituation des Siedlungsgebiets sollten folgende Handlungsstrategien zum Erhalt oder der Verbesserung der Wärmebelastung berücksichtigt werden:

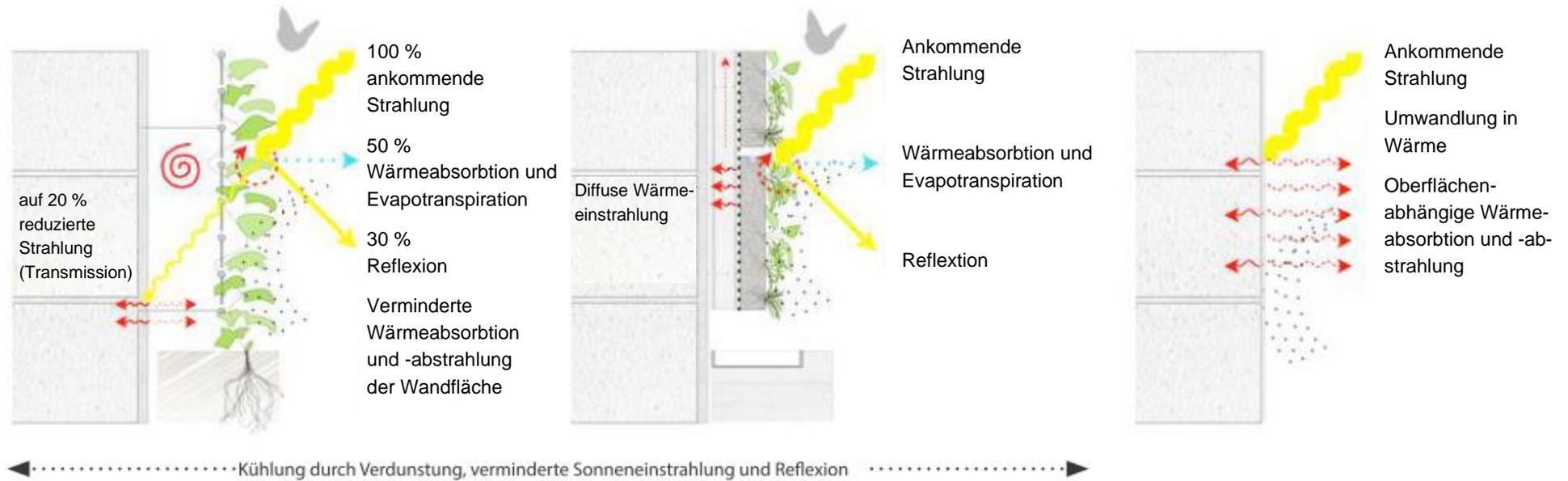
- Vermeidung oder Minimierung von versiegelten Flächen (z.B. Grünflächen, permeabler Asphalt, Graspflastersteine, Kfz-Stellflächen unter die Erde verlegen oder in Parkhäusern bündeln, Brunnen),
- Verschattung versiegelter Bereiche (insbesondere von Kfz-Stellflächen),
- Vermeidung von Stein- und Schotterflächen in den Vorgärten und sonstigen privaten Grünflächen,
- Dachbegrünung und Dächer mit heller Farbe, die die Sonnenstrahlung reflektieren („cool Roofs“) zur Reduktion der Temperatur im Dachniveau; konkurrieren evtl. mit Klimaschutzmaßnahmen, wie z.B. Solarzellen, wobei eine bessere Dämmung auch durch Dachbegrünung ebenfalls zum Klimaschutz beiträgt,
- Kombination von extensiver Dachbegrünung und Solarzellen,
- Förderung kleiner auch privater Grünflächen,
- Innenhofbegrünung,
- Ausreichend innerstädtische Grünflächen mit Baumbestand größer 0,5 ha, um die Klimavielfalt zu erhalten oder zu fördern,
- Straßenraumbepflanzungen oder andere schattenspendenden Maßnahmen um beispielsweise Wege in verschatteten Bereichen zurücklegen zu können. Früher waren, insbesondere in südlichen Ländern, Arkadengänge verbreitet. Einen Ansatz findet man auch in Weil am Rhein (siehe Abbildung 11-2).



Abbildung 11-2: Verschattung der Fußwege auf der Sonnenseite entlang der Hauptstraße in Weil am Rhein.

- Fassadenbegrünungen (Verschattung der Wand, Kühlung durch Verdunstungsfähigkeit der Pflanzen, Retention von Niederschlagswasser, geringere Reflektion der Sonnenstrahlung, geringere Schallreflexion (siehe Abbildung 11-3),
- Neubauten nach aktuellen GEG<sup>16</sup>-Standards oder besser (Reduktion der Abwärme, besseres Abkühlverhalten in den Nachtstunden als Bestand),
- Erhaltung von Kaltluftproduktions- und Kaltlufttransportgebieten,
- Vermeidung der Ansiedlung von Abwärmeproduzenten (insbesondere entlang von Luftleitbahnen).

<sup>16</sup> Gebäudeenergieeinsparungsgesetz. Hat die EnEV im November 2020 abgelöst.



① Bodengebundene Begrünung (Gerüstkletterpflanzen)

② Wandgebundene Begrünung, modularer Aufbau

③ Unbegrünte Massivwand

Abbildung 11-3 Einfluss der Fassadenbegrünung auf das Mikroklima. Erhöhte Lebensdauer der Fassade durch reduzierte Sonneneinstrahlung/UV- Belastung und Schlagregenschutz der Außenwand (© Nicole Pfoser, Dettmar et al. 2016).

Die Wirkung einer einzelnen Anpassungsmaßnahme führt primär lokal zu einer Verbesserung des Klimas. Erst das Zusammenwirken von mehreren Maßnahmen bewirkt einen Rückgang der städtischen Wärmeinsel. Besonders effizient sind Verschattungsmaßnahmen sowie unversiegelte Flächen, die eine Umsetzung der eingehenden Sonnenenergie in Verdunstungswärme (latenter Wärmestrom) anstatt einer Erhöhung der Temperatur (fühlbarer Wärmestrom) bewirken.

Nicht zu unterschätzen sind die psychologischen Wirkungen innerstädtischer Grünbereiche, die evtl. lokalklimatisch kaum Bedeutung haben, aber die Aufenthaltsqualität positiv beeinflussen.

Klimaschutz- und Adaptationsmaßnahmen können einerseits konkurrieren (Solaranlage vs. Dachbegrünung) und sich andererseits auch ergänzen. In Tabelle 11-1 wird diese sich ergänzende Wirkung am Beispiel von städtischen Begrünungsmaßnahmen dargestellt.

Tabelle 11-1: Wirkungskatalog von Begrünungsmaßnahmen hinsichtlich des Klimaschutzes und der Klimaanpassung.

Wirkungen bezüglich Klimaschutz	Wirkungen bezüglich Klimaanpassung	Sonstige Wirkungen
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sauerstoffproduktion</li> <li>2. Kohlenstoffspeicherung</li> <li>3. Verbesserung der CO<sub>2</sub>-Bilanz               <ul style="list-style-type: none"> <li>- durch Photosynthese</li> <li>- durch Reduktion des Heizwärme- und Kühlbedarfs</li> <li>- durch Lebensdauererweiterung von Materialien durch Abschattung materialschädigender UV-Strahlung</li> </ul> </li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Stadtbegrünung</li> <li>2. Grünflächen mit geringer Rauigkeit dienen als Luftleitbahnen und tragen zur besseren Durchlüftung bei</li> <li>3. Reduktion des Energiebedarfs (Klimaanlage und Heizbedarf)</li> <li>4. Erhöhte Verdunstung = verringerte Aufheizung der künstlichen Materialien sowie geringer Anstieg der Lufttemperatur</li> <li>5. Kühlung durch Verschattung</li> <li>6. Verringerung der urbanen Wärmeinsel</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Verringerte Schallreflexion</li> <li>2. Attraktiverer Lebensraum</li> <li>3. Verringerung der Luftbelastung durch verbesserte Durchlüftung und Reduktion des Energiebedarfs</li> </ol>

Der Maßnahmenkatalog hat noch keinen Raumbezug. Der Bedarf aus klimatischer Sicht kann zwar den hier dargestellten Karten entnommen werden, die Konkretisierung der Maßnahmen erfordert jedoch die Zusammenarbeit verschiedener Akteure, insbesondere aus dem Bereich der Grün- und Stadtplanung.

Weiterführende Informationen und Hilfestellungen für Kommunen sind auf den Seiten des Klimascout<sup>17</sup> nachzulesen.

Zudem ist es wichtig und wird zudem vom Land gefördert, die Bürgerschaft bei den anstehenden Anpassungsstrategien mitzunehmen.

<sup>17</sup> [http://www.klimascout.de/kommunen/index.php?title=Ma%C3%9Fnahmen\\_zur\\_Anpassung\\_an\\_den\\_Klimawandel](http://www.klimascout.de/kommunen/index.php?title=Ma%C3%9Fnahmen_zur_Anpassung_an_den_Klimawandel)

Freiburg, den 20.12.2021



**Dr. Rainer Röckle**  
Geschäftsleitung  
Diplom-Meteorologe



**Dr. Christine Ketterer**  
Fachlich Verantwortliche Klima  
M.Sc. in Climate Sciences



**Dr. Markus Hasel**  
Stellv. fachlich Verantwortlicher Klima  
Diplom-Meteorologe



**Tobias Gronemeier**  
Modellentwickler Palm, Sachverständiger  
M. Sc. Meteorologie

*Dieser Bericht wurde nach den Anforderungen unseres Qualitätsmanagementsystems nach DIN 17025 erstellt. Er darf ohne die Genehmigung der iMA Richter & Röckle GmbH und Co. KG weder ganz noch in Teilen weitergegeben oder vervielfältigt werden.*

## 12 Literatur

- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) ed.** (2015): Grün in der Stadt - Für eine lebenswerte Zukunft. Grünbuch Stadtgrün. Berlin.
- Bibliographisches Institut Berlin ed.** (1986): Meyers kleines Lexikon der Geographie. Bibliogr. Inst, Mannheim.
- Basu, R.** (2009): High ambient temperature and mortality: a review of epidemiologic studies from 2001 to 2008. *Environ Health*. 8:40. Environmental health a global access science source 8. doi:10.1186/1476-069X-8-40.
- Christidis, N., Jones, G. S., & Stott, P. A.** (2015): Dramatically increasing chance of extremely hot summers since the 2003 European heatwave. *Nature Climate Change*, 5, 46–50.
- Deutscher Wetterdienst** (2020): Climate Data Services. [https://opendata.dwd.de/climate\\_environment/CDC/](https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/)
- EEA** (2018): Corine Land Cover (CLC) 2018, Version 2020\_20u1. URL: <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018>.
- Grize L, Huss A, Thommen O, Schindler C, Braun-Fahrländer C.** (2005): Heat wave 2003 and mortality in Switzerland. *Swiss Med Wkly*.135(13-14):200-5. PMID: 15909237.
- Häckel, H.** (2016): Meteorologie. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Hewitt, C.D.** (2004): Ensembles-based predictions of climate changes and their impacts. *Eos, Transactions American Geophysical Union* (85)52: 566.
- IPCC** (2021): Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
- LUBW** (2020): Windstatistiken – Synthetische Daten. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/luft/windstatistiken>, abgerufen am 19.08.2020.
- Matzarakis, A. und H. Mayer** (1997): Heat stress in Greece. *International Journal of Biometeorology* 41 (1), 34-39. doi : 10.1007/s004840050051.
- Mayer, H., W. Beckröge & A. Matzarakis** (1994): Bestimmung von stadtklimarelevanten Luftleitbahnen. UVP-report (5): 265–268.
- Mayer, H. & A. Matzarakis** (1992): Stadtklimarelevante Luftströmungen im Münchner Stadtgebiet: (Forschungsvorhaben STADTLUFT) Lehrstuhl für Bioklimatologie und Angewandte Meteorologie der Universität München (Ed).
- Mayer, H.** (1989): Workshop „Ideales Stadtklima“ am 26. Oktober 1988 in München. *DMG-Mitteilungen* 3/89, 52-54.
- Mayer, H. und P. R. Höppe** (1987): Thermal comfort of man in different urban environments. *Theoretical and Applied Climatology* 38 (1), 43-49. doi : 10.1007/BF00866252.
- Parlow, E., D. Scherer & U. Fehrenbach** (2006): Regionale Klimaanalyse der Region Südlicher Oberrhein (REKLISO): Wissenschaftlicher Abschlussbericht.
- REKLIBO** (2009): Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben: Wissenschaftlicher Abschlussbericht Band 3.
- Robine, J.-M., S.L.K. Cheung, S. Le Roy, H. Van Oyen, C. Griffiths, J.-P. Michel & F.R. Herrmann** (2008): Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. *Comptes Rendus Biologies* (331)2: 171–178.

- Richter**, Grunewald, Meinel (2016): Analyse von Wegedistanzen in Städten zur Verifizierung des Ökosystemleistungsindikators „Erreichbarkeit städtischer Grünflächen“ AGIT – Journal für Angewandte Geoinformatik, 2-2016, 472 – 48
- Schär**, C. et al. (2004): The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. Nature, 427, 332–336.
- Schumacher**, Lehmann, Behnisch (2016): 2016: Modellansatz zur geotopographischen Analyse von Wohngebieten und urbaner grüner Infrastruktur. AGIT – Journal für Angewandte Geoinformatik, 2-2016, 540-545
- Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg** (2015): Städtebauliche Klimafibel: Hinweise für die Bauleitplanung, Druckfrisch Verlag für Druckerzeugnisse, Stuttgart, second edn.
- VDI 3782 Blatt 1**: Umweltmeteorologie – Atmosphärische Ausbreitungsmodelle - Gaußsches Fahnmodell zur Bestimmung von Immissionskenngrößen. VDI Düsseldorf, Januar 2016, Beuth Verlag, Berlin
- VDI 3782 Blatt 7**: Umweltmeteorologie – Kfz-Emissionsbestimmung – Luftbeimengungen. VDI Düsseldorf, November 2003, Beuth Verlag, Berlin
- VDI 3785 Blatt 1** (2007): Methodik und Ergebnisdarstellung von Untersuchungen zum planungsrelevanten Stadtklima. 2007.
- VDI 3787 Blatt 1** (2015): Umweltmeteorologie – Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen.
- VDI 3787 Blatt 2** (2008): Umweltmeteorologie – Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung - Teil I: Klima.
- VDI 3787 Blatt 5** (2003): Umweltmeteorologie – Lokale Kaltluft.
- VDI 3787 Blatt 10** (2010): Umweltmeteorologie – Human-biometeorologische Anforderungen im Bereich Erholung, Prävention, Heilung und Rehabilitation.
- Weischet, W. & W. Endlicher** (2018): Einführung in die allgemeine Klimatologie: mit 117 Figuren und 14 Tabellen. Gebr. Borntraeger Verlagsbuchhandlung, Berlin Stuttgart.
- Zander**, K. K. et al. (2015): Heat stress causes substantial labour productivity loss in Australia Nature Climate Change, 5, 647–651.

## A1 Daten und Methodik

### A1.1 Aufbereitung der Eingangsdaten für FITNAH

Die im Flächennutzungsplan und in den ATKIS-Daten vorhandene Landnutzung wurde in folgende „klimatologische Nutzungskategorien“ überführt:

*Tabelle A1-1: Nutzungskategorien der Klimamodellierung.*

Bezeichnung	Beschreibung
Wasser	Still- und Fließgewässer
Freiland	Äcker, Wiesen, Weiden, Gärten, Grünflächen
Wald/Bäume	Nadelbäume und Nadelwald, Laubbäume und Laubwald sowie Mischwald werden unterschieden
Streuobstwiese	Streuobstwiesen, Obstplantagen und Baumschulen
Weinanbau	Weinanbauflächen
Gehölz	Buschartige Gehölzflächen von geringer Höhe
Moor, Sumpf	Moor, Sümpfe, feuchte Grünflächen
Hafenanlage/Schleuse	Hafenanlage/Schleuse
naturnahe Flächen	Teilversiegelte Flächen mit Grün-/Baumanteil, z.B. Campingplätze, Parks
versiegelte Flächen	Parkplätze, Verkehrsflächen etc.
baulich geprägte Grünfläche (< 25 % Bebauung)	Grünfläche mit weniger als 25 % Bebauung
lockere Bebauung (> 25 % Bebauung)	25-50 % Bebauung
mittlere Bebauung (> 50 % Bebauung)	50-75 % Bebauung
dichte Bebauung (> 75 % Bebauung)	75-85 % Bebauung
Zentrum (> 85 % Bebauung)	> 85 % Bebauung
Mischgebiete	Gebiete mit Gewerbe- und Wohnnutzungen
Gewerbe und Industrie	stark versiegelte Flächen mit Gebäuden; Wärmeemission von z.B. Kraftwerken wird berücksichtigt
Deponien, Halden, Tagebau/Bergbau	verdichtete Böden mit geringem Vegetationsbestand.

### A1.2 Methodik

#### A1.2.1 Das prognostische Modell FITNAH

FITNAH (Flow over Irregular Terrain with Natural and Anthropogenic Heat-Sources) ist ein mathematisch-physikalisches Strömungsmodell. Das Modell FITNAH löst die dreidimensionalen Bewegungsgleichungen zur Berechnung der Strömung. Zur Bestimmung der Oberflächentemperatur werden bodenspezifische Parameter (Bodenart, Feuchte usw.) durch ein implementiertes Bodenmodell berücksichtigt. Des Weiteren werden auch Turbulenzparameter, Lufttemperatur und Luftfeuchte berechnet. Das Modell simuliert abhängig vom Sonnenstand die Erwärmung bzw. die nächtliche Abkühlung der bodennahen Luft.

Als so genanntes „nicht-hydrostatisches, prognostisches“ Modell beruht es auf einem voll-dynamischen Strömungskern auf Basis der Gleichungen für alle drei Windkomponenten (Navier-Stokes-Gleichungen für die Komponenten des Windvektors im 3D-Raum, x-, y- und z-Richtung) sowie auf

den Bilanzgleichungen für Temperatur, Feuchte und Turbulenzenergie. Diese (miteinander gekoppelten) Gleichungen werden auf einem numerischen dreidimensionalen Gitter in kleinen Zeitschritten gelöst, so dass sich die vielfältigen nicht-linearen Wechselwirkungen zwischen den unterschiedlichen Topographiebereichen, vergleichbar der Natur, sukzessive einstellen und der von der Natur erzielte Gleichgewichtszustand zwischen den unterschiedlichen strömungsbeeinflussenden Effekten realistisch berechnet wird.

Ein großer Vorteil des Modells FITNAH ist die Berücksichtigung der Landnutzung. Die Daten gehen, differenziert nach Bestands- bzw. Bebauungshöhen und ihren jeweiligen Flächenanteilen an jeder Rechenzelle ein.

Das Modell FITNAH ist vielfach validiert und von zahlreichen Fachbehörden als eines der leistungsfähigsten Instrumente zur Simulation meteorologischer Phänomene im Bereich der Umweltmeteorologie anerkannt.

### **A1.2.2 Berechnung der Empfindlichkeit**

Die Empfindlichkeit der Bevölkerung wird aus der Einwohnerdichte pro 50 m x 50 m und dem Vorhandensein klimasensibler Nutzung (z.B. Krankenhäuser, Sanatorien, Pflegeheime und Kindertagesstätten) berechnet. Die Bewertung der Einwohnerdichte erfolgt relativ durch Berechnung der Perzentile bezogen auf die Gesamtbevölkerung im Stadtgebiet Weil am Rhein (Tabelle A1-2). Die Tabelle zeigt beispielsweise, dass 50 % der Bevölkerung auf Flächen wohnen, deren Einwohnerdichte maximal 13 Einwohner je 50 m x 50 m beträgt.

*Tabelle A1-2: Bewertung der Empfindlichkeit auf Basis der Einwohnerdichte je 50 m x 50 m und klimasensibler Nutzung (Bewertung A1, siehe Abschnitt A1.2.4).*

<b>Perzentil</b>	<b>Einwohner / 0,25 ha</b>	<b>Bewertung</b>
≤ 50.	≤ 13	sehr geringe Empfindlichkeit
> 50. – 90.	> 13 – 35	geringe Empfindlichkeit
> 90. – 95.	> 35 – 47	mittlere Empfindlichkeit
> 95. – 99.	> 47 – 77	hohe Empfindlichkeit
> 99.	> 77	sehr hohe Empfindlichkeit
Klimasensible Nutzung		sehr hohe Empfindlichkeit

### **A1.2.3 Berechnung der Betroffenheit**

#### **A1.2.3.1 Thermische Betroffenheit**

Die Betroffenheit der Bevölkerung kann aus der Zusammenschau der Empfindlichkeit mit der thermischen Belastung ermittelt werden.

Die Betroffenheit wird aus der Summe der Bewertung folgender Parameter und meteorologischen Größen berechnet

#### **Empfindlichkeit**

A1 – Einwohnerdichte pro Hektar

## Bewertung thermische Bedingungen

B1 – Physiologisch Äquivalente Temperatur (Wärmebelastung tagsüber, Tabelle A1-3),

B2 – Klimavielfalt (Berücksichtigung der Entfernung zu thermisch geringer belasteten, öffentlich zugänglichen, klimatisch relevanten Grün- und Wasserflächen innerhalb Ortslagen, Tabelle A1-4),

B3 – Urbane Wärmeinsel (Wärmebelastung nachts, Tabelle A1-6).

Tabelle A1-3: Bewertung B1 der Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET) angelehnt an Matzarakis und Mayer (1997).

PET (°C)	Thermische Sensitivität
< 35	warm
> 35 – 41	heiß
> 41	sehr heiß

Tabelle A1-4: Bewertung der Klimavielfalt B2 – Entfernung zu einer Grünfläche mit mindestens 5.000 m². Die Klassen wurden nach den gängigen Literaturwerten eingeteilt (z.B. Mayer 1989; Schumacher, Lehmann, Behnisch 2016; Richter, Grunewald, Meindel 2016).

Distanz zu einer klimarelevanten Grünfläche	Beschreibung
keine Grünflächen vorhanden	Keine Klimavielfalt
≤ 250 m	Sehr gute Klimavielfalt vorhanden
> 250 m – 500 m	Klimavielfalt vorhanden

Während sich die Physiologisch Äquivalente Temperatur tagsüber – bedingt durch den großen Einfluss der solaren Strahlungsflüsse – stark von der Lufttemperatur unterscheidet, korreliert sie nachts signifikant mit der Lufttemperatur. Die nächtliche Wärmebelastung wurde anhand der Lufttemperatur in Form der urbanen Wärmeinsel bewertet.

Tabelle A1-5: Wärmebelastung tagsüber ermittelt aus PET und der Klimavielfalt.

Wärmebelastung tagsüber					
		PET (°C) um 14:00 Uhr (Parameter B1)			
		≤29°C	>29°C - 35°C	>35°C - 41°C	>41°C
Klimavielfalt (Parameter B 2)	sehr gute Klimavielfalt vorhanden	sehr gering	sehr gering	gering	mittel
	Klimavielfalt vorhanden	sehr gering	gering	mittel	hoch
	keine Klimavielfalt vorhanden	sehr gering	mittel	hoch	hoch

Tabelle A1-6: Bewertung B3 der nächtlichen urbanen Wärmeinsel (UHI - abendliche Lufttemperaturunterschiede zwischen Stadt und Umland in K).

Perzentil	UHI (K)	Bewertung (B3)
90.	≤ 1,8	keine Überwärmung
>90. – 95.	> 1,8 – 2,2	geringe Überwärmung
>95. – 97,5.	> 2,2 – 2,4	mäßige Überwärmung
>97,5. – 99.	> 2,4 – 2,5	mittlere Überwärmung
> 99.	> 2,5	starke Überwärmung

Tabelle A1-7: Ermittlung der thermischen Belastung ermittelt aus der Wärmebelastung tagsüber und nachts.

Thermische Belastung					
		Wärmebelastung tagsüber (ermittelt aus PET 14:00 Uhr)			
		sehr gering	gering	mittel	hoch
UHI Lufttemperatur nachts 4:00 Uhr (Parameter B3)	keine Überwärmung	sehr gering	sehr gering	sehr gering	sehr gering
	geringe Überwärmung	sehr gering	sehr gering	gering	gering
	mäßige Überwärmung	gering	gering	mittel	mittel
	mittlere Überwärmung	mittel	mittel	hoch	hoch
	starke Überwärmung	mittel	hoch	hoch	hoch

Tabelle A1-8: Bestimmung der Häufigkeit der thermischen Belastung ermittelt aus der thermischen Belastung und der Anzahl an Sommertagen.

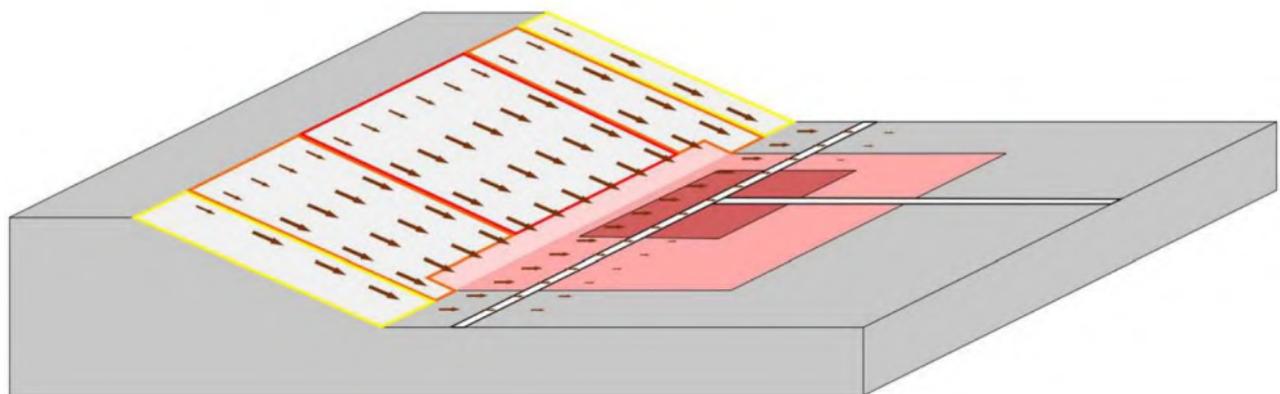
Häufigkeit der thermischen Belastung					
		Thermische Belastung			
		sehr gering	gering	mittel	hoch
Anzahl an Sommertagen Tageshöchst- temperatur > 25 °C	≤ 70 Tage	sehr gering	gering	mittel	hoch
	> 70 - 80 Tage	gering	mittel	hoch	sehr hoch
	> 80 - 90 Tage	mittel	hoch	sehr hoch	sehr hoch
	> 90 Tage	hoch	sehr hoch	sehr hoch	sehr hoch

Tabelle A1-9: Ermittlung der Betroffenheit ermittelt aus den Wertstufen der Tabelle A1-2 „Empfindlichkeit der Bevölkerung“ und der Tabelle A1-8 „Häufigkeit der thermischen Belastung“.

Betroffenheit (bioklimatische Belastung) der Bevölkerung / Siedlungsgebiete					
Empfindlichkeit der Bevölkerung	Häufigkeit der thermischen Belastung Wärmebelastung Tag (PET 12 Uhr + Klimavielfalt) + Nachttemperatur 4 Uhr + Häufigkeit (Anzahl Sommertage)				
	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch
gering	sehr gering	gering	gering	mittel	hoch
mittel	gering	gering	mittel	hoch	hoch
hoch	gering	mittel	hoch	hoch	sehr hoch
sehr hoch	mittel	hoch	hoch	sehr hoch	sehr hoch

#### A1.2.4 Identifikation der belüftungsrelevanten Strömungssysteme

Kalt- und Frischluftströmungen, die relevanten Kaltluftproduktionsgebiete und die Luftleitbahnen sind im planerischen Sinne dann von Bedeutung, wenn sie die Belüftung von Siedlungsgebieten bewirken. Je größer die Betroffenheit in diesen Siedlungsgebieten ist, desto wichtiger ist diese ausgleichende Funktion (vgl. Abbildung A1-12-1).



- Siedlung locker bebaut    
  Siedlung dicht bebaut    
  Hangabwind  
 Kaltluftzufuhr erhalten/aufwerten:  
 höchste Priorität    
  mittlere Priorität    
  niedrige Priorität

Abbildung A1-12-1: Skizze zur Veranschaulichung der Abgrenzung der relevanten Strömungssysteme (REKLBO 2010).

Oftmals resultieren Ausgleichsströmungen aus mehreren Kaltluftströmungen, die auf ihrem Weg zum Wirkungsraum zusammenfließen oder sich überlagern. Um die Kaltluftströmungen zu detektieren, welche in belasteten Gebieten zu einer Verbesserung der thermischen Situation beitragen, bedarf es eines allgemein gültigen, objektiven Algorithmus, der für das ganze Untersuchungsgebiet angewandt werden kann. Zusätzlich soll der Algorithmus der Tatsache Rechnung tragen, dass i.A. die Bedeutung mit zunehmender Entfernung abnimmt.

Dazu sind zunächst die Strömungssysteme zu ermitteln. Dies erfolgt durch numerische Simulationen mit dem Mesoskalenmodell FITNAH. Auf die FITNAH-Kaltluft-Ergebnisse wird dann ein numerisch-physikalisches Analysemodell angewandt. Mit diesem Modell kann den o.g. Anforderungen entsprochen werden: Die Identifikation und Abgrenzung der komplexen Kaltluftströmungssysteme unter Berücksichtigung der Distanz zum Zielort. Mit diesem Werkzeug ist eine erste Eingrenzung der für einen Wirkungsraum zu betrachtenden Bereiche möglich.

Im zweiten Schritt werden aus jeder Rasterzelle, die sich innerhalb der ermittelten Bereiche befindet, Vorwärtstrajektorien in den Kaltluftströmungsfeldern von FITNAH gestartet. Den Windfeldern aus den FITNAH-Simulationen werden mit dem Verlauf der Vorwärtstrajektorien Attribute (wie z.B. die Betroffenheit) zugeordnet. Damit kann auch die thermische und lufthygienische Eigenschaft der Strömung im Vergleich zum Wirkungsraum eingeordnet werden. Mithilfe dieser Methode wird auch die Eindringtiefe in Zusammenhang mit der vorherrschenden Betroffenheit analysiert. Entlang der Trajektorie wird die thermische Betroffenheit addiert, die die Strömung vom jeweiligen Punkt erreicht (siehe Abbildung A1-12-2).

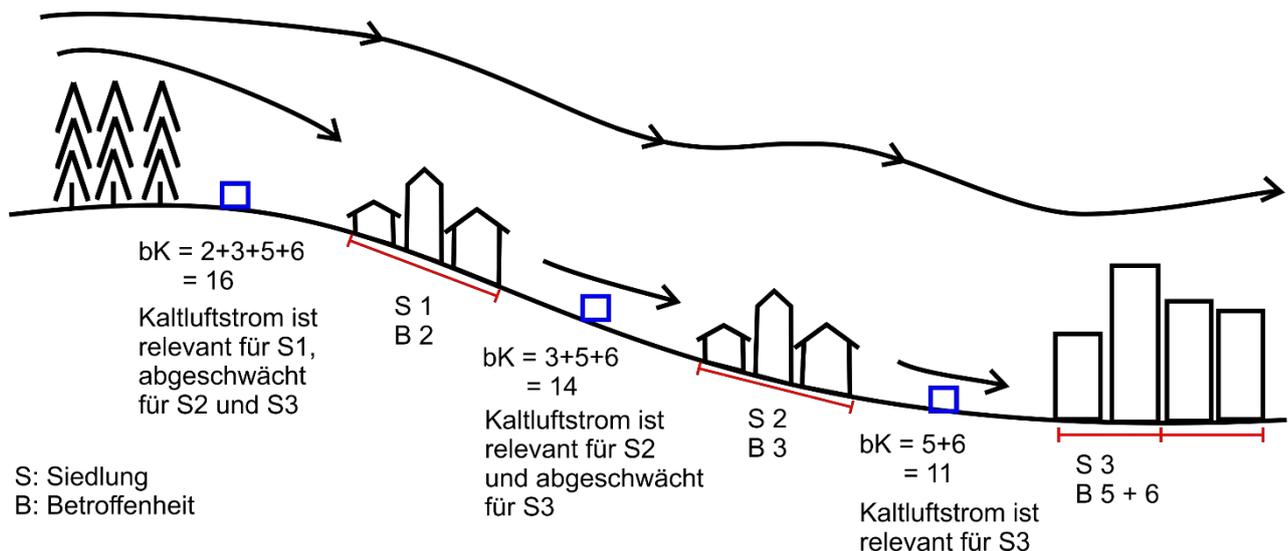


Abbildung A1-12-2: Bewertung der Kaltluftströmung (bK) durch Vorwärtstrajektorien.

Die Berechnung von Vorwärtstrajektorien zur Ermittlung der Bedeutung der Kaltluftströmung  $bK$  wird in Abbildung A1-12-2 dargestellt. Die blauen Kästchen markieren die Position eines Windpfeils, der bewertet werden soll. Die Betroffenheit der Siedlungen (S1 bis S3) wurde in der Stadtklimaanalyse Weil am Rhein in 50 m x 50 m Rasterzellen ermittelt (rote Begrenzungen unterhalb der Siedlungen, z.B. Betroffenheitswert 2 in Siedlung S1). Die Bewertung richtet sich nach der möglichen Belüftungswirkung der Strömung. Eine Strömung, die mehrere oder stärker betroffene (empfindlichere) Siedlungsbereiche belüftet, erhält eine höhere Bewertungszahl. Die im oberen Hangbereich produzierte Kaltluft trägt dann zur Belüftung der nachfolgenden Siedlungsbereiche bei. Die Bewertungszahl ergibt sich als Summe der Betroffenheit der überstrichenen Siedlungen (hier 2 + 3 + 5 + 6).

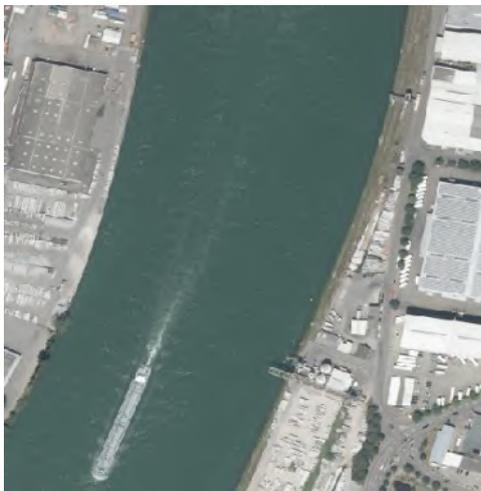
## A2 Beschreibung der Klimatope

Die folgende Auflistung gibt für die einzelnen Klimatope die Kriterien an, die der Flächennutzungsanalyse zugrunde liegen; zusätzlich werden Angaben zu jeweils relevanten Immissionen gemacht. Außerdem werden Modifikationen einzelner Teilflächen angegeben, die sich aus Variationen der Nutzungen und Strukturen bzw. der lufthygienischen Situation ergeben.

Die Abbildungsbeispiele wurden Luftbildern des Daten- und Kartendienstes der LUBW im Gebiet der Stadt Weil am Rhein entnommen.

In der VDI-Richtlinie 3787, Blatt 1 (VDI, September 2015) zur Erstellung der Klimatop- bzw. Klimaanalysekarte werden zur Differenzierung der Siedlungsflächen in Vorstadt-, Stadtrand-, Stadt- und Innenstadtklimatop Versiegelungsdaten zur Rate gezogen. Da Informationen über die Versiegelung auf einzelnen Grundstücken für die Stadt Weil am Rhein nicht vorlagen, aber die Bebauung bekannt war, wurde die Bebauungsrate der Häuserblöcke berechnet und zur Klassifizierung genutzt. Um ein differenziertes Stadtbild zu erzielen und da die zur Berechnung verwendeten Wohnblöcke private Straßen und Parkplätze nicht einschlossen, wurde die Bebauungsrate niedriger angesetzt als die gegebenen Verdichtungsdaten der VDI-Richtlinie. In den vier relevanten Klimatopen ist unter dem Punkt „Bebauung“ angegeben, welche Bebauungsarten für das jeweilige Klimatop angewendet wurde.

### A2.1 Gewässerklima



Wasserflächen wirken ausgleichend auf das lokale Klima. Da Gewässer nur einen geringen Tagesgang der Temperatur aufweisen, sind sie tagsüber kühler als die Umgebung und nachts eher wärmer. Die Wirksamkeit hängt von der Größe des Gewässers ab. So reicht z.B. der Einfluss von Flüssen und Seen weiter in die Nachbarschaft hinein als ein Brunnen auf einem Platz. Trotzdem kann ein Brunnen, wenn auch sehr lokal, die Aufenthaltsqualität an heißen Tagen verbessern.

Beispiel: Rhein.

## A2.2 Freilandklima/Weinbauklima



In der Klimaanalysekarte mit „Freilandklima“ oder „Weinbauklima“ gekennzeichnet.

### a) allgemeine Merkmale

Versiegelung: < 10 %

Flächennutzung: Landwirtschaftliche Nutzfläche, Weide- oder Wiesengelände, Brachen.

Bebauung: nur einzelne Gebäude bzw. Straßen

Vegetation: flächendeckende landwirtschaftliche Nutzung bzw. Brachen mit niedriger oder jahreszeitlich bedingt fehlender Vegetation; nur einzelne Baumpflanzungen

Lufthygiene: relativ unbelastet; Quellen: Flächenbehandlung; Luftschadstoffe: Spritzmittel, Staub

### b) Anmerkungen

Die meisten Freilandflächen sind nächtliche Kaltluftproduzenten. Die Kaltluft entsteht aufgrund der nächtlichen Ausstrahlung, wodurch eine starke Abkühlung der bodennahen Luftschichten erzielt wird. Je nach der Beschaffenheit des Entstehungsgebietes (Neigung, Lage, Bewuchs) bleibt die kühle Luft auf der Fläche liegen oder fließt – da sie dichter und damit spezifisch schwerer ist als warme Luft – der Schwerkraft folgend ab.

Die Bedeutung der Kaltluft in ihrer Wirkung für den Menschen muss differenziert betrachtet werden. Fließt lufthygienisch unbelastete Kaltluft in ein überwärmtes Stadtgebiet ein, so bringt sie Abkühlung und ersetzt die belastete städtische Luft; sie ist also thermisch und lufthygienisch als günstig zu beurteilen. Sammelt sich die kalte Luft in Mulden, Talauen oder Kaltluftstaubereichen, so ist sie sowohl thermisch als auch lufthygienisch für den Kaltluftstaubereich als ungünstig zu bewerten: es kommt zu erhöhter Frost- und Nebelbildung und durch die stabile Schichtung zur Anreicherung von Luftschadstoffen, sofern Emittenten im Sammelgebiet liegen.

Freiland weist eine geringe Bodenreibung auf, so dass die Windgeschwindigkeiten über diesen Flächen vergleichsweise hoch sind. Dies kann sich positiv auf die Durchlüftung angrenzender Wohngebiete auswirken. Die Flächen können sich allerdings tagsüber auch stark aufheizen und sind an heißen Tagen nicht für den längeren Aufenthalt geeignet. In den Nachtstunden kühlen sie sich hingegen gut ab und bilden in der Regel Kaltluftentstehungsflächen.

Beispiele: Die landwirtschaftlichen Flächen im Osten der Stadt.

## A2.3 Waldklima



In der Klimaanalysekarte mit „Waldklima“ gekennzeichnet.

### a) allgemeine Merkmale

Flächennutzung: überwiegend durch Laub- oder Nadelwald bestimmt (90 %).

Bebauung: nur einzelne Gebäude bzw. Straßen

Vegetation: überwiegend hohe, geschlossene Struktur. Das Kronendach der Bäume ist die Hauptumsatzfläche für energetische Prozesse

Lufthygiene: im Allgemeinen unbelastet; Filterwirkung für Stäube. Freisetzung von Pollen, Sporen

### b) Anmerkungen

Das Waldklima zeichnet sich durch stark gedämpfte Tagesgänge der Lufttemperatur und Feuchte aus. Verschattung und Verdunstung sorgen tagsüber für niedrige Oberflächentemperaturen, nachts ist im Bestand die Ausstrahlung reduziert, so dass sich der Stammraum weniger abkühlt als z.B. Freiland. Zudem kommt dem Wald eine Filterwirkung für Luftschadstoffe zu.

Abhängig von der Bestandsdichte ist die Luft im Stammraum wenig mobil. Die Durchlüftung ist deshalb reduziert.

Auch die Kaltluftproduktion eines Waldes hängt von der Bestandsdichte ab. Die Hauptenergieumsatzfläche ist beim Wald nicht der Erdboden, sondern das Kronendach. Die dort durch nächtliche Ausstrahlung abgekühlten Luftmassen sinken in den Stammraum und fließen dort je nach Dichte des Waldes und insbesondere des Unterholzes mehr oder weniger gut ab.

Im Vergleich zu Freiland sind bewaldete Flächen aufgrund ihrer großen Oberfläche zwar gute Kaltluftproduzenten, der Abfluss ist aber deutlich reduziert. Waldflächen am Hang sind aufgrund ihrer Kaltluftproduktion eher positiv zu sehen, Waldflächen im Tal können dagegen als Strömungshindernis wirken.

Beispiel: Waldflächen im Osten des Stadtgebietes.

## A2.4 Klima innerstädtischer Grünflächen



In der Klimaanalysekarte mit „Klima innerstädtischer Grünflächen“ gekennzeichnet.

### a) allgemeine Merkmale

Versiegelung: < 20 %

Flächennutzung: Wiesenflächen und Parks

Bebauung: nur einzelne Gebäude bzw. Straßen

Vegetation: überwiegend hohe, geschlossene Struktur. Das Kronendach der Bäume ist die Hauptumsatzfläche für energetische Prozesse

Lufthygiene: durch städtische Emissionen belastet. Quellen: Hausbrand, Kfz-Verkehr. Luftschadstoffe hauptsächlich NO<sub>2</sub>, Feinstäube.

### b) Anmerkungen

Diese Flächen sind im Allgemeinen kleiner als Freiland- oder Waldflächen, verhalten sich (abhängig von der Stärke des Bewuchses) aber ähnlich wie diese. Der wesentliche positive Effekt dieser Klimatope ist die Schaffung einer lokalen Klimavielfalt, d.h. die Schaffung öffentlich zugänglicher Freiräume mit angenehmen klimatischen Bedingungen.

Stadtklimatische Ausgleichsfunktionen sind:

- Erhöhung der Klimavielfalt
- Kaltluftproduktion in der Nacht,
- Schattenspende durch Vegetation tagsüber,
- Erhöhung der Luftfeuchtigkeit durch die Verdunstungsleistung der Pflanzen,
- Temperatenausgleich im Sommer,
- bei geringem aerodynamischem Widerstand (also kein dichter Baumbestand) auch Wirkung als Luftleitbahn möglich.

Weitere positive Funktionen können sein:

- Rückhaltung und Versickerung von Regenwasser,
- Lebensraum für Tier- und Pflanzenarten,
- Auflockerung des Stadtbildes,
- Erholungsfunktion,

- Entlastung der Erholungsgebiete im Umfeld der Stadt,
- Soziale Funktion (Kommunikation, Nachbarschaft, ...).

Die Nutzung dieser Flächen kann durch Verkehrswege (Lärm, Luftschadstoffe) oder Barrieren (Zugänglichkeit) beeinträchtigt sein. Die klimatische Wirksamkeit von Freiflächen ist im Wesentlichen von ihrer Größe, den Reliefbedingungen und der Vegetationsstruktur aber auch von der Dichte und Durchlässigkeit der Randbebauung abhängig. Intensität und Reichweite der kühlenden Wirkung von Grünflächen steigen im Allgemeinen mit zunehmender Größe an. Bei Flächengrößen unter 5 ha sind jedoch nur geringe Lufttemperaturdifferenzen zur bebauten Umgebung festzustellen, insbesondere, wenn der Bodenwassergehalt aufgrund geringer Niederschlagsmengen gering und die Verdunstung damit eingeschränkt ist.

Beispiel: Rheinpark.

## A2.5 Vorstadtklima



In der Klimaanalysekarte mit „Vorstadtklima“ gekennzeichnet.

### a) allgemeine Merkmale

Versiegelung: < 30%

Flächennutzung: Wohnbebauung, Garten- und Freilandnutzung.

Bebauung: Einzel- und Doppelhäuser geringer Bauhöhe (1- bis 3-geschossig). (< 30%)

Vegetation: Garten- und Freilandnutzung; Einzelbäume oder Baumgruppen, Strauchvegetation, Wiesen- und Rasenflächen.

Lufthygiene: gering bis mäßig belastet. Quellen: Hausbrand, Kfz-Verkehr, Landwirtschaft. Luftschadstoffe hauptsächlich NO<sub>2</sub>, Feinstäube.

### b) Anmerkungen

Das Vorstadtklima liegt im Übergangsbereich zwischen den Klimatopen der bebauten Flächen und den Klimatopen des Freilandes. Charakteristisch sind lockere Bebauungsstrukturen mit Einzel- und Doppelhäusern von geringer Bauhöhe (ein- bis dreigeschossig) und eine Durchgrünung mit Wiesen, Baum- und Strauchvegetation. Zusammen mit der Lage im Einflussbereich des Umlands mit der Nähe zu kalt- bzw. frischluftliefernden Bereichen herrschen günstige bioklimatische Bedingungen. Die Klimatelemente wie die Temperatur werden leicht gedämpft, die Windgeschwindigkeit ist z.B. ist niedriger als im Freiland, aber höher als in der Stadt.

Beispiel: Ötlingen.

## A2.6 Stadtrandklima



In der Klimaanalysekarte mit „Stadtrandklima“ gekennzeichnet.

### a) allgemeine Merkmale

Versiegelung: 30% bis 50%

Flächennutzung: Wohnbebauung, teilweise mit Garten- und Freilandnutzung.

Bebauung: Einzelhäuser, Wohnblocks und Blockbebauung geringer Bauhöhe (3- bis 5-geschossig), z.T. Straßenschluchten. (30% bis 45%)

Vegetation: Garten- und Freilandnutzung; Einzelbäume oder Baumgruppen, Strauchvegetation, Wiesen- und Rasenflächen.

Lufthygiene: schwach bis mäßig belastet. Quellen: Hausbrand, Kfz-Verkehr. Luftschadstoffe hauptsächlich NO<sub>2</sub>, Feinstäube. Bei Holzfeuerungen auch Gerüche.

### b) Anmerkungen

Das Klimatop ist ebenfalls dem Übergangsbereich zwischen Freilandklima und dem Klima bebauter Flächen zuzuordnen. Es weist bereits eine deutliche Veränderung der Klimaelemente im Vergleich zum Freiland auf. Die lockere Bebauung mit Einzelhäusern und kleineren Wohnblocks (meist nicht höher als 3 Geschosse), der mäßige Versiegelungsgrad und die gute Durchgrünung wirken jedoch einer stärkeren Überwärmung entgegen und unterstützen die bodennahe Durchlüftung.

Die schwache bis mäßige lufthygienische Belastung stammt in erster Linie vom Kfz-Verkehr und vom Hausbrand. Insgesamt besitzt das Siedlungsklima für den Menschen günstige Eigenschaften.

Beispiele: Riehener Straße.

## A2.7 Stadtklima



In der Klimaanalysekarte mit „Stadtklima“ gekennzeichnet.

### a) allgemeine Merkmale

Versiegelung: 50% bis 70%

Flächennutzung: Wohnbebauung, Garten- und Freilandnutzung gering.

Bebauung: Wohnbebauung, Wohnblocks und Blockbebauung ca. 2- bis 5-geschossig, z.T. stärkere Bauhöhendifferenzen, Straßenschluchten. (45% bis 55%)

Vegetation: Einzelbäume oder Baumgruppen (vor allem im Straßenraum, z.T. in Innenhöfen), Strauchvegetation, Wiesen- und Rasenflächen.

Lufthygiene: belastet. Quellen: Hausbrand, Kfz-Verkehr. Luftschadstoffe hauptsächlich NO<sub>2</sub>, Feinstäube.

### b) Anmerkungen

Die Eigenschaften dieses Klimatops liegen zwischen den intensiven innerstädtischen Überwärmungsbereichen und den nur geringfügig überwärmten, locker bebauten Stadtrandbereichen. Die deutlich geringere nächtliche Abkühlung im Vergleich zum Freilandklima findet ihre Ursachen in dem relativ hohen Versiegelungsgrad, den eingeschränkten Be- und Entlüftungsmöglichkeiten und der eher geringen Durchgrünung. Die Bebauung ist meist blockförmig und mehrgeschossig, die Bauhöhe variiert zum Teil stärker und es gibt bereits Straßenschluchten.

Die lufthygienische Situation in diesen Gebieten ist räumlich stark variabel. Hauptemittent ist der Kfz-Verkehr, hinzukommen im Winter Hausbrandemissionen. Insgesamt müssen dem Klimaraum lufthygienisch und klimatisch mäßig bis erheblich (in der Nähe von Hauptverkehrsstraßen) belastende Eigenschaften zugeschrieben werden.

Beispiel: Lörracher Straße.

## A2.8 Innenstadtklima



In der Klimaanalysekarte mit „Innenstadtklima“ gekennzeichnet.

### a) allgemeine Merkmale

Versiegelung: > 70 %

Flächennutzung: Gewerbe mit Wohnnutzung.

Bebauung: Verwaltungs-, Geschäfts- und Wohnbebauung, drei- und mehrgeschossige Baublöcke, z.T. extreme Bauhöhendifferenzen, Straßenschluchten. (> 55%)

Vegetation: Straßenbäume und Straßenbegleitgrün.

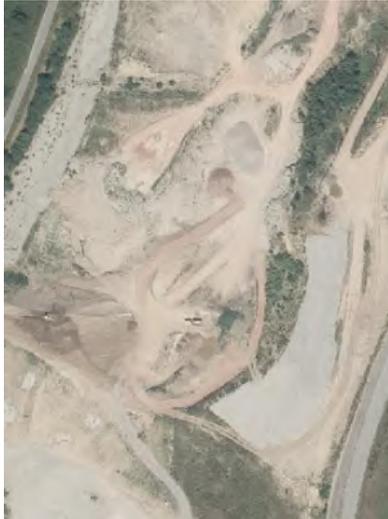
Lufthygiene: belastet, an Hauptverkehrsstraßen stark belastet. Quellen: Kfz-Verkehr, Hausbrand. Luftschadstoffe hauptsächlich NO<sub>2</sub>, Feinstäube.

### b) Anmerkungen

Das Innenstadtklima zeigt die stärksten Veränderungen der Klimaelemente gegenüber dem Freiland: stark erhöhte Temperaturen, sehr geringe nächtliche Abkühlung, geringe relative Feuchte und starke Einschränkung der Durchlüftung bei gleichzeitiger Böigkeit des Windes. Ursachen dafür sind die hochverdichtete Bebauung und der geringe Grünflächenanteil sowie die zentrale Lage innerhalb des Stadtkörpers. Die Bebauung ist überwiegend höhergeschossig (> 3 Geschosse), zum Teil treten extreme Bauhöhenunterschiede auf und es finden sich zahlreiche Straßenschluchten. Hinzu kommt eine erhöhte lufthygienische Belastung, wobei die Hauptemissionsquelle der Kfz-Verkehr ist. Das Innenstadtklima ist insgesamt als belastend für den Menschen einzustufen.

Beispiele: Stadtkern an der Hauptstraße.

## A2.9 Tagebauklima



In der Klimaanalysekarte mit „Tagebauklima“ gekennzeichnet.

### a) allgemeine Merkmale

Versiegelung: gering

Flächennutzung: Abbauflächen

Bebauung: vereinzelte Betriebsgebäude

Vegetation: nicht vorhanden

Lufthygiene: während der Betriebszeiten vor allem durch Staubemissionen belastet.

### b) Anmerkungen

Aufgrund der fehlenden Vegetation und geringen Wasserverfügbarkeit können sich Tagebau während des Tages bei entsprechender Sonneneinstrahlung stark aufheizen.

Beispiel: Kiesgrube Weil am Rhein.

## A2.10 Sportanlagenklima



In der Klimaanalysekarte mit „Sportanlagenklima“ gekennzeichnet.

### a) allgemeine Merkmale

Versiegelung: gering

Flächennutzung: Sportanlagen

Bebauung: vereinzelte Gebäude, z.B. Sporthallen

Vegetation: vorwiegend Einzelbäume und Rasenflächen

Lufthygiene: kaum Quellen auf dem Gebiet selbst

### b) Anmerkungen

Freie Bereiche wie Trainingsplätze und Stadien behindern die Strömung nur wenig, bei entsprechender Lage können Sportanlagen daher zu Belüftung beitragen.

Kunstrasenflächen heizen sich deutlich stärker auf als Naturrasen, da keine Verdunstung stattfinden kann. Dadurch sind Kunstrasenflächen als versiegelte Flächen zu bewerten.

Beispiel: Städtisches Sportzentrum Nonnenholz.

## A2.11 Gewerbeklima



In der Klimaanalysekarte mit „Gewerbeklima“ gekennzeichnet.

### a) allgemeine Merkmale

- Versiegelung: unterschiedlich, im Allgemeinen > 70 %
- Flächennutzung: Industrie und Gewerbe, Halden, Industrie- und Gewerbebrachen, Gleisanlagen.
- Bebauung: vor allem Hallen, Verwaltungsbauten und Produktionsanlagen, größere Lagerflächen.
- Vegetation: besonders in den Randbereichen (z.B. als Immissionsschutzpflanzungen) auch dichte Baum- und Heckenstrukturen, Wiesen- und Rasenflächen, Einzelbäume, z.T. auch Baum- und Strauchanpflanzungen.
- Lufthygiene: Belastung stark von der Nutzung und deren Emissionen abhängig, im Allgemeinen deutliche Belastung. Luftschadstoffe hauptsächlich NO<sub>2</sub>, Feinstäube. Je nach Produktionsprozessen auch weitere Luftschadstoffe und Gerüche.

### b) Anmerkungen

Dieses Klimatop ist mit dem Innenstadtklima vergleichbar. Dichte, zum Teil hohe Bebauung und die weitgehende Versiegelung begünstigen den städtischen Wärmeinseleffekt. Anlagenbedingte Emissionen sowie Lieferverkehre können zudem für eine hohe Luftbelastung sorgen. In diesen Gebieten ist jedoch eine höhere Toleranz für thermische und lufthygienische Belastungen vorhanden.

Beispiel: Gewerbegebiet zwischen Autobahn 5 und Rhein (Friedlingen Nord).

## A2.12 Gleisanlagenklima



In der Klimaanalysekarte mit „Gleisanlagen“ gekennzeichnet.

### a) allgemeine Merkmale

Versiegelung: geringer Versiegelungsgrad

Flächennutzung: Geschotterte Gleisanlagen.

Bebauung: Einzelgebäude.

Vegetation: vereinzelt Strauchwerk.

Lufthygiene: Lärmemissionen.

Luftschadstoffe hauptsächlich Feinstäube und NO<sub>2</sub> insb. bei Dieselantrieb.

### b) Anmerkungen

Größere Gleisanlagen können innerorts freiland-ähnliche Eigenschaften aufweisen, wobei sie insbesondere örtlich bedeutsame Belüftungsfunktionen (Luftleitbahn) übernehmen können. Der Schotterbelag führt zu thermisch extremen Verhältnissen und weist eine extreme Trockenheit auf. Er erwärmt sich tagsüber stark, kühlt nachts aber auch wieder gut ab, so dass große Tag-/Nachtunterschiede bei der Oberflächentemperatur auftreten.

Beispiele: Bahntrasse und Bahnhof in Weil am Rhein.

## A2.13 Verkehrsflächenklima



### a) allgemeine Merkmale

Versiegelung: hoher Versiegelungsgrad

Flächennutzung: Asphaltierte / betonierte Straßen.

Bebauung: keine

Vegetation: keine

Lufthygiene: Luftschadstoffe und Lärmemissionen durch den Verkehr

### b) Anmerkungen

Größere Verkehrsflächen können innerorts freiland-ähnliche Eigenschaften aufweisen, wobei sie insbesondere örtlich bedeutsame Belüftungsfunktionen (Luftleitbahn) übernehmen können. Der Belag führt zu thermisch extremen Verhältnissen und weist eine extreme Trockenheit auf. Er erwärmt sich tagsüber stark, kühlt nachts aber auch wieder gut ab, so dass große Tag-/Nachtunterschiede bei der Oberflächentemperatur auftreten.

Beispiele: Bundesstraße 3.

## **A2.14 Lokale Luftleitbahnen**

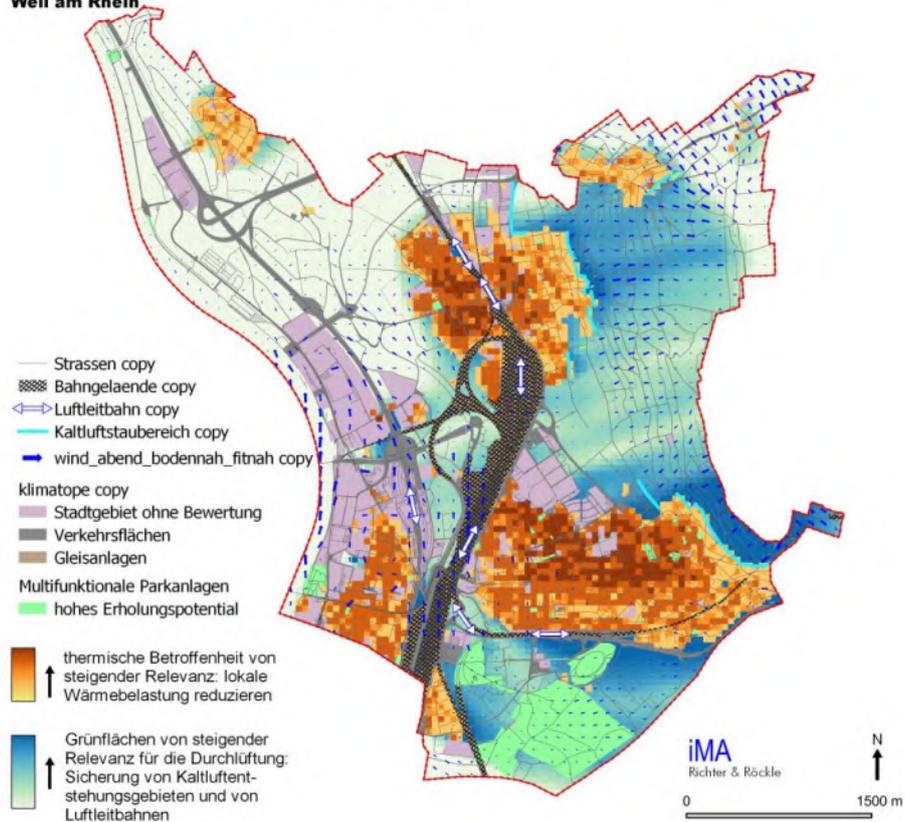
Hier handelt es sich um kleinräumige Strukturen, die den Luftaustausch innerhalb der Stadt begünstigen. Voraussetzungen sind geringe Bodenrauigkeit, ausreichende Länge und Breite sowie ein möglichst geradliniger Verlauf der Strömungsbahnen. Als Faustregel für die Breite der Bahn wird im Handbuch „Stadtklima und Luftreinhaltung“ (Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN (KRdL, 1988) eine Mindestbreite von der 10fachen Höhe der Randbebauung genannt, andere Quellen fordern eine Mindestbreite von 50 m und eine Mindestlänge in einer Richtung von 1000 m (Mayer, Beckröge u. Matzarakis 1994). Wichtige Merkmale sind außerdem ihre Ausrichtung durch vorhandene Strukturen und der Zusammenhang mit der Windrichtungsverteilung. Als Beispiele wären Grünflächen mit niedrigem Bewuchs, Wasserflächen, mehrgleisige Bahnanlagen und größere Straßenzüge zu nennen.

Die Kanalisierung der Luftströmungen ist in starkem Maße von den jeweiligen Strömungsrichtungen der Wetterlagen abhängig. Während windschwacher Hochdruckwetterlagen dienen die Luftleitbahnen als potenzielle Einströmschneisen für Flurwinde. Die Luftgüte wird dabei nicht unterschieden, d.h. die transportierten Luftmassen können sowohl belastet (z.B. bei Straßen) als auch unbelastet sein (z.B. bei Grünanlagen).

## **A3 Planungshinweiskarten unter Berücksichtigung des Klimawandels**

Nachfolgend sind die Planungshinweiskarten für die Zeiträume 2031 – 2060 und 2071 – 2100 für die Klimaszenarien RCP2.6 und RCP8.5 (siehe Tabelle 4-2, S. 27) aufgeführt. Der Einfluss des Klimawandels geht in der Berechnung der thermischen Betroffenheit durch Berücksichtigung der geänderten Lufttemperatur sowie der Zunahme an jährlichen Sommertagen gemäß der Methodik in Kapitel A1.2.3 ein.

**Planungshinweiskarte für das Jahr 2060 (RCP 2.6)**  
**Weil am Rhein**



**Planungshinweiskarte für das Jahr 2100 (RCP 2.6)**  
**Weil am Rhein**

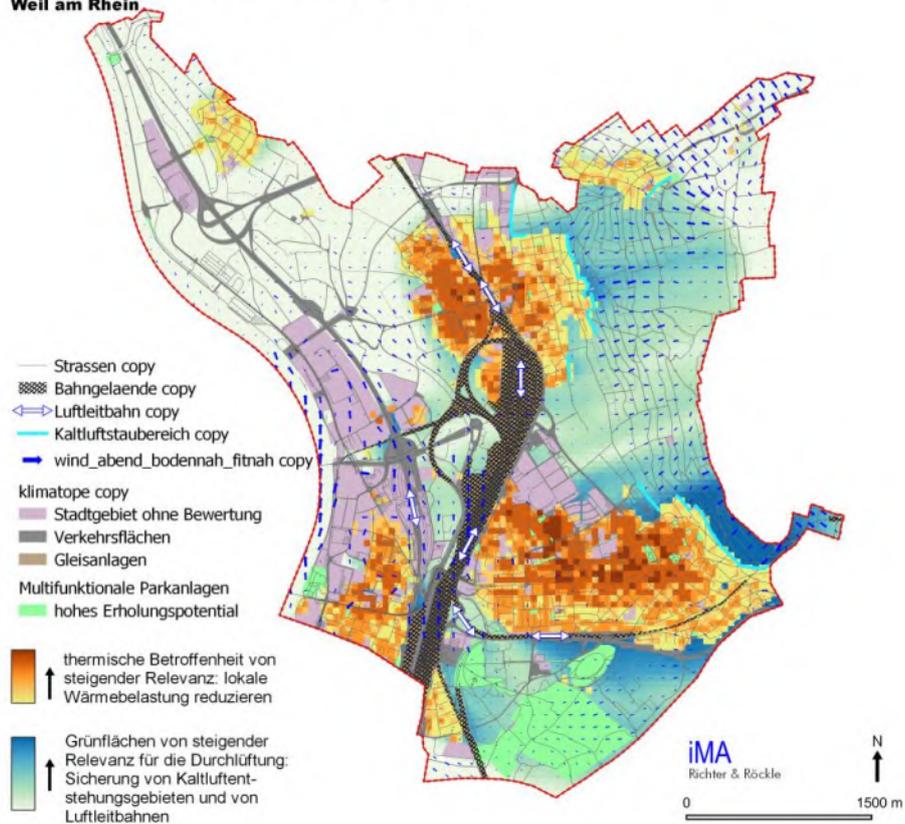
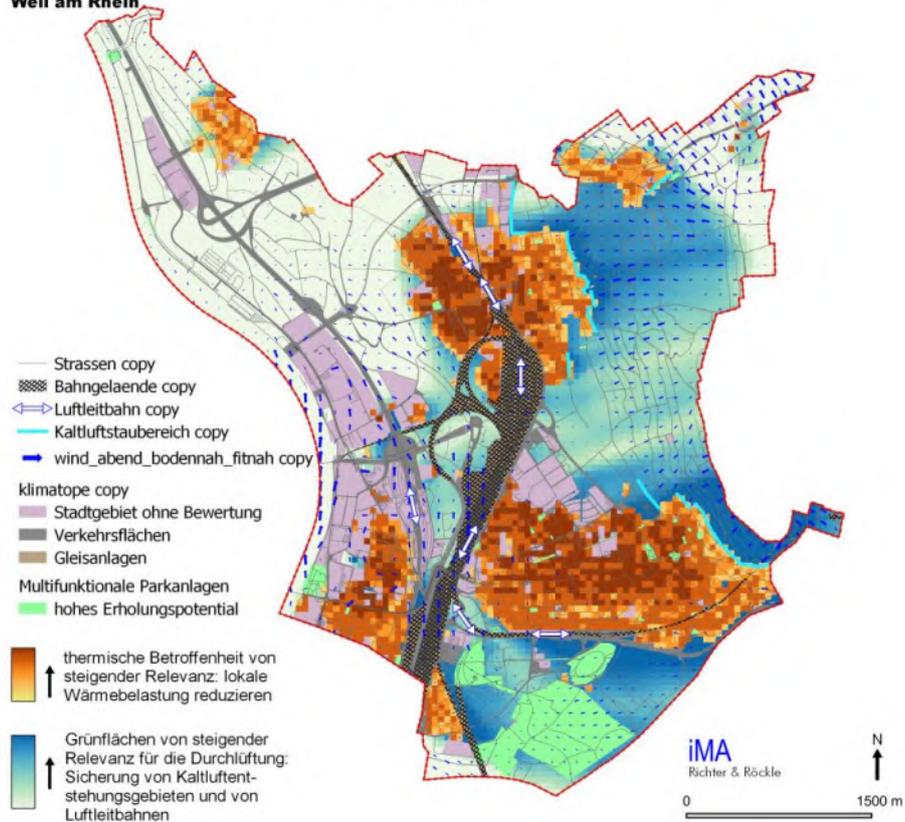


Abbildung A3-12-3: Planungshinweiskarte für die Zeiträume 2031 – 2060 (oben) und 2071 – 2100 (unten) unter Berücksichtigung des Klimaszenario RCP2.6.

**Planungshinweiskarte für das Jahr 2060 (RCP 8.5)  
Weil am Rhein**



**Planungshinweiskarte für das Jahr 2100 (RCP 8.5)  
Weil am Rhein**

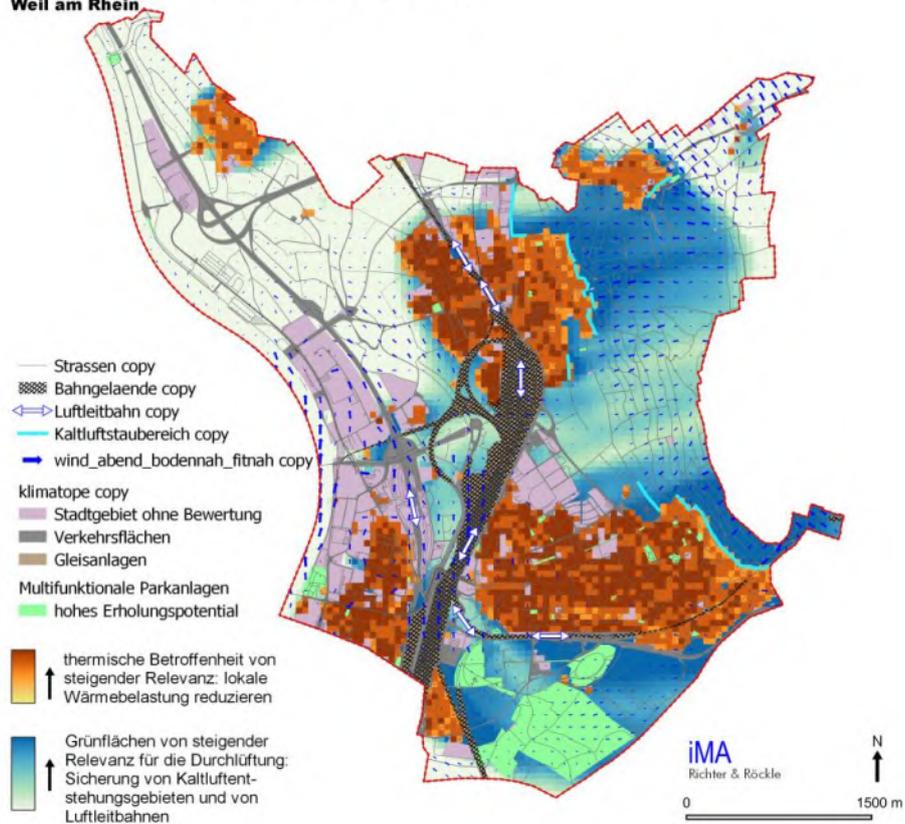


Abbildung A3-12-4: Planungshinweiskarte für die Zeiträume 2031 – 2060 (oben) und 2071 – 2100 (unten) unter Berücksichtigung des Klimaszenario RCP8.5.