iMA
Richter & Röckle

Immissionen
Meteorologie
Akustik

Messstelle §29b
BImSchG

Auftraggeber: **Stadt Rheinfelden (Baden)**
Postfach 15 60
79605 Rheinfelden

Stadtklimaanalyse
für die Stadt Rheinfelden (Baden)

Projekt-Nr.: **17-08-14-FR**

Umfang: **143 Seiten**

Datum: **29.09.2020**

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

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

Tel.: **0761/ 202 1662**
Fax: **0761/ 202 1671**
E-Mail: **ketterer@ima-umwelt.de**

gefördert durch das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg

Inhaltsverzeichnis

1 Zusammenfassung 11
1.1 Gunstfaktoren 12
1.2 Belastungen 12
1.3 Klimawandel 13
1.4 Empfehlungen 13
2 Einführung und Aufgabenstellung 15
3 Bestandsbeschreibung 18
3.1 Örtliche Verhältnisse 18
3.2 Klimatische Einordnung der Stadt Rheinfelden 19
3.3 Strömungsverhältnisse 21
4 Ausblick Klimawandel 25
4.1 Klimamodellierung 25
4.2 Lufttemperatur 27
4.3 Niederschlag 28
4.4 Klimatologische Kenntage 32
4.4.1 Sommertage, heiße Tage und tropische Nächte 32
4.4.2 Frosttage 33
4.4.3 Gewittertage 33
4.4.4 Hageltage 35
5 Auswirkungen des Klimawandels 40
5.1 Tourismus 40
5.2 Landwirtschaft 41
5.3 Forstwirtschaft 41
5.4 Wasserwirtschaft und Wasserversorgung 42
5.5 Industrie 42
5.6 Verkehr und Transport 43
5.7 Naturschutz 43
6 Vorgehensweise 44
7 Datengrundlage und Methoden 46
7.1 Daten 46
7.1.1 Topographie 46
7.1.2 Nutzungsstruktur 46
7.1.3 Messdaten und Klimadaten 48
7.2 Methoden 48
7.2.1 Mesoskalige Simulation mit FITNAH 48
7.2.2 Mikroskalige Simulation mit PALM-4U 49
7.2.3 Human-Biometeorologie 50
8 Ergebnisse der Simulationen 52
8.1 Luftqualität 52

8.1.1 Grundlagen ... 52
8.1.2 Kfz-bedingte Emissionen ... 53
8.1.3 Vorbelastung ... 54
8.1.4 Simulationsverfahren ... 56
8.1.5 Ergebnisse Luftbelastung ... 57
8.2 Kaltluftströmung ... 59
8.2.1 Entstehung von Kaltluftabflüssen ... 59
8.2.2 Zeitlicher Verlauf von Kaltluftabflüssen ... 60
8.2.3 Häufigkeit von Kaltluftabflüssen ... 60
8.3 Ergebnisse der Modellierung ... 61
8.3.1 Luftleitbahnen ... 65
8.4 Mikroskalige Windsimulation ... 65
8.5 Thermische und Human-biometeorologische Verhältnisse ... 67
8.6 Urbane Wärmeinsel ... 71
8.7 Stadtgrün ... 72
8.8 Sensitivität ... 79
8.9 Betroffenheit ... 80
9 Klimafunktionskarte ... 83
10 Planungshinweiskarte ... 85
11 Analyse des Flächennutzungsplans ... 88
12 Handlungsstrategien für die Stadtplanung ... 94
12.1 Maßnahmen zur Verbesserung und Erhaltung der Durchlüftung ... 94
12.2 Maßnahmen zur Reduktion der thermischen Belastung ... 95
12.3 Maßnahmen zur Verbesserung der Lufthygiene ... 98
13 Steckbriefe für ausgewählte Baugebiete ... 99
13.1 Einleitung ... 99
13.2 Vorgehensweise ... 99
13.2.1 Allgemeines ... 99
13.2.2 Grundlagen zur Beurteilung von Klima und Luft ... 101
13.2.3 Ziel der Planung ... 102
13.3 Bewertung der Einzelflächen ... 103
13.3.1 Östliche Cranachstraße ... 103
13.3.2 Vogelsang-Ost ... 104
13.3.3 Grendelmatt III ... 106
13.3.4 Gewerbegebiet an der B34 ... 107
13.3.5 Krähenbühl und Auf der Schanz II ... 108
13.3.6 Abwassergebiet Karsau ... 110
13.3.7 Dühlen ... 111
13.3.8 Leberholz II ... 112
13.3.9 Biefang-West und Bächlegaß ... 113
13.3.10 Kaibacker ... 114
13.3.11 Warmbach ... 115

13.3.12 Nördlich Mattenbach ... 117
13.3.13 Römern ... 118
13.3.14 Kleingärten bei Herten ... 119
13.3.15 Feuerwehr Römerstraße ... 121
14 Literatur ... 123
A1 Daten und Methodik ... 126
A1.1 Aufbereitung der Eingangsdaten für FITNAH ... 126
A1.2 Methodik ... 126
A1.2.1 Das prognostische Modell FITNAH ... 126
A1.2.2 Berechnung der Klimavielfalt ... 127
A1.2.3 Berechnung der Empfindlichkeit ... 127
A1.2.4 Berechnung der Betroffenheit ... 128
A1.2.5 Identifikation der belüftungsrelevanten Strömungssysteme ... 130
A2 Beschreibung der Klimatope ... 132

Glossar

Advektion	Horizontales Heranführen von Luftmassen.
Atmosphärische Gegenstrahlung	Der Anteil der langwelligen Strahlung, der aus der Atmosphäre in Richtung der Erde gerichtet ist.
Ausbreitungsklassen	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.

Klasse	Beschreibung
I	sehr stabile atmosphärische Schichtung, ausgeprägte Inversion, geringes Verdünnungsvermögen der Atmosphäre
II	stabile atmosphärische Schichtung, Inversion, geringes Verdünnungsvermögen der Atmosphäre
III_1	stabile bis neutrale atmosphärische Schichtung, zumeist windiges Wetter
III_2	leicht labile atmosphärische Schichtung
IV	mäßig labile atmosphärische Schichtung
V	sehr labile atmosphärische Schichtung, hohe Sonneneinstrahlung, starke vertikale Durchmischung der Atmosphäre

Autochthone Wetterlagen	Austauscharme Strahlungswetterlagen (Hochdruckgebiet), welche die Ausprägung des Mikro- und Mesoklimas erlauben.
Belastungsraum	→ Wirkungsraum, der bioklimatisch und/oder lufthygienisch belastet ist
Bergwind	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.
Bowen-Verhältnis	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).
Frischluft	Herantransportierte Luft, die geringer durch Luftschadstoffe belastet ist als die vorhandene Luft.
Geostrophischer Wind	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.
Globalstrahlung	Summe der direkten und der diffusen Sonnenstrahlung, welche auf eine horizontale Fläche auf der Erde trifft.
Gunstraum	Ein Gunstraum ist ein Gebiet, das thermisch und lufthygienisch ver-

	gleichsweise unbelastet ist.
Hangwind	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.
Human-Biometeorologie	Teilgebiet der Meteorologie, das sich mit der Wirkung des Klimas, der Luftschadstoffe und der Strahlung auf den Menschen beschäftigt.
Indifferente Schichtung	Eine indifferente Schichtung liegt vor, wenn ein Luftpaket bei Vertikalbewegungen stets die gleiche Temperatur wie die Umgebungsluft aufweist.
Kaltluftbahn	→ 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.
Kaltluft	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 (Meyers Kl. Lexikon, Lex. D. Geogr.).
Kaltluftabfluss	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.
Kaltlufteinzugsgebiet	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)
Kaltluftentstehung/ Kaltluftbildung (Kaltluftproduktion)	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.
Kaltluftproduktionsrate	Bei wolkenarmen und windschwachen Wetterlagen führt die nächtliche Ausstrahlung der Erdoberfläche zur → Kaltluftbildung. Die Angabe der Stärke der Kaltluftbildung erfolgt über das pro Sekunde abgekühlte Luftvolumen pro Grundfläche. Alternativ verwenden Kaltluftabflussmodelle auch eine Kälteproduktionsrate (Energieflussdichte) an der Oberfläche in Watt pro Quadratmeter.
Klimatop	Fläche mit einer einheitlichen geländeklimatischen Eigenschaft werden in der Landschaftsökologie sowie in der Stadtklimatologie als Klimatop bezeichnet (VDI 3787 Blatt 1).
Konvektion	Vertikaler Luftaustausch; Aufsteigen erwärmter Luftmassen bei gleichzeitigem Absinken kälterer Luft in der Umgebung.

Latenter Wärmefluss	Umsetzung der Einstrahlung in die Verdunstung von Wasser, ohne eine Änderung der Lufttemperatur zu bewirken.
Leitbahn	Parallel zur Windrichtung ausgerichtete Fläche von geringer → Rauigkeit, d.h. frei von flächiger Bebauung und hoher, dichter Vegetation (z.B. Wälder).
Lufttemperatur	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.
Mesoklima	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).
Mikroklima	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.
Morbidität	Häufigkeit der Erkrankungen innerhalb der Bevölkerung.
Mortalität	Sterblichkeit, Sterberate der Bevölkerung.
Planetare Grenzschicht	Als planetarische Grenzschicht wird die Schicht bezeichnet, die vom Erdboden bis zu einer Obergrenze von ca. 500 m – 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.
Perzentil	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
PET	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.
Rauigkeit	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.
Sensibler Wärmefluss	Umsetzung der Einstrahlung in einen fühlbaren thermischen Wärmefluss, welcher sich in einer Änderung der Lufttemperatur äußert.
Strahlungsantrieb	Maß für die Energiebilanz der Erde durch die von außen einwirkende

	Strahlung.
Strahlungsbilanz	Die Strahlungsbilanz ist die Differenz aus der Einstrahlung und Ausstrahlung auf eine Oberfläche. Die Strahlungsbilanz der Erdoberfläche wird dabei hauptsächlich von der solaren, kurzwelligen Einstrahlung und der terrestrischen, langwelligen Ausstrahlung bestimmt.
Strahlungstemperatur	Die mittlere Strahlungstemperatur ist die Temperatur der auf den Wärmehaushalt des Menschen (bzw. den Messpunkt) einwirkenden Wärmestrahlung aller Umschließungsflächen in Abhängigkeit von deren Emissionsvermögen.
SRTM-Daten	Digitales Geländemodell, welches bei der STS-099 Shuttle Radar Topography Mission im Februar 2000 aufgezeichnet wurde.
Strömungssystem	Stabil ausgebildete Kaltluftabflüsse und Flurwinde in der zweiten Nachthälfte.
Synthetische Winddaten	Wind- und Ausbreitungsklassenstatistiken, welche auf Basis von Reanalysedaten mit einem prognostischen nicht-hydrostatischen Strömungsmodell berechnet wurden. Die Daten beziehen sich meist auf eine Anemometerhöhe von 10 m über Grund.
Urban boundary layer	Bezeichnung für den Teil der bodennahen Luftschicht, der durch städtisch bebaute Gebiete beeinflusst wird.
Urban canopy layer	Luftschicht zwischen dem Boden und der mittleren Höhe der Gebäude und Bäume, in welchen mikroskalige Prozesse, wie Mehrfachreflexion oder Turbulenz, dominieren.
Urbane Wärmeinsel	Siedlungsraum, der vor allem abends und nachts während → autochthonen Wetterlagen eine höhere Lufttemperatur aufweist als die ländliche Umgebung.
Ventilationsbahn	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).
Volumenstromdichte	Die Kaltluft-Volumenstromdichte ist ein Maß für die Menge der abfließenden → Kaltluft. Sie wird angegeben in Kubikmeter pro Sekunde und Querschnitt der Breite 1 Meter über die gesamte betrachtete Luftschichtmächtigkeit.
Wahre Ortszeit	Die auf den Sonnenstand bezogene Zeit. Die Sonne steht um 12:00 Uhr wahrer Ortszeit im Zenit.
Wärmebelastung	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.
Warme Hangzone	Geländebereich an Hängen, der sich zwischen kalter Hochfläche und Talsohle befindet und oberhalb eines ausstrahlungsbedingten Kaltluft-

	sammelgebiets (in Mulden, Becken, Tälern) liegt. Die warme Hangzone ist bioklimatisch begünstigt.
Wirkungsraum	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

Das Stadtgebiet von Rheinfelden ist durch die naturräumliche Lage und den Klimawandel zunehmend thermisch belastet. Im Rahmen des prognostizierten Klimawandels werden Tage mit Hitzestress weiter zunehmen. Deshalb ist es zum einen wichtig, die lokalen Belastungsschwerpunkte zu kennen, zum andern aber auch die Bereiche zu schützen, die für eine Entlastung sorgen.

Die Stadtklimaanalyse Rheinfelden analysiert die räumlichen Wirkungszusammenhänge zwischen den thermisch und lufthygienisch belasteten Räumen (Wirkungsraum) und den ihnen zugeordneten Ausgleichsräumen. Dabei wird eine wolkenarme und windschwache Wetterlage betrachtet, bei der sich die lokaltypischen klimatischen Eigenheiten am stärksten ausprägen.

Für planerische Fragestellungen im Rahmen der Flächennutzungsplanung bis hin zu Klimaanpassungsstrategien ist die Kenntnis der räumlichen Struktur und Intensität sowohl der Belastungen wie auch der Entlastungen erforderlich. Um dies zu bewerten, wird die Betroffenheit der Bevölkerung herangezogen. Diese ergibt sich aus der Intensität der Belastung bzw. Entlastung und der Empfindlichkeit auf der betrachteten Fläche. Die Empfindlichkeit wird über die Bevölkerungsdichte ermittelt.

Die Belastungssituation der Wirkungsräume setzt sich aus der thermischen und der lufthygienischen Belastung zusammen. Die thermische Belastung wird für die Tag- und die Nachtsituation untersucht. Zur Quantifizierung der Wirkung der thermischen Bedingungen auf den Menschen werden human-biometeorologische Methoden herangezogen. Die lufthygienische Belastung wird anhand der aktuell problematischen Luftschadstoffe Stickstoffdioxid (NO_2) und Feinstaub (PM10) quantifiziert.

Entlastende Momente stellen insbesondere Kaltluftabflüsse dar, die sich durch die Nähe zu den Hängen des Dinkelbergs nördlich und nordwestlich der Stadt Rheinfelden ausprägen. Zusätzlich gibt es bei austauscharmen wolkenarmen Wetterlagen eine dem Hochrheintal folgende östliche Luftströmung, welche sich mit den Kaltluftabflüssen in den Nachtstunden überlagert. Diese Strömungen transportieren Frischluft heran, welche die tagsüber entstandenen thermischen und lufthygienischen Belastungen abtransportieren kann.

Um diese landschaftsklimatischen Vorgänge wie auch die Aspekte des Stadtklimas sowohl für das Klimaanpassungskonzept als auch für den Flächennutzungsplan zu erfassen und aufzuarbeiten, wurden mittels umfangreicher Modellsimulationen die Gunstfaktoren und die thermischen sowie lufthygienischen Belastungen ermittelt.

Die Stadtklimaanalyse Rheinfeldens stellt eine wichtige Grundlage für das Klimaanpassungskonzept dar.

Die Detailfülle der berechneten Ergebnisse kann in diesem Bericht nur unzureichend dargestellt werden. Die Metadaten und Ergebnisse werden den Anwendern deshalb im städtischen GIS zur Verfügung gestellt.

1.1 Gunstfaktoren

Die nächtliche Belüftung bei austauscharmen wolkenarmen Wetterlagen, sogenannten autochthonen Wetterlagen, erfolgt im Raum Rheinfelden durch Kaltluftabflüsse von den Hängen des nördlich gelegenen Dinkelbergs. Dabei sind besonders die Kaltluftabflüsse nördlich und nordöstlich von Nollingen sowie der Kaltluftabfluss im Bereich von Degerfelden von besonderer Bedeutung.

Während die Strömungen bei Degerfelden durch die östliche Strömung entlang des Hochrheintals nach Westen in Richtung Herten gelenkt wird, über und durchströmen die Kaltluftabflüsse nördlich und nordöstlich von Nollingen sowohl das Siedlungsgebiet Nollingen als auch die Kernstadt Rheinfeldens und reichen dabei bis in den Innenstadtbereich. Die Freiflächen nördlich der Kernstadt bzw. östlich von Nollingen begünstigen dabei das Abfließen der Kaltluft und sind daher von großer Bedeutung für den Kaltluftzustrom Rheinfeldens und sollten von flächiger Bebauung freigehalten werden.

Im Überdachniveau stellt sich insgesamt eine nordöstliche Strömung ein, die Rheinfelden überstreicht.

Größere Park- und Grünflächen stellen für die Bevölkerung wichtige Freizeit- und Naherholungsbereiche dar. Darüber hinaus dienen sie als klimatische Ausgleichsräume und haben somit eine wichtige klimatische Funktion innerhalb der Stadt inne. Im Stadtgebiet Rheinfeldens sind diese Flächen verhältnismäßig klein und sollten in ihrer Funktion erhalten und weiterentwickelt werden.

Für die Durchlüftung von Rheinfelden während autochthonen Wetterlagen ist die Luftleitbahn östlich des Nollinger Bergs von großer Bedeutung. Diese sorgt für eine Durchlüftung der nördlichen Randbereiche Rheinfeldens entlang der Römerstraße sowie in Verbindung mit der Freifläche „Obere Rütte“ mit dem Skulpturengarten für eine Entlüftung.

1.2 Belastungen

Die thermische Belastung ist durch die Lage im warmen Süden Deutschlands geprägt. Neben der durch die großräumige Lage vorgegebenen thermischen 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.

Die Bewertung der thermischen Belastung erfolgt auf der Basis der Betroffenheit, d.h. abhängig von der Einwohnerdichte. Hohe bis sehr hohe thermische Betroffenheit in Siedlungsgebieten findet man im Zentrum Rheinfeldens sowie im nordöstlich gelegenen Gewerbegebiet.

Die Luftbelastung an einem Ort setzt sich aus unterschiedlichen Beiträgen zusammen. Hauptquelle für die bodennahe Luftbelastung ist der Kfz-Verkehr. Hinzu kommen Emissionen durch Hausbrand, Gewerbe und Industrie, Luftfahrt, Schifffahrt und die allgemeine Hintergrundbelastung. Die Beiträge des Kfz-Verkehrs wurden auf Basis der Verkehrsaufkommen (Daten der Straßenverkehrszentrale Baden-Württemberg und der Firma PÖYRY Deutschland GmbH) berechnet.

Die anderen Anteile wurden als Vorbelastung auf der Basis der Vorbelastungskarten und Messungen der LUBW berücksichtigt.

Erhöhte Luftbelastungen findet man im Nahbereich stark befahrener Straßen. In Rheinfelden gehen hohe Emissionen insbesondere von den Autobahnen A98 und A861 sowie den Bundesstraßen B34 und B316 aus. Entsprechend findet man hohe Belastungen im Zuge des Hauptstraßennetzes.

Da die Feinstaubbelastungen in den letzten Jahren deutlich zurückgegangen sind, wird zur Beurteilung der lufthygienischen Belastung hauptsächlich Stickstoffdioxid betrachtet. Aus medizinischer Sicht ist jedoch die Feinstaubbelastung die schädlichere Substanz.

1.3 Klimawandel

Die mittlere Lufttemperatur lag bei 10,5 °C in der Klimanormalperiode 1971 – 2000. Die vergleichsweise hohe Niederschlagsmenge von 1040 mm/a in Rheinfelden wird durch intensive konvektive Niederschlagsereignisse im Sommer hervorgerufen, die begünstigt durch die vorliegende Orographie intensiver ausfallen als in anderen Regionen. Trotz der hohen Niederschlagsmenge weist Rheinfelden mit im Mittel 1763 Sonnenstunden pro Jahr einen der höchsten Werte innerhalb Deutschlands auf. Damit einhergehend sind die Zahl an Sommertagen (66) und heißen Tagen (18) ebenfalls erhöht und die Anzahl an Frosttagen (59) niedriger als im Vergleich zu anderen Städten.

Für die Prognosen verschiedener Klimaelemente im 21. Jahrhundert werden die Szenarien RCP 2.6 und RCP 8.5 verwendet. Eine Erhöhung der Lufttemperatur bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts äußert sich bei RCP 2.6 in 1,2 K und bei RCP 8.5 in 1,9 K. Zum Ende des 21. Jahrhunderts fällt die Spanne zwischen den Szenarien deutlich größer aus: 1,1 K (RCP 2.6) und 4,2 K (RCP 8.5).

Eine ähnliche Tendenz wie für die Lufttemperatur lässt sich auch für die Anzahl an Sommertagen erkennen. Bis Mitte des 21. Jahrhunderts kann die Anzahl um etwa 21 Tage (RCP 2.6) bzw. 38 Tage (RCP 8.5) ansteigen. Bis 2100 können es letztlich etwa 19 Tage (RCP 2.6) bzw. 88 Tage (RCP 8.5) mehr sein als der Median von 1971 – 2000.

Die Niederschlagsprognosen zeigen zwischen den Modellläufen eine deutlich größere Variabilität. Tendenziell wird der Sommerniederschlag jedoch abnehmen und der Winterniederschlag zunehmen. Starkniederschlagsereignisse werden häufiger vorkommen und die Regenmengen während dieser Ereignisse werden zunehmen. Diese Signaländerung ist am deutlichsten abgebildet für das Szenario RCP 8.5 zum Ende des Jahrhunderts.

1.4 Empfehlungen

Für die Reduktion von thermischen Belastungen sollte vorrangig die Erhaltung und Schaffung von Grünflächen betrachtet werden. Zudem hilft eine ausreichende Durchlüftung thermische und lufthygienische Belastungen zu vermeiden oder deren Akkumulation zu reduzieren. Die genannten Maßnahmen zur Verbesserung und Erhaltung der Durchlüftung sowie die Maßnahmen zur Re-

duktion der thermischen Belastung sollten daher bei der weiteren Stadtplanung mit einbezogen werden.

Den innerstädtischen Grünflächen kommt zukünftig noch eine größere Bedeutung zu. Diese Flächen sollten unbedingt weiterentwickelt werden, da sie Erholungsflächen (Klimavielfalt) bzw. klimatische Ausgleichsflächen für die Nachbarschaft darstellen. Die mittelfristige Schaffung von zusätzlichen Grünflächen wird empfohlen.

Bei städtebaulichen Entwicklungen in durchlüftungsrelevanten Bereichen ist dieser wichtigen stadtklimatischen Funktion durch klimaökologische Eingriffsminimierung (z.B. geringere Flächenversiegelung, städtebauliche Dichte), angepasste Gebäudehöhen und Gebäudestellungen, aber auch durch entsprechende intensive Eingrünungen (z.B. Fassaden- und Dachbegrünung) in ausreichender Weise Rechnung zu tragen.

2 Einführung und Aufgabenstellung

Die Stadt Rheinfelden liegt mit ihren etwa 33.074 Einwohnern[1] in einer der wärmsten Regionen Deutschlands[2]. Exemplarisch ist in Abbildung 2-1 das langjährige Mittel (1981 – 2010) der Sommertage in Baden-Württemberg dargestellt. Neben dem Oberrheingraben ist auch der westliche Hochrheinbereich thermisch belastet. Die Tallage im Süden Deutschlands und Nähe zur Burgundischen Pforte, aus der warme Mittelmeerluft ungehindert zuströmen kann, führen zu einem milde, sonnigen Klima mit potenziell heißen Sommern und milden Wintern.

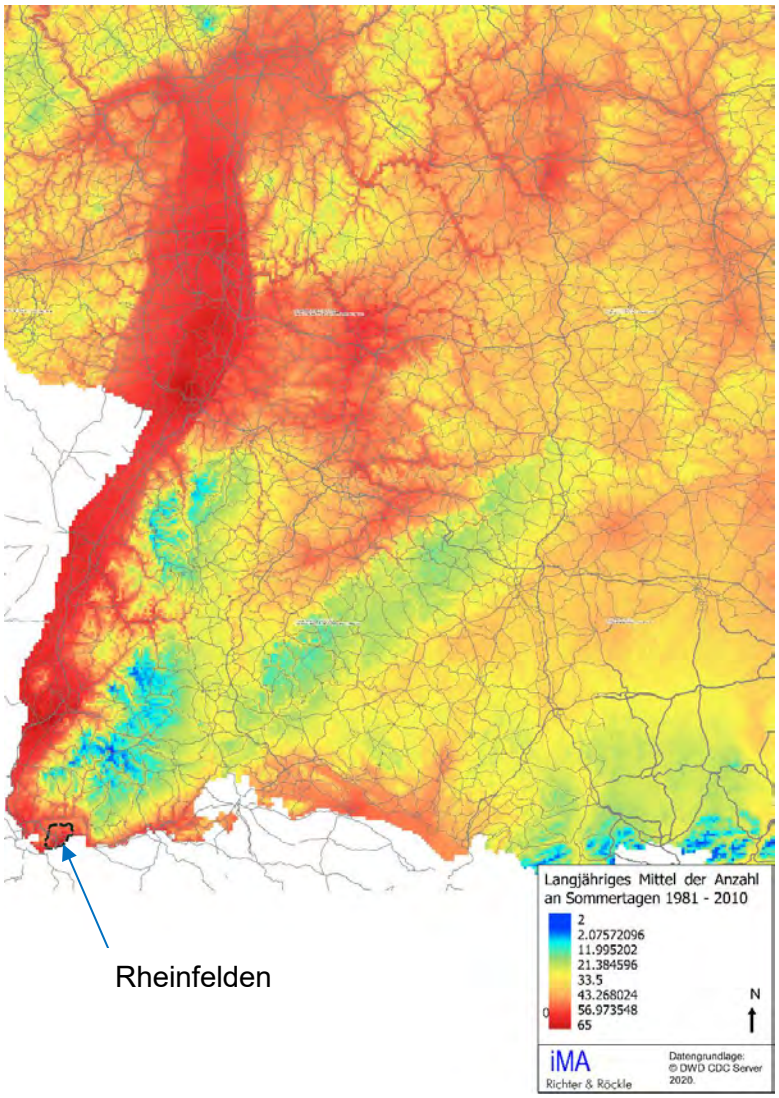

Abbildung 2-1: Langjähriges Mittel der Anzahl an Sommertagen. Klimazeitraum 1981 – 2010. (Quelle: DWD)

[1] *Stand 31.12.2018, Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (https://www.statistik-bw.de/BevoelkGebiet/Bevoelkerung/01515020.tab?R=GS336069)*
[2] *Klimaatlas des Deutschen Wetterdienstes (https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaatlas/klimaatlas_node.html, Stand Januar 2019)*

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 durchgrünten 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 erforderlich.

In der Stadtklimaanalyse Rheinfelden soll das Schutzgut Klima aus anthropozentrischer Sicht für sommerliche Hitzesituationen, d.h. bei Wetterlagen mit geringem übergeordnetem Wind und geringer Bewölkung, untersucht werden. Um relevante Strömungssysteme und die zugrunde liegenden Kaltluftentstehungsgebiete und Luftleitbahnen zu identifizieren, müssen die räumlichen Wirkungszusammenhänge zwischen den thermisch und lufthygienisch belasteten Räumen (Wirkungsraum) und den ihnen zugeordneten Ausgleichsräumen ermittelt werden.

Die Belastungssituation der Wirkungsräume setzt sich aus der thermischen und der lufthygienischen Belastung zusammen und ist zudem abhängig von der Empfindlichkeit der Bevölkerung. 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*) kann unter Berücksichtigung der Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit und der Strahlungsflüsse die Wärmebelastung flächendeckend quantifiziert werden. Die lufthygienische Belastung wird anhand der aktuell problematischen Größen Stickstoffdioxid (NO_2) und Feinstaub (PM10) quantifiziert. Die Empfindlichkeit der Bevölkerung wird durch die Bevölkerungsdichte ermittelt.

Für planerische Fragestellungen im Rahmen der Flächennutzungsplanung bis hin zu Klimaanpassungsstrategien ist die Kenntnis der räumlichen Struktur und Intensität sowohl der Belastungen wie auch der Entlastungen erforderlich.

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.

Die Stadtklimaanalyse stellt deshalb eine wichtige Grundlage für planerische Entscheidungen dar. Sie basiert auf umfangreichen Modellierungen der thermischen Verhältnisse und der Strömungsbedingungen. Hier fließen das Höhenmodell, die Realnutzung, die Baukörper, der Straßenverkehr und vieles mehr ein. Zudem werden auch die Effekte des prognostizierten Klimawandels behandelt.

3 Bestandsbeschreibung

3.1 Örtliche Verhältnisse

Die Stadt Rheinfelden liegt rechts des Hochrheins an der Deutsch-Schweizerischen Grenze auf etwa 47° 34‘ nördlicher Breite und 7° 47‘ östlicher Länge.

Der Verwaltungsbezirk ist größtenteils durch den Dinkelberg, einer Hügellandschaft des südlichen Schwarzwalds, geprägt (Abbildung 3-1). Die höchsten Erhebungen sind der Hirzenleck auf 523 m über Normalhöhennull (NHN) im Westen und das Oberholz bei Nordschwaben auf ca. 520 m über NHN. Der südliche Teil der Gemarkung liegt relativ eben auf einer Höhe von ca. 280 m über NHN am Ufer des Hochrheins. Nach Osten schließt sich das Möhliner Feld in der Schweiz an.

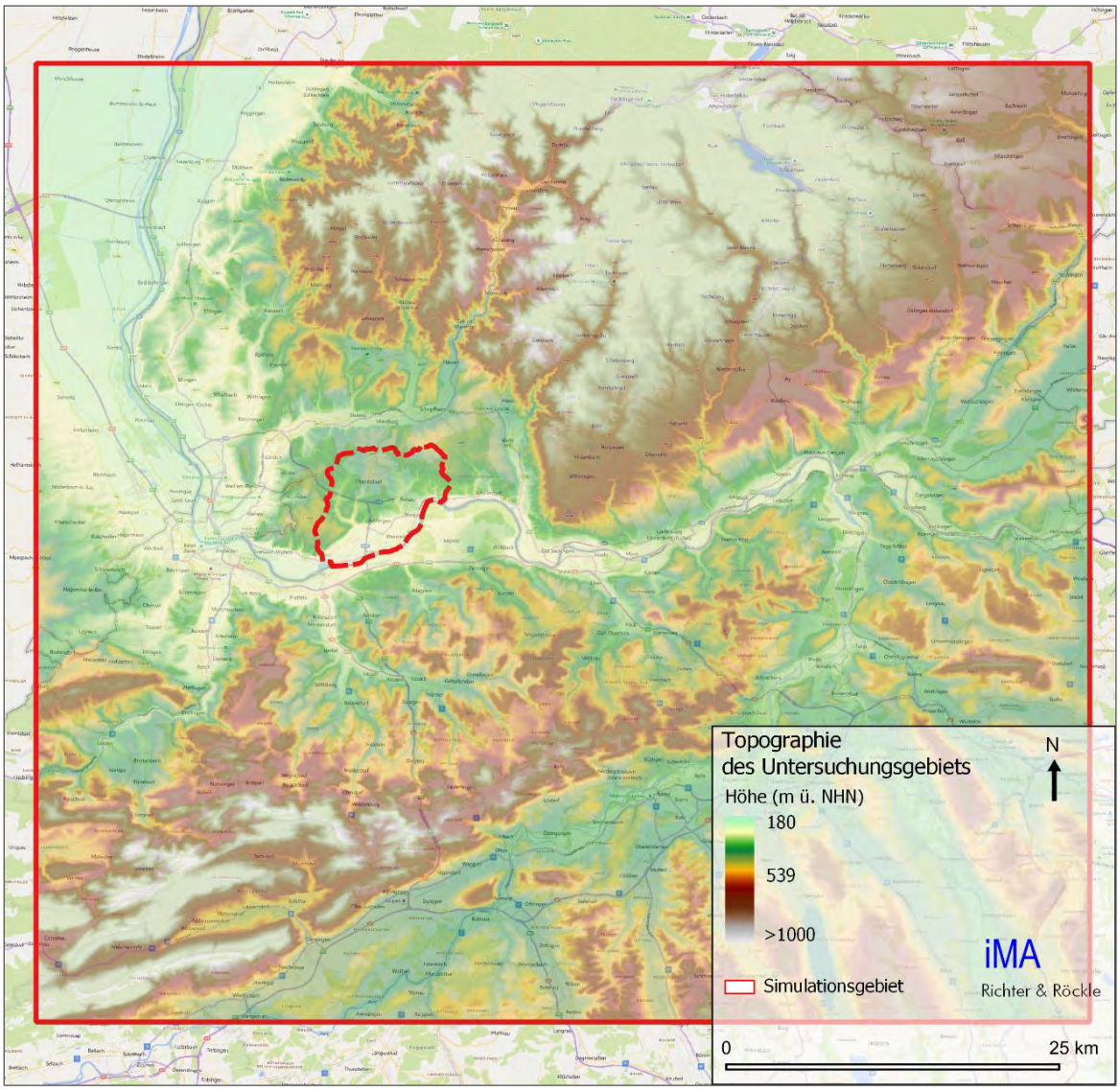

Abbildung 3-1: Topographie des Untersuchungsgebiets (Verwaltungsbezirk Rheinfelden, rot gestrichelt) und der weiteren Umgebung (Kartengrundlage: onmaps,de ©GeoBasis-DE/BKG/ZSHH 2020).

3.2 Klimatische Einordnung der Stadt Rheinfelden

Rheinfelden lässt sich allgemein dem Klima der gemäßigten Breiten mit dominierenden Westwinden zuordnen, die ganzjährige Niederschläge und milde Temperaturen zur Folge haben.

Für eine klimatisch feinere Einordnung werden Indikatoren wie in Tabelle 3-1 für die Klimanormalperiode 1981 – 2010 verwendet (siehe auch Tabelle 4-2). Zum Vergleich sind weitere Orte in der Tabelle aufgelistet, die entsprechend ihrer geographischen Breite sortiert wurden. Die erhobenen Daten beruhen auf Stationsmessungen des Deutschen Wetterdienstes (DWD).

Generell sind die Höhenlage, die geografische Lage und lokale Nutzungsstrukturen für thermische Indikatoren von Bedeutung. In Rheinfelden wurden in der Klimanormalperiode 1981 – 2010 im Jahresmittel 66 Sommertage und 18 heiße Tage ermittelt. Konstanz weist mit 53 Sommertagen und 11 heißen Tagen geringfügig weniger potenzielle Tage mit Wärmebelastung auf. Die Anzahl an heißen Tagen ist von der Klimanormalperiode 1971 – 2000 zur Periode 1981 – 2010 in Konstanz im Mittel von 7,1 auf 10,6 Tage angestiegen. Aufgrund des ausgleichenden Einflusses des Bodensees ergeben sich z.B. weniger heiße Tage als in Rheinfelden. Im höher gelegenen Pfullendorf treten dagegen mit 36 Eistagen viermal so viele Tage mit einer maximalen Lufttemperatur unter 0°C wie in Rheinfelden (9 Eistage) auf. Einer Kältebelastung kann man durch geeignete Kleidung oder den Aufenthalt in beheizten Gebäuden ausweichen. Eine Anpassung bei Wärmebelastung ist jedoch nur bedingt möglich.

Tabelle 3-1: Indikatoren für ausgewählte Orte in Deutschland in den Jahren 1981 – 2010. Datengrundlage: Messdaten des DWDs Climate Data Center (CDC).

Ort/Messstation	Stations-höhe (m)	Frost-tage (d)	Eistage (d)	Sommer-tage (d)	Heiße Tage (d)	Nieder-schlag (mm)	Sonnen-schein-dauer (h)
Rheinfelden	282	59	9	66	18	1040	1763
Konstanz	443	72	19	53	11	845	1703
Pfullendorf	630	121	36	28	3	880	1701
Freiburg	236	58	12	61	16	934	1768
Frankfurt/Main	100	70	14	52	14	629	1662
Hamburg-Fuhlsb.	11	70	17	27	5	793	1580

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

Die vergleichsweise hohe Niederschlagsmenge von 1040 mm/a in Rheinfelden werden u.a. durch intensive konvektive Niederschlagsereignisse im Sommer hervorgerufen. Zusätzlich begünstigt die Staulage vor den Alpen die Bildung von Niederschlag im Bereich Rheinfelden.

Die Anzahl an heißen Tagen stieg von 14 (Median) im Zeitraum 1971 – 2000 auf 22 im Zeitraum 2000 – 2019 (Abbildung 3-2). Im Jahr 2003 wurden an 59 Tagen eine Lufttemperatur von über 30 °C erreicht, 2018 an 37 Tagen.

Bei den klimatologischen Kenntagen ist zu beachten, dass eine Schwellwertproblematik vorhanden ist. Durch einen Temperaturanstieg besteht die Möglichkeit, dass z.B. wesentlich mehr Tage

mit einer Tageshöchsttemperatur von 29,9 °C auftreten. Diese bewirken jedoch keine Zunahme der Anzahl an heißen Tagen.

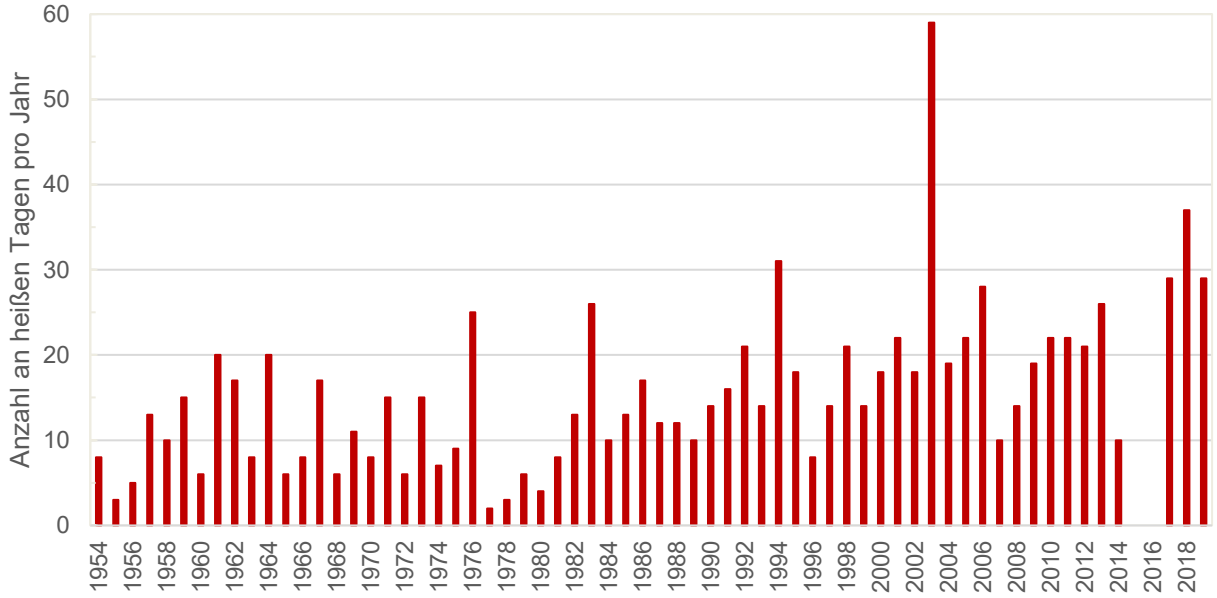

Abbildung 3-2: Anzahl der heißen Tage im Zeitraum 1954 bis 2019 im Raum Rheinfelden (Datengrundlage: DWD Messstation).

Betrachtet man den Jahresmittelwert der Lufttemperatur, so ist ein deutlicher Anstieg zu verzeichnen. In Abbildung 3-3 ist der Verlauf der mittleren Lufttemperatur an der Messstation in Rheinfelden zwischen 1954 und 2019 dargestellt. Hohe Jahresmittelwerte sind nicht nur auf heiße Sommer zurückzuführen, sondern können sich auch durch warme Wintermonate ergeben. So sticht z.B. das Jahr 2003 bei den Jahresmittelwerten nicht hervor.

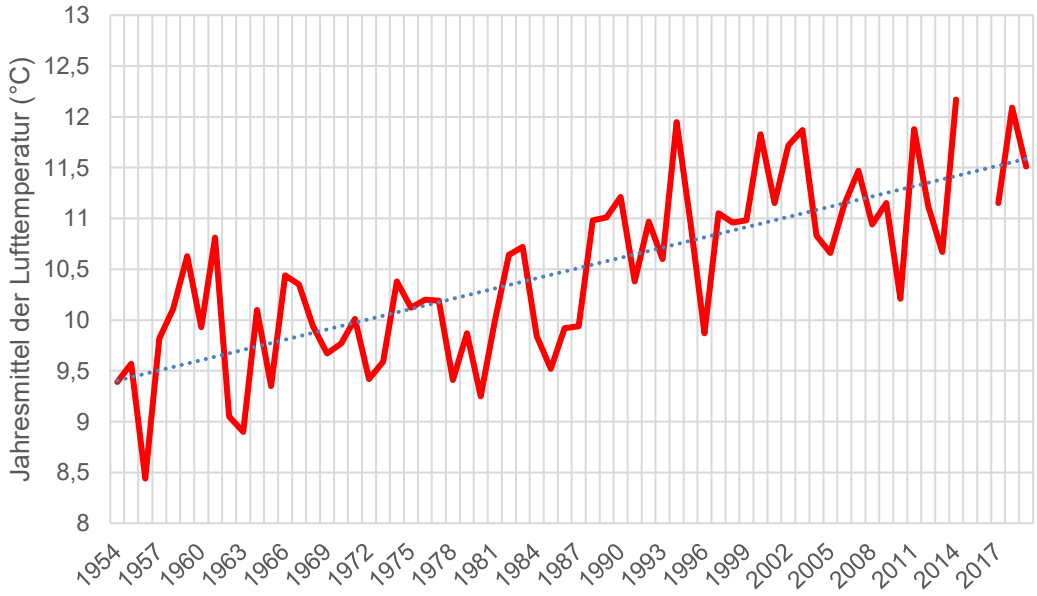

Abbildung 3-3: Verlauf der mittleren Lufttemperatur in Rheinfelden von 1954 bis 2019 (Daten: Messstation DWD).

3.3 Strömungsverhältnisse

An der in Rheinfelden befindlichen meteorologischen Messstation des Deutschen Wetterdienst finden keine Windmessungen statt. Deshalb wurden verschiedene Windmessstationen in der Umgebung (Abbildung 3-4) analysiert und auf synthetisch generierte Daten (Abbildung 3-5) zurückgegriffen. Diese basieren auf mesoskaligen Modellrechnungen sowie global zur Verfügung stehenden Reanalysedaten[3].

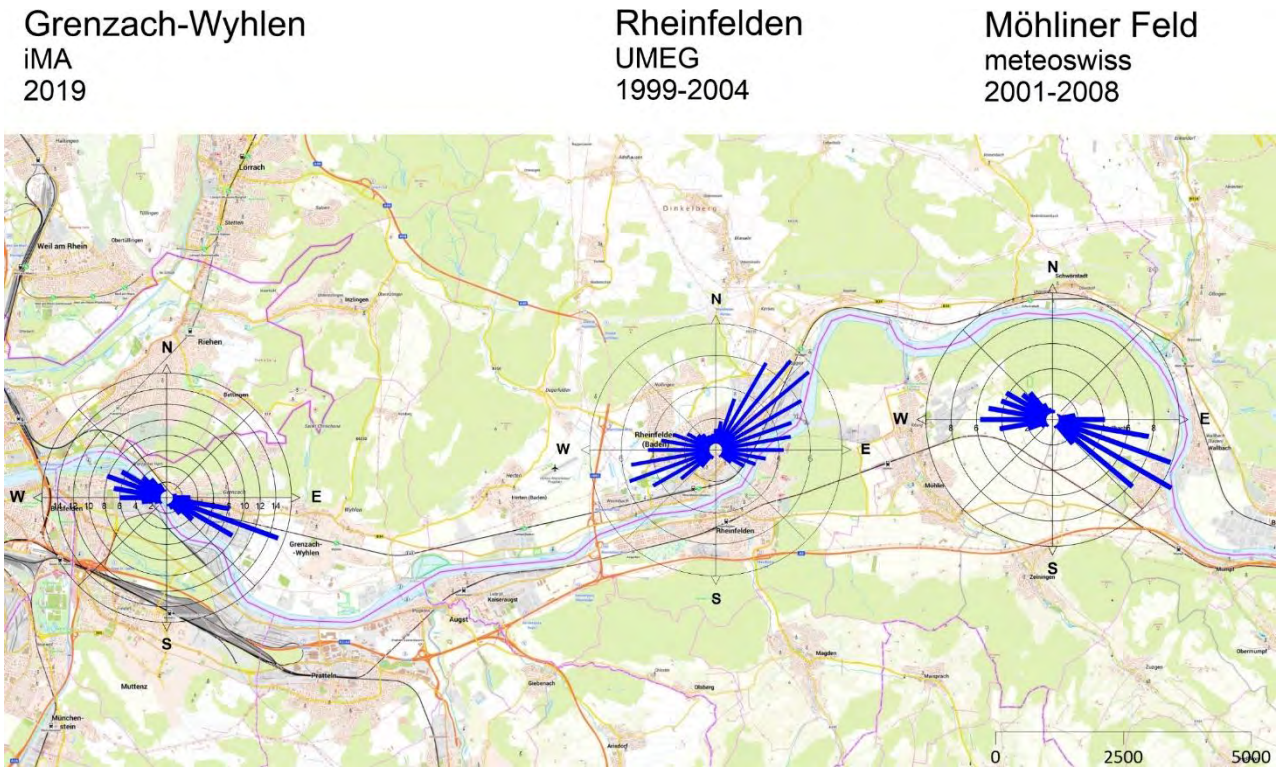

Abbildung 3-4: Verteilung der Windrichtung und Windgeschwindigkeit in der Region Rheinfelden.

In Rheinfelden fanden von 1999 bis 2005 Windmessungen durch die UMEG Gesellschaft für Umweltmessungen und Umwelterhebungen mbH statt. Die zwei Hauptwindrichtungen in Rheinfelden sind West und Nordost. Dies ist durch das Hochrheintal bedingt, welches von Rheinfelden aus von Nordost nach Südwest verläuft. Wind aus Nord bis Nordwest tritt selten, aus Südwest bis Südost nahezu nie auf (Abbildung 3-4). Bei Westwind sind höhere Windgeschwindigkeiten geringfügig häufiger vertreten als bei Nordostwind während Schwachwind geringfügig häufiger aus Nordost auftritt als aus westlicher Richtung (Abbildung 3-5).

Im westlich gelegenen Grenzach-Wyhlen wird der Wind aufgrund der Talenge stärker kanalisiert, sodass der Wind nahezu ausschließlich aus den Hauptwindrichtungen Westnordwest und Ostsüdost weht (Abbildung 3-4). Östlich von Rheinfelden liegen Winddaten der MeteoSchweiz für das Möhliner Feld vor. Die Hauptwindrichtungen dort sind Ostsüdost und Westnordwest (Abbildung 3-4).

[3] *https://www.metsoft.de/fileadmin/_migrated/content_uploads/QS-SynAKS-V-1.1_01.pdf*

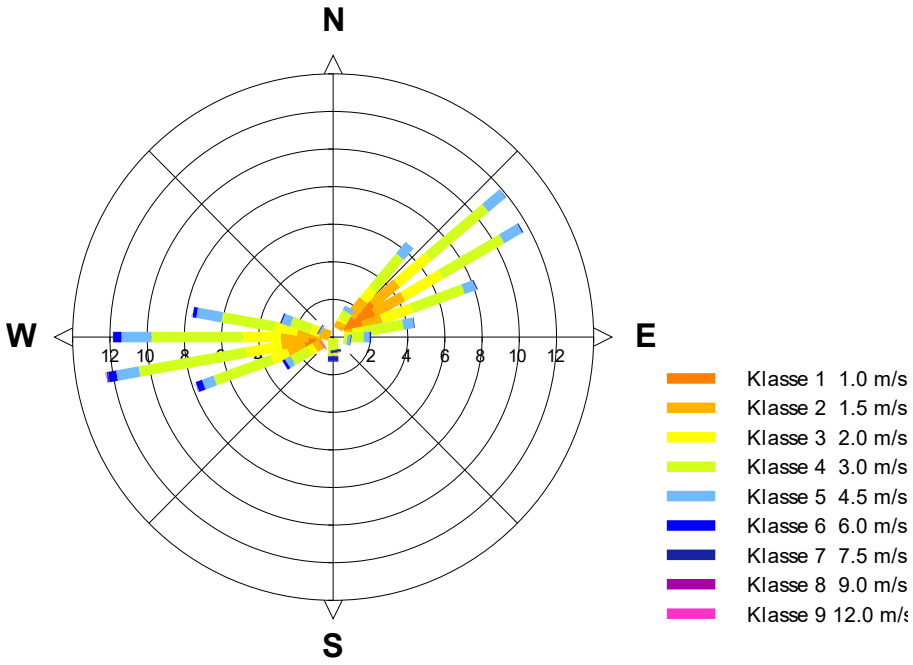

Abbildung 3-5: Verteilung der Windrichtung und Windgeschwindigkeit.

Die Häufigkeitsverteilung bei verschiedenen Ausbreitungsklassen ist in Abbildung 3-6 dargestellt. Nachts bei windschwachen und wolkenarmen Wetterlagen (Ausbreitungsklasse I und II, oberste Reihe der Windrosen) tritt hauptsächlich Wind aus Nordost auf während nur selten Westwind registriert wird. Bei gleichen Verhältnissen in den Tagstunden (Ausbreitungsklasse IV und V, unterste Reihe) treten beide Hauptwindrichtungen auf, wobei Westwinde geringfügig häufiger auftreten als Nordostwinde.

Das Hochrheintal dominiert die Ausrichtung der lokalen Strömung in Rheinfelden. Die Berghänge des Dinkelbergs im Norden und des Jura im Süden verhindern das Auftreten von Winden, welche nicht dem Hochrheintal folgen.

Durch die gegebene Orographie kann sich bei besonderen Witterungsverhältnissen der sogenannte „Möhlin Jet“ ausbilden (siehe Abbildung 3-7). Der Möhlin Jet entsteht durch das Anstauen von kalten Luftmassen im Schweizerischen Mittelland. Fließt diese Kaltluft über das nördliche Jura in das Rheintal, entsteht eine kalte östliche Windströmung, welche durch die Verengung des Rheintals bei Bad Säckingen beschleunigt wird und, benannt nach der dort gelegenen Möhliner Höhe, als Möhlin Jet bezeichnet wird. Von Osten kommend, überstreicht der Möhlin Jet den Nordosten von Rheinfelden und weht über den Dinkelberg nach Nordwesten. Lediglich ein geringer Anteil folgt dem Rheintal und weht über das Stadtzentrum Rheinfeldens. Die stärkste Ausprägung des Möhlin Jet ist in den Wintermonaten zu beobachten. Im Sommer tritt das Phänomen nur selten auf und kann daher nicht verlässlich für eine Abkühlung in Rheinfelden in den Sommermonaten dienen.

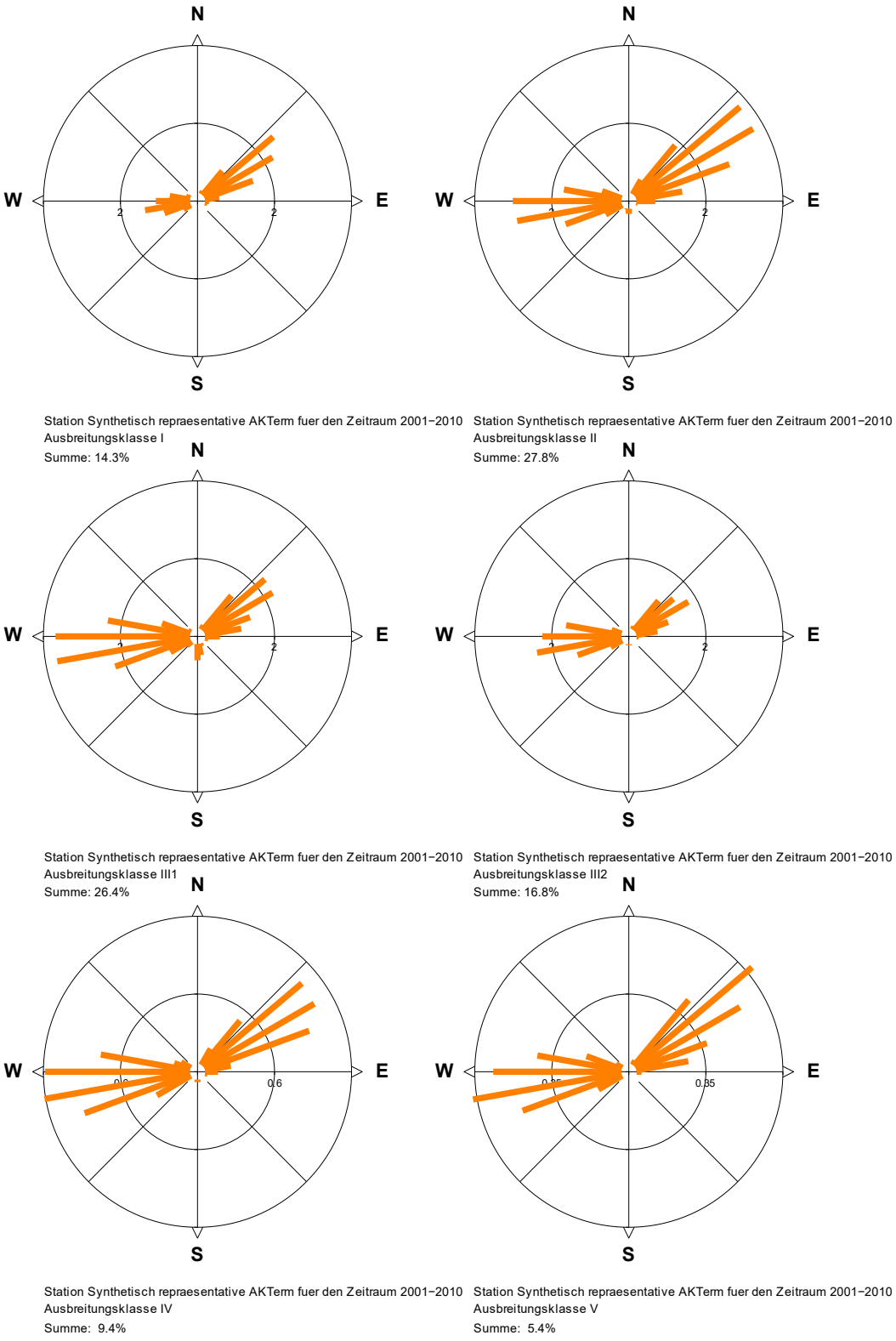

Abbildung 3-6: Häufigkeitsverteilung der Windrichtung bei unterschiedlichen Ausbreitungsklassen.

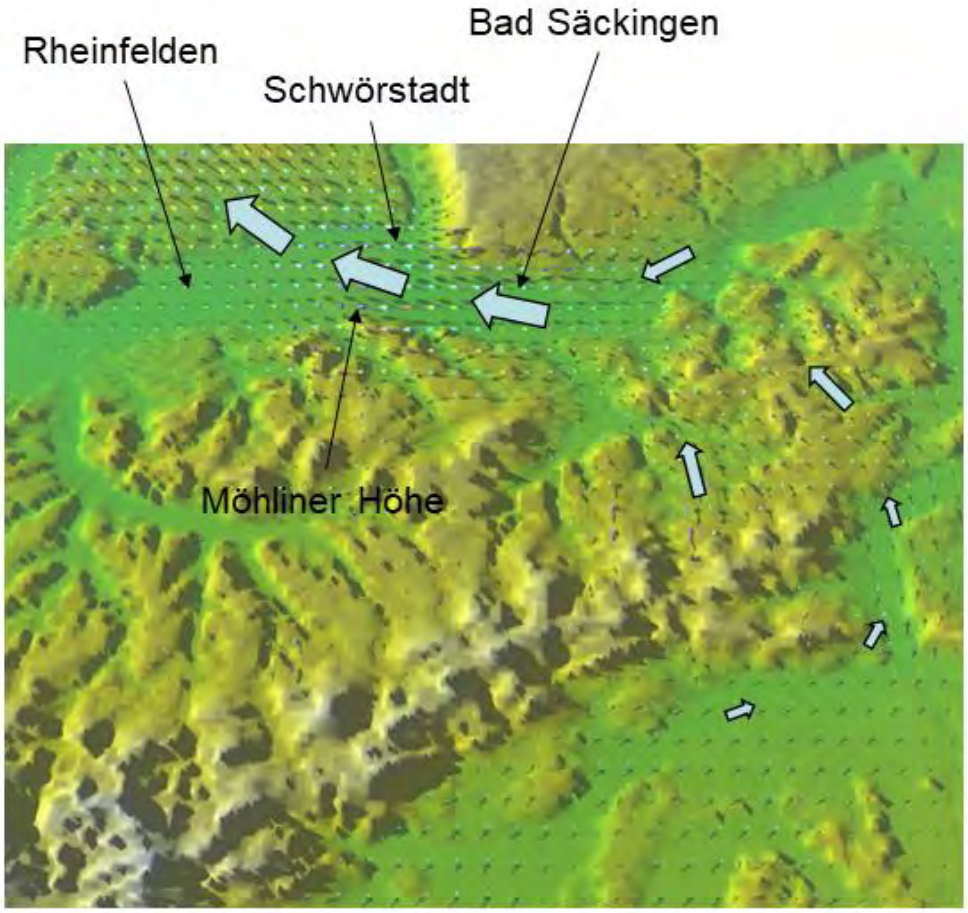

Abbildung 3-7: *Der Verlauf des Möhlin Jet (Abbildung nach Mathias David Müller (2001): Simulation of thermally induced and synoptically driven wind fields in complex terrain: an evaluation of the mesoscale model metphomod.).*

4 Ausblick 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 Mitte des 20. Jahrhunderts eine Zunahme der globalen Lufttemperatur zu beobachten (Abbildung 4-1), welche mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Folge der anthropogen bedingten Freisetzung von Treibhausgasen ist.

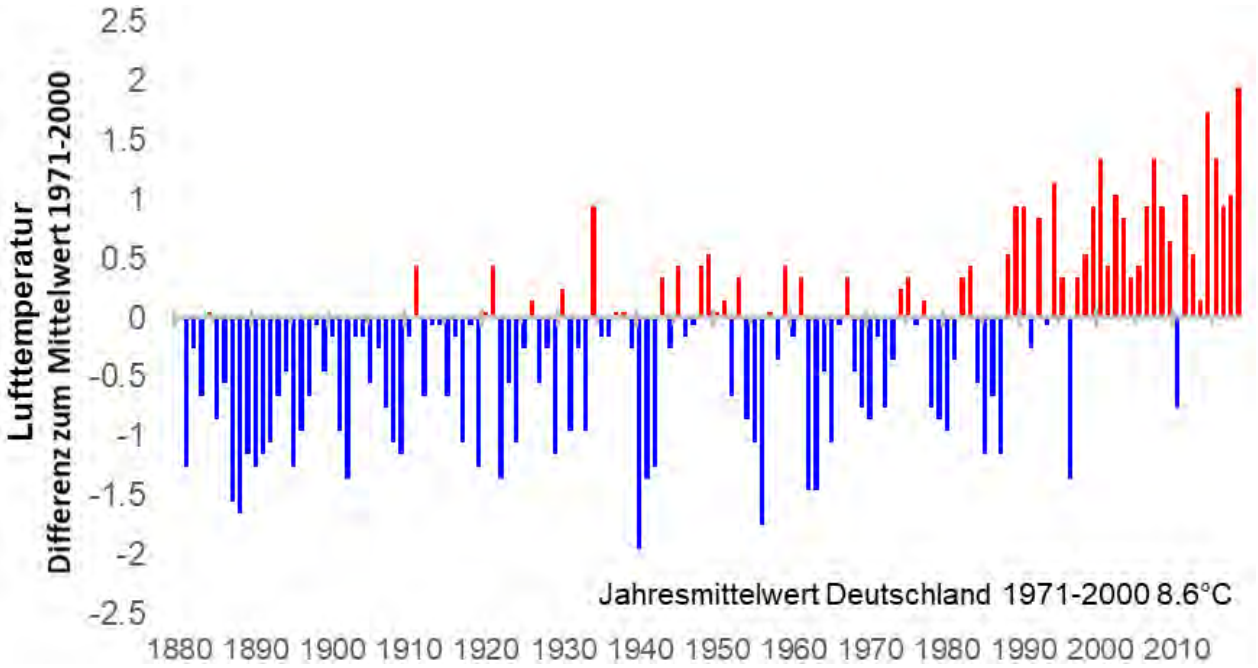

Abbildung 4-1: Beobachteter Klimawandel. Differenz der mittleren Lufttemperatur zum langjährigen Mittel in der Klimanormalperiode 1971 – 2000 von 1880 bis heute (Daten: Deutscher Wetterdienst).

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.

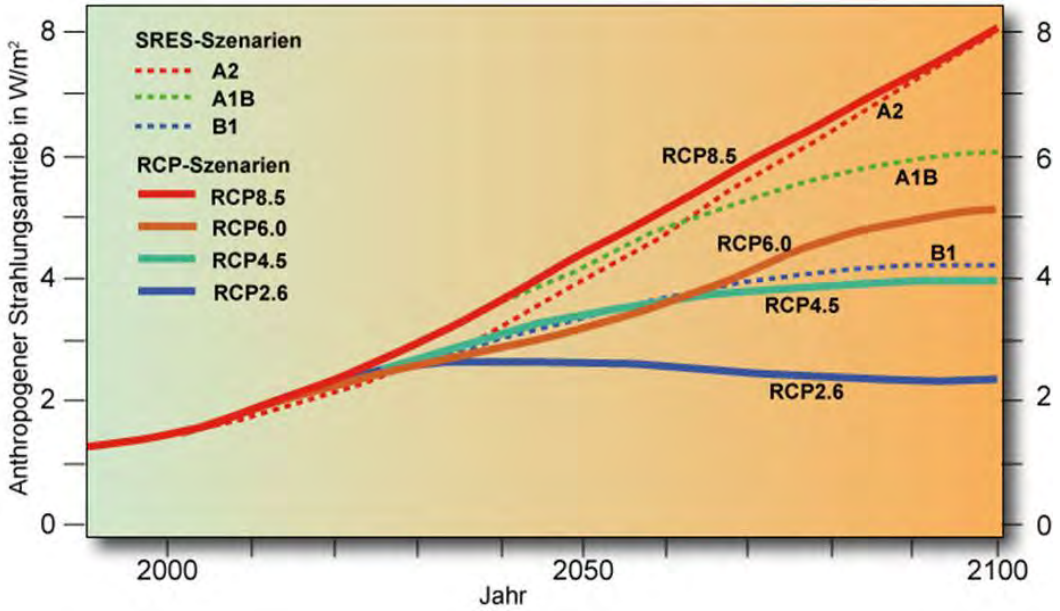

Abbildung 4-2: Vergleich des anthropogenen Strahlungsantriebs, welcher den verschiedenen SRES (4. IPCC Bericht 2007) und RCP-Szenarien (5. IPCC Bericht 2013) zugrunde liegt.

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.

Tabelle 4-1: Beschreibung der „Representative Concentration Pathways", die in der Stadtklimaanalyse Rheinfelden betrachtet werden.

Szenario	Beschreibung
RCP 8.5	Bis über das Jahr 2100 ansteigender Strahlungsantrieb. Dieser beträgt im Jahr 2100 8,5 W/m² oder 1370 ppm CO_2-Äquivalent. Der Strahlungsantrieb bleibt bis 2300 auf hohem Niveau.
RCP 4.5	Moderate Entwicklung, ähnlich dem B1-Szenario. Anstieg des CO_2-Äquivalents bis 2100 auf 650 ppm; der Strahlungsantrieb bleibt bei abnehmenden Emissionskonzentrationen bis 2300 auf gleichem 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/m² 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[4] 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/m² erreicht. Strahlungsantrieb ist ein Maß für die Änderung der Energiebilanz der Erde durch Änderung der Wirkung der Strahlung

[4] *RF – Radiative Forcing = Strahlungsantrieb*

aus dem Weltraum und wird in W/m² gemessen. RCP 2.6 beinhaltet sehr ambitionierte Maßnahmen zur Reduktion von Treibhausgasemissionen. Er führt zum Strahlungsantrieb von etwa 3 W/m² um 2040 und geht zum Ende des 21. Jahrhunderts auf einen Wert von 2,6 W/m² zurück. Die beiden anderen RCPs bewegen sich im mittleren, dazwischenliegenden Bereich. Für die Stadtklimaanalyse Rheinfelden wurden RCP 8.5, RCP 4.5 sowie RCP 2.6 (Tabelle 4-1) 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 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 Konzentrations-Pfade 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 regionale Klimamodelle mit globalen Zirkulationsmodellen angetrieben und über statistische oder dynamische Downscaling-Verfahren regionalisiert. In regionalen Klimamodellen wird komplexe Topographie, Landnutzungsarten sowie der Kontrast zwischen Ozean und Land besser repräsentiert (Wang et al. 2004). Statistische Regionalmodelle berechnen bestehende Zusammenhänge zwischen der Synoptik und dem lokalen Wetter und wenden diese auf die globale Simulation an. Dynamische Klimamodelle werden fortlaufend durch globale Klimamodelle angetrieben und simulieren die chemischen und physikalischen Prozesse.

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 7.1.3) werden im Folgenden beschrieben. Dabei werden zunächst die Klimaelemente Lufttemperatur und Niederschlag und anschließend klimatologische Kenntage analysiert.

4.2 Lufttemperatur

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 1,2 K, bei RCP 8.5 in 1,9 K. Zum Ende des 21. Jahrhunderts fällt die Spanne zwischen den Szenarien deutlich größer aus: 1,1 K (RCP 2.6) und 4,2 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 K bis Ende des 21. Jahrhunderts.

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

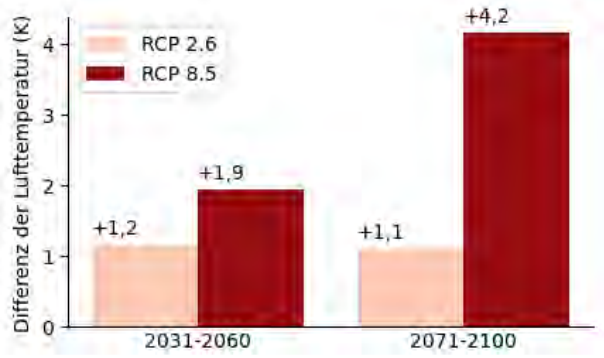

Abbildung 4-3: Änderung der Lufttemperatur (Median) bis Mitte und Ende des 21. Jahrhunderts gegenüber der Klimanormalperiode 1971 – 2000.

Die Zeitreihe des Medians der Lufttemperatur in Abbildung 4-4 verdeutlicht die Unterschiede der Szenarien nochmals. Der Unsicherheitsbereich, farblich hervorgehobener Bereich, 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 6 K existiert.

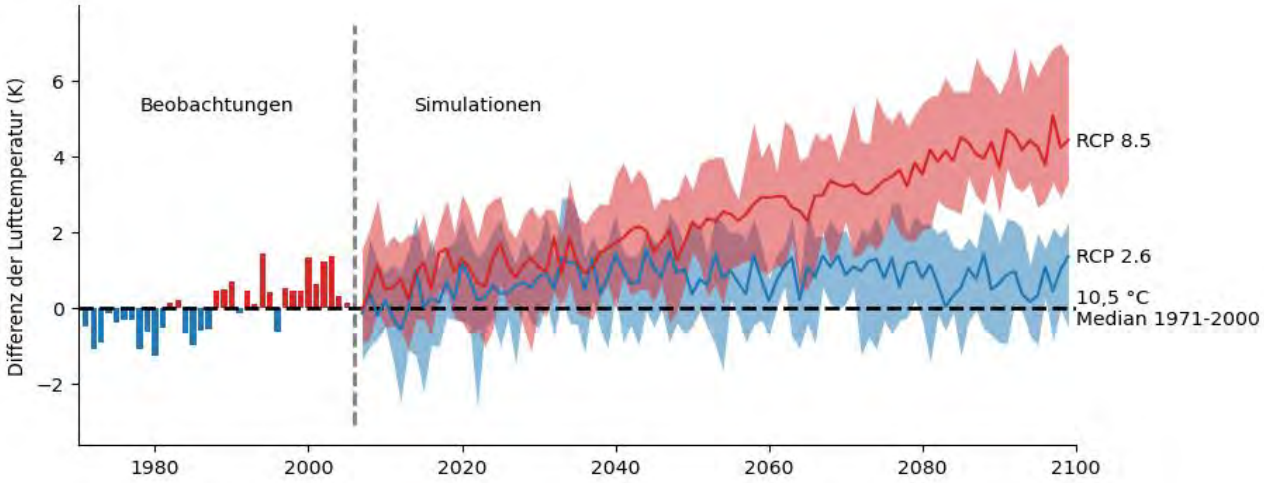

Abbildung 4-4: Lufttemperatur 1971 - 2100 für die Szenarien RCP 2.6 und RCP 8.5 (Daten: Messstation DWD; EURO-CORDEX).

4.3 Niederschlag

Februar und März sind die Monate mit der geringsten Niederschlagsmenge während im August der meiste Niederschlag fällt (Abbildung 4-5).

Für das 21. Jahrhundert wird eine Zunahme des Jahresniederschlags erwartet, welche zur Mitte des Jahrhunderts höher ausfällt als zum Ende (Abbildung 4-6). Dabei fällt die Zunahme im Szenario RCP 2.6 höher aus (3 % – 2 %) als im Szenario RCP 8.5 (1 %). Allerdings weist die Niederschlagsmenge eine sehr hohe Variabilität auf, wodurch die Prognose sehr unsicher ist. Auch

wenn im Mittel eine Zunahme des Niederschlags prognostiziert wird, zeigen die Unsicherheiten auf, dass die Tendenz nicht eindeutig ist. Besonders deutlich wird dies für die Prognose für das Ende des 21. Jahrhunderts im Szenario RCP 8.5. 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 %.

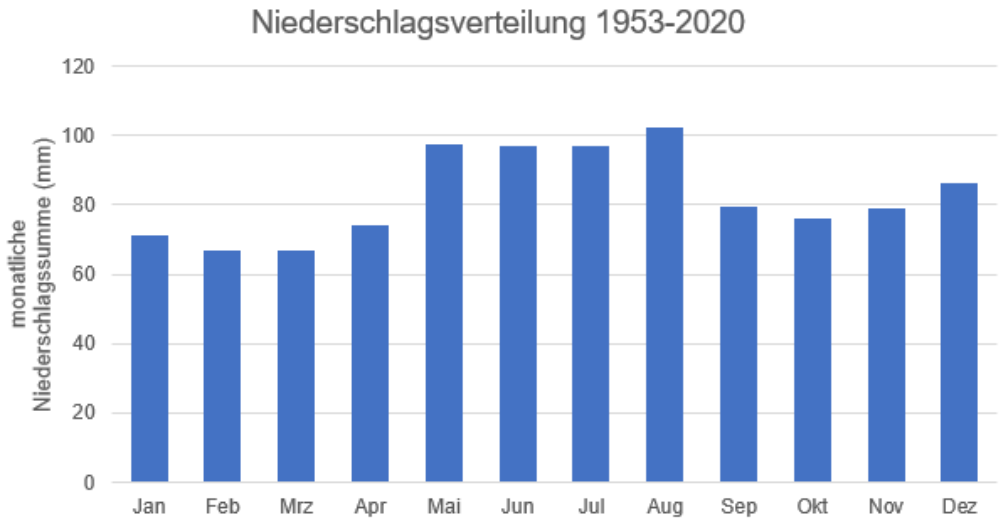

Abbildung 4-5: Mittlere monatliche Niederschlagsverteilung von 1953 – 2020 gemessen in Rheinfelden.

Diese Zunahme des Jahresniederschlags wird besonders in den Winter- und Frühjahrsmonaten für alle Szenarien erwartet (Abbildung 4-7). Hingegen zeigen die sommerlichen Niederschläge eine Abnahme um bis zu 7 % (RCP 8.5) zur Mitte des 21. Jahrhunderts und bis zu 14 % (RCP 8.5) bis zum Ende des 21. Jahrhunderts. Auch für die einzelnen Jahreszeiten ist die Prognose sehr ungenau, so dass zum Teil sogar die Tendenz (Zu- oder Abnahme) nicht eindeutig vorhergesagt werden kann.

Neben der Gesamtregenmenge ist auch die Entwicklung von Starkniederschlagsereignissen (z.B. kräftige Gewitter) von Bedeutung. Die Analyse zeigt eine Zunahme sowohl für die Anzahl solcher Starkniederschlagsereignisse als auch eine Zunahme der Regenmenge während dieser Ereignisse. Im Winterhalbjahr können 15 % – 25 % mehr Starkniederschläge im Raum Rheinfelden auftreten, im Sommerhalbjahr 5 % – 15 % (Abbildung 4-8).

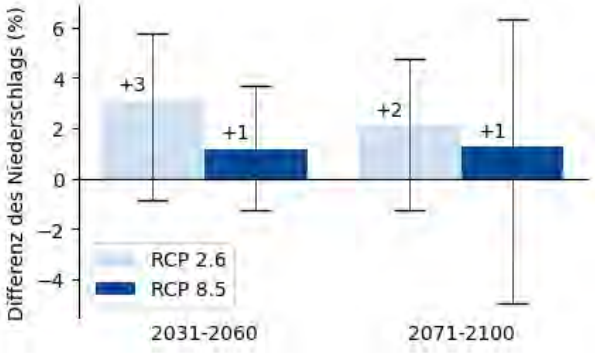

Abbildung 4-6: *Niederschlagsänderung in % bis Mitte und Ende des 21. Jahrhunderts gegenüber der Klimanormalperiode 1971 – 2000. Die Fehlerbalken stellen den Bereich zwischen dem 15. und 85. Perzentil dar. Der Median (50. Perzentil) wird als Zahl angegeben.*

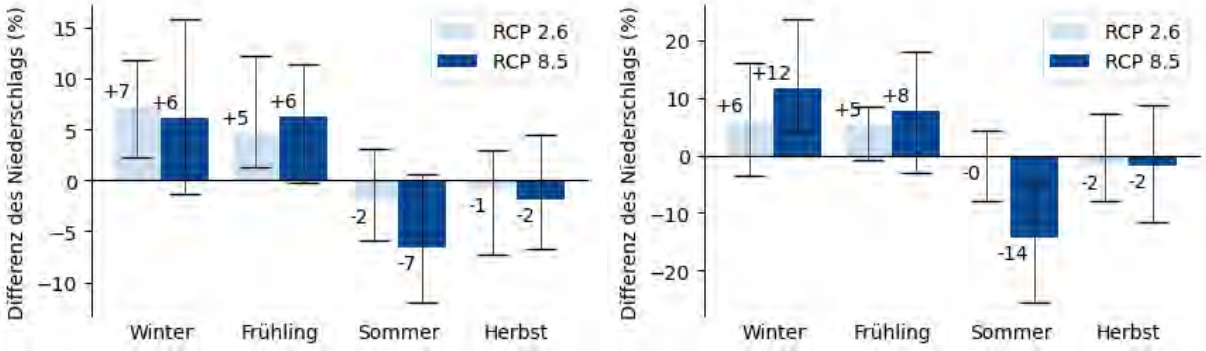

Abbildung 4-7: *Saisonale Niederschlagsänderung für den Zeitraum 2031 – 2060 (links) und den Zeitraum 2071 – 2100 (rechts) gegenüber der Klimanormalperiode 1971 – 2000. Die Fehlerbalken stellen den Bereich zwischen dem 15. und 85. Perzentil dar. Der Median (50. Perzentil) wird als Zahl angegeben.*

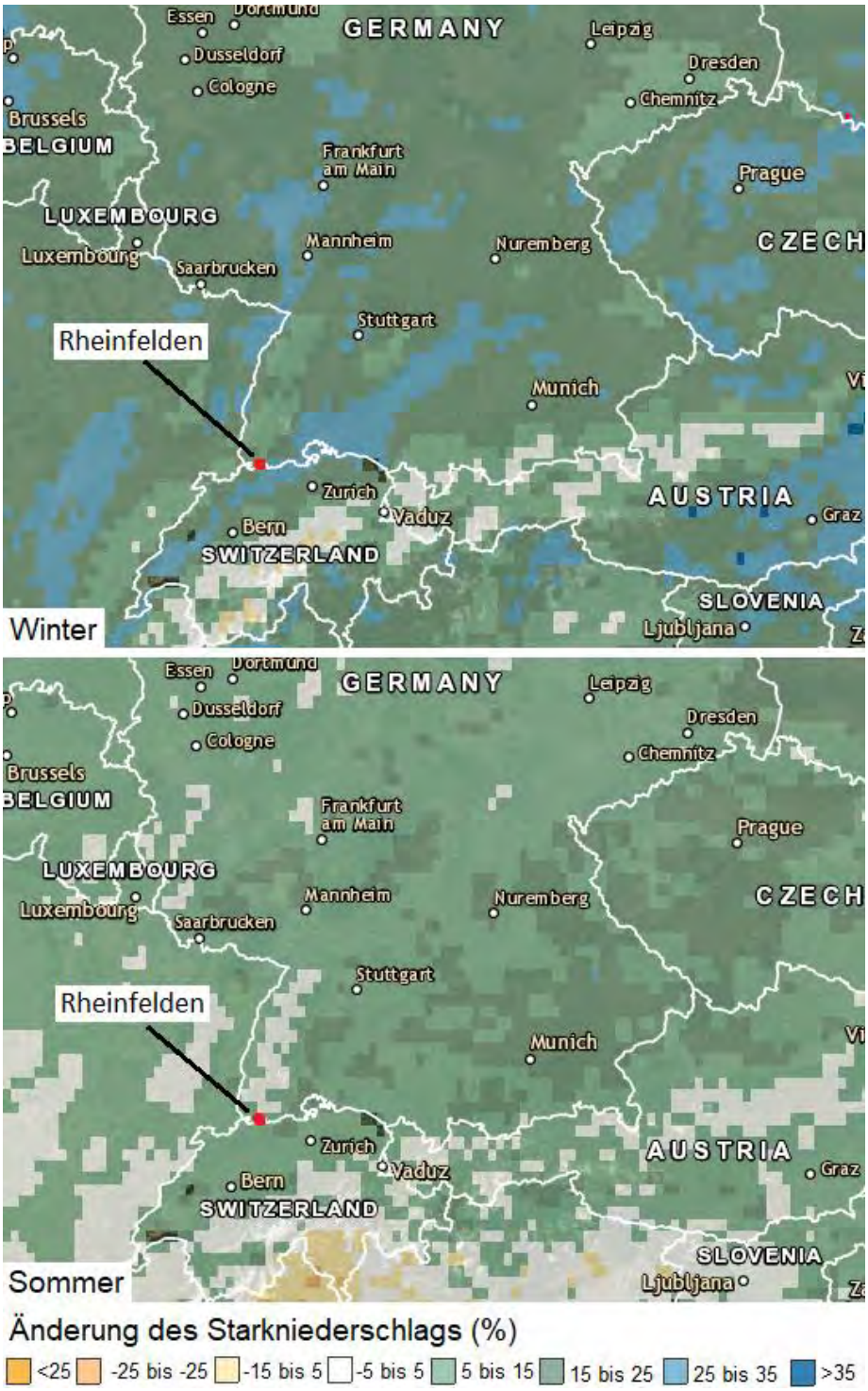

Abbildung 4-8: *Änderung des Starkniederschlags im Winter (oben) und Sommer (unten) im Zeitraum 2071 – 2100 im Vergleich zum aktuellen Klima (1971 – 2000) bei Betrachtung des RCP 8.5. Starkniederschlag wird definiert als 95. Perzentil der Intensität aller Regenereignisse (Quelle: Europäisches Umweltamt 2020[5]).*

[5] *https://experience.arcgis.com/experience/5f6596de6c4445a58aec956532b9813d*

4.4 Klimatologische Kenntage

In Tabelle 4-2 sind die klimatologischen Kenntage aufgeführt, die sowohl für den Zeitraum 1981 – 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 Rheinfelden. Hagelereignisse treten sehr lokal und selten auf und werden nur an wenigen Stationen gemessen (s. Kapitel 4.4.4). Die EURO-CORDEX Klimamodelldaten weisen keine Daten zu Hagelereignissen aus, wodurch es nicht möglich ist belastbare Aussagen zu diesem Thema zu treffen.

Tabelle 4-2: Definitionen der untersuchten klimatologischen Kenntage.

Klimatologischer Kenntag	Definition
Heißer Tag	$T_{a,max} \geq 30$ °C Das Maximum der Lufttemperatur liegt an diesem Tag bei 30 °C und mehr.
Sommertag	$T_{a,max} \geq 25$ °C Das Maximum der Lufttemperatur liegt an diesem Tag bei 25 °C und mehr.
Frosttag	$T_{a,min} < 0$ °C Das Minimum der Lufttemperatur liegt an diesem Tag unter dem Gefrierpunkt.
Hageltag	Tag, an dem Hagel unabhängig von der Korngröße auftritt.

4.4.1 Sommertage, heiße Tage 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[6].

Bis Mitte des 21. Jahrhunderts wird prognostiziert, dass die Anzahl der heißen Tage um etwa 9 Tage (RCP 2.6) bis 26 Tage (RCP 8.5) ansteigt (Abbildung 4-9). Im Vergleich dazu stieg die Anzahl heißer Tage im Zeitraum 2000 – 2019 um etwa 10 Tage gegenüber der Periode 1971 – 2000. Bis 2100 wird ein Anstieg von 12 (RCP 2.6) bis 67 Tagen (RCP 8.5) erwartet. Zu beachten ist hier auch die große Unsicherheit, welche durch die Variabilität in der Temperaturzunahme bedingt ist (vgl. Abbildung 4-4).

[6] www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html

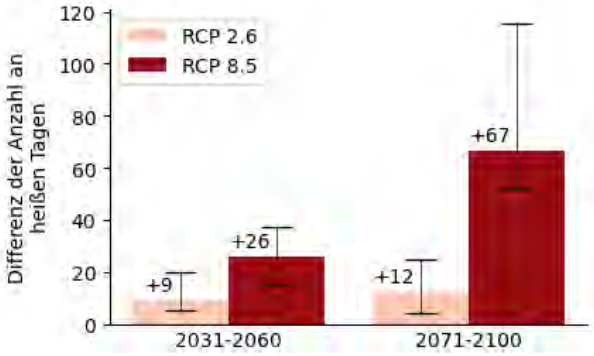

Abbildung 4-9: *Änderung der Anzahl an heißen Tagen bis Mitte und Ende des 21. Jahrhunderts gegenüber der Klimanormalperiode 1971 – 2000. Die Fehlerbalken stellen den Bereich zwischen dem 15. und 85. Perzentil dar. Der Median (50. Perzentil) wird als Zahl angegeben.*

Eine ähnliche Tendenz wie für die Anzahl an heißen Tagen lassen sich in Abbildung 4-10 auch für die Anzahl an Sommertagen erkennen. Bis Mitte des 21. Jahrhunderts könnte die Anzahl der Sommertage um etwa 21 Tage (RCP 2.6) bzw. 38 Tage (RCP 8.5) ansteigen. Bis 2100 könnten es letztlich etwa 19 Tage (RCP 2.6) bzw. 88 Tage (RCP 8.5) mehr sein als im Zeitraum 1971 – 2000.

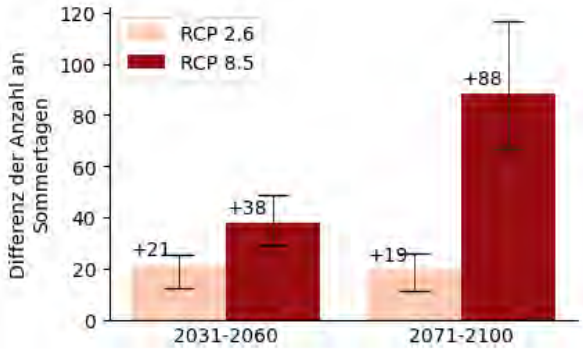

Abbildung 4-10: *Änderung der Anzahl an Sommertagen bis Mitte und Ende des 21. Jahrhunderts gegenüber der Klimanormalperiode 1971 – 2000. Die Fehlerbalken stellen den Bereich zwischen dem 15. und 85. Perzentil dar. Der Median (50. Perzentil) wird als Zahl angegeben.*

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. Bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts wird sich deren Anzahl um 10 Tage (RCP 2.6) bis 14 Tage (RCP 8.5) verringern. Bis zum Ende des Jahrhunderts sinkt die Anzahl um bis zu 26 Tage für RCP 8.5 während für RCP 2.6 eine Differenz von 9 Tagen im Vergleich zum Zeitraum 1971 – 2000 zu erwarten ist.

4.4.3 Gewittertage

Die Anzahl an Gewittertagen ist ein Indikator für Starkregenereignisse, da Gewitter häufig mit starken Regenfällen einhergehen. Laut einer Analyse der registrierten Blitze pro Tag von Anderson und Klugmann (2014, doi:10.5194/nhess-14-815-2014) werden in Rheinfelden jährlich zwischen 1 und 2,5 Blitze pro Tag beobachtet (siehe Abbildung 4-11). Das Maximum wird im Juni

und Juli erreicht mit 6 bis 10 Blitzen pro Tag. Die Blitzhäufigkeit ist damit vergleichbar mit der Häufigkeit in der Stadt Basel.

Laut MeteoSchweiz wurden in der Stadt Basel im Zeitraum 2006 bis 2016 im Schnitt 13 Gewittertage pro Jahr registriert, wobei Juni und Juli mit etwa 3 Gewittertagen die Gewitterreichsten Monate waren (siehe Abbildung 4-12). Diese Werte lassen sich durch die räumliche Nähe und gleiche Anzahl an registrierten Blitzen auf Rheinfelden übertragen.

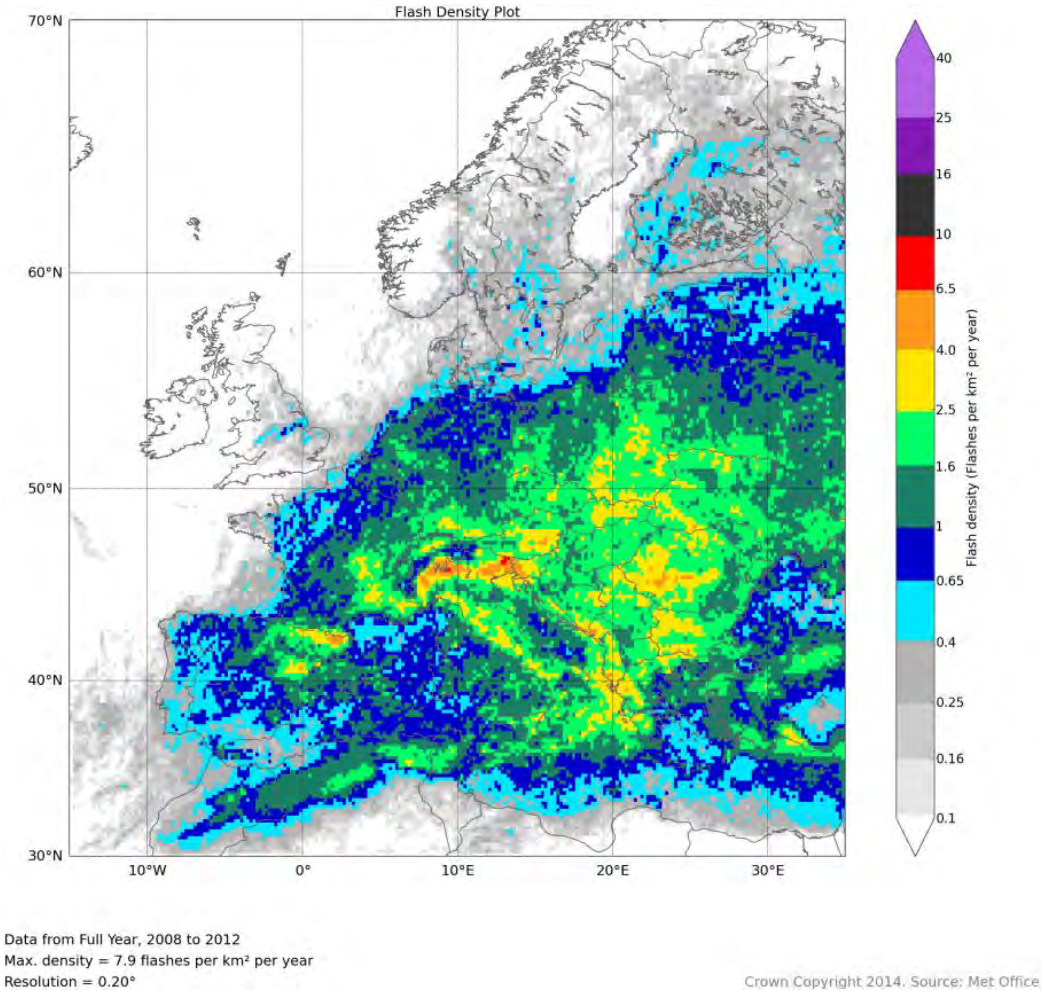

Abbildung 4-11: Anzahl Blitze (Wolken-Bodenblitze) pro Jahr und Quadratkilometer in Europa. Zeitraum 2008 – 2012 (Anderson und Klugmann, 2014, doi:10.5194/nhess-14-815-2014).

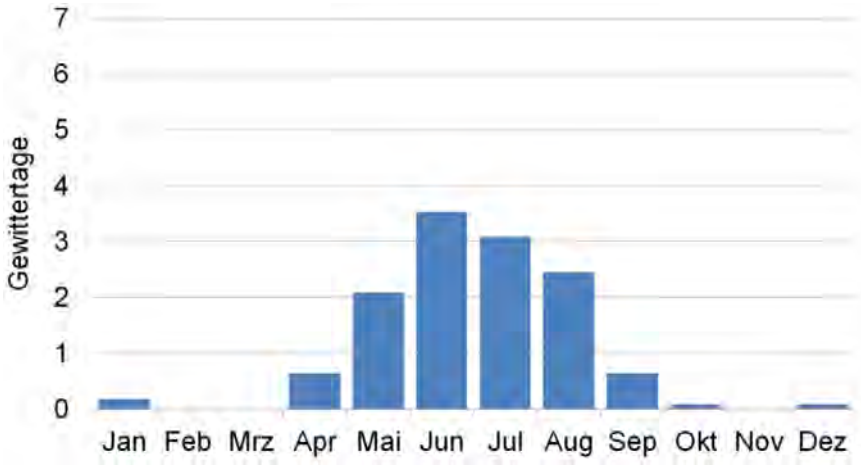

Abbildung 4-12: Monatliche Anzahl an Gewittertagen in Basel (Quelle: MeteoSchweiz[7])

4.4.4 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[8] 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.[9]

Vom DWD wurden die Hagelbeobachtungen von 10 Stationen für eine Statistik der mittleren jährlichen Anzahl an Hageltagen in Tabelle 4-3 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 4-3: 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

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

[7] https://www.meteoschweiz.admin.ch/home/wetter/wetterbegriffe/gewitter/gewitter-und-blitzhaeufigkeit-in-der-schweiz.html, *abgerufen am 06.07.2020*
[8] *Tage, an denen Hagel unabhängig von der Größe auftritt*
[9] https://www.dwd.de/DE/leistungen/unwetterklima/hagel/hagel_node.html

Stationen	Höhe über NN (m)	Mittlere jährliche Anzahl der Tage mit Hagel
Helgoland	4	0,7
Kap Arkona	42	0,9
BROCKEN	1134	2,0
WASSERKUPPE	921	2,0
FELDBERG (Schwarzwald)	1490	4,6
ZUGSPITZE	2964	3,8

Für Rheinfelden ist somit als Ort in Südwestdeutschland mit einer Hagelwahrscheinlichkeit von ca. 2 Hageltagen pro Jahr auszugehen, wobei eine jahreszeitliche Variabilität zu berücksichtigen ist (vgl. Abbildung 4-13). 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 Rheinfelden aus (Abbildung 4-15)[10].

Hagelkörner mit einem Durchmesser von über 3 cm treten alle 50 Jahre auf (Abbildung 4-14). Aufgrund der räumlichen Nähe ist daher in der Region Rheinfelden mit ähnlichen Statistiken zu rechnen.

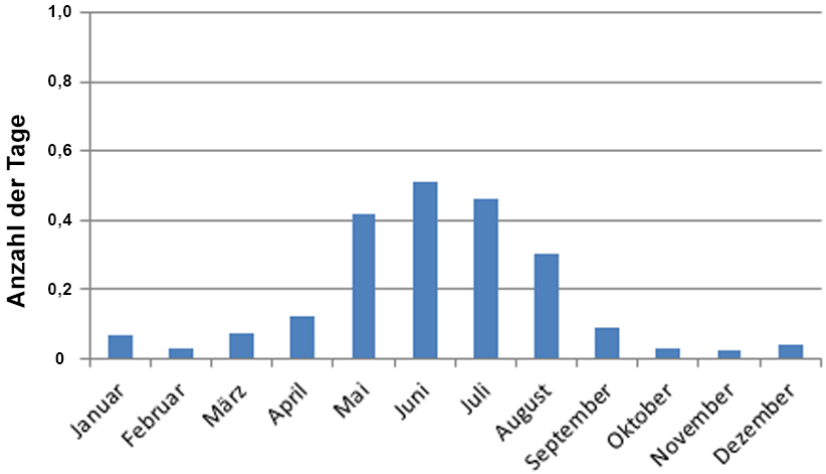

Abbildung 4-13: Mittlere Anzahl an Hageltagen pro Monat für die Klimanormalperiode 1981 – 2010. Als Datengrundlage wurden die oberen 10 Stationen ohne Inselstationen verwendet.[11]

[10] *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.*

[11] https://www.dwd.de/DE/leistungen/unwetterklima/hagel/hagel_node.html

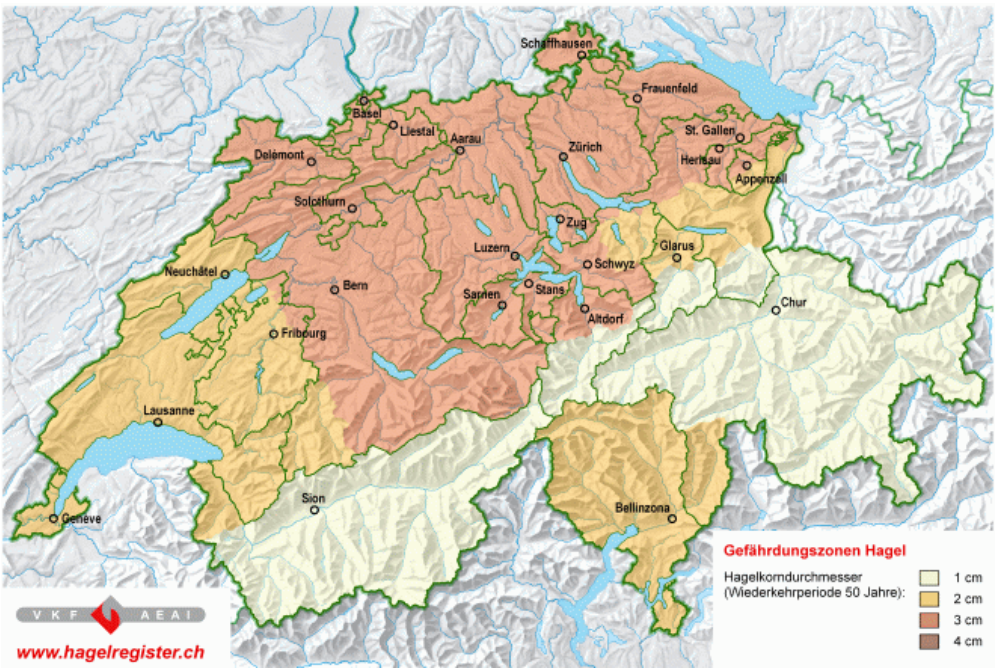

Abbildung 4-14: Hagelgefährdung in der Schweiz: Hageldurchmesser bei einer Wiederkehrperiode von 50 Jahren (Quelle: www.Hagelregister.ch).

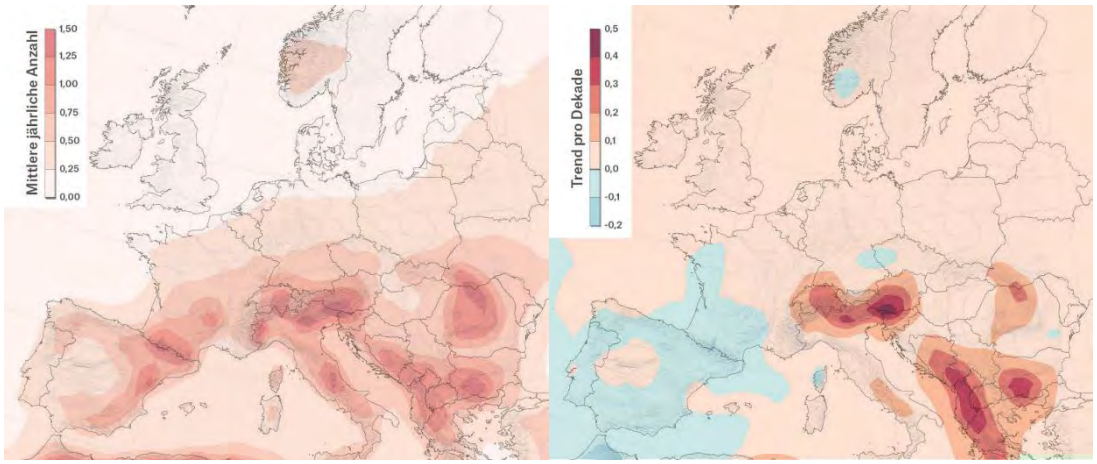

Abbildung 4-15: Mittlere jährliche Anzahl an Hagelereignissen (links) und der Trend pro Dekade in den 37 Jahren von 1979 – 2015 (rechts) (Quelle: Münchner Rückversicherung 2019 [12])

Klimawandel

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 Ha-

[12] *www.munichre.com/topics-online/de/climate-change-and-natural-disasters/climate-change/hail.html*

gelpotenzial, abgeleitet aus Stabilitätsmaßen und Großwetterlagen ist in Baden-Württemberg angestiegen (Brasseur et al. 2017). Die Münchner Rückversicherung weist einen Trend von +0,1 bis +0,2 Hageltagen pro Jahr im Raum Rheinfelden aus (Abbildung 4-15). Im 21. Jahrhundert könnte die Anzahl an Hageltagen im Raum Rheinfelden weiter zunehmen (Brasseur et al. 2017).

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 4-15). 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 4-16 zeigt beispielhaft typische Schadensbilder in Abhängigkeit zur Hagelgröße.

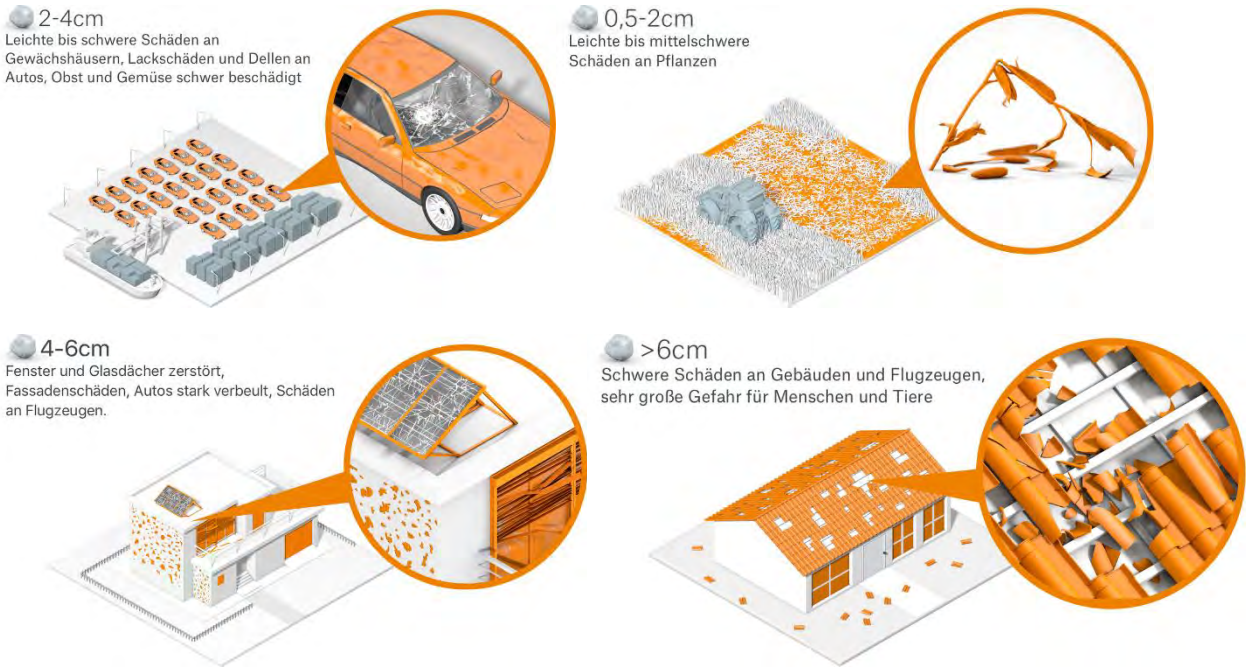

Abbildung 4-16: Verschiedene Hagelgrößen und Schadenbilder (Quelle: Münchner Rückversicherung 2019)

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 4-17 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.

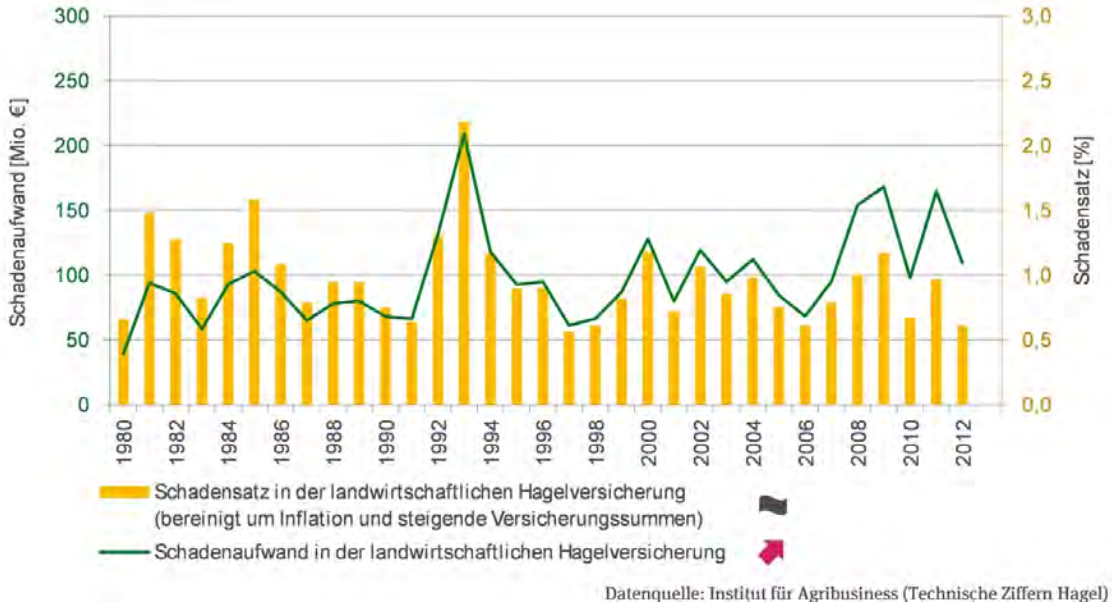

Abbildung 4-17: Schadenaufwand und Schadensatz in der landwirtschaftlichen Hagelversicherung (Quelle: UBA https://www.umweltbundesamt.de/lw-i-4-das-indikator#textpart-1)

5 Auswirkungen des Klimawandels

Auf die Auswirkungen und Maßnahmen für unterschiedliche Akteure wird in der Klimaanpassungsstrategie näher eingegangen. Hier sollen als Übersicht die klimatologischen Aspekte beleuchtet werden. Eine Übersicht über die betroffenen Bereiche findet sich auf der Webseite des Umweltbundesamts[13].

In Tabelle 5-1 sind die potenziellen Änderungen der meteorologischen Größen dargestellt. Welche Auswirkungen sich auf die betroffenen Bereiche ergeben, ist in den anschließenden Kapiteln aufgeführt.

Tabelle 5-1: Veränderung meteorologischer Größen im Laufe des 21. Jahrhunderts.

Meteorologische Größe	**Erwartete Änderung im 21. Jahrhundert**
Lufttemperatur	EURO-CORDEX_Daten: +1,1 K bis +1,9 K (Mitte des Jhd.) +1,1 K bis +4,2 K (Ende des Jhd.)
Niederschlag	EURO-CORDEX-Daten: +1 % bis +3 % (Mitte des Jhd.) +1 % bis +2 % (Ende des Jhd.) Innerhalb dieser Trends muss jedoch 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 % bis +7 % Winter (Mitte des Jhd.) +6 % bis +12 % Winter (Ende des Jhd.) +5 % bis +6 % Frühling (Mitte des Jhd.) +5 % bis +8 % Frühling (Ende des Jhd.) -2 % bis -7 % Sommer (Mitte des Jhd.) 0 % bis -14 % Sommer (Ende des Jhd.) keine klare Tendenz im Herbst, eher sinkend
Starkwind	Zunahme
Starkregen-Ereignisse	EURO-CORDEX-Daten: steigende Tendenz sowohl für Winter (15 % – 25 %) als auch für Sommer (5 % – 15 %)
Hagel	Münchner Rückversicherung: +0,1 bis +0,2 Hageltage (Mitte des Jhd.)
Trockenheit	Sommerlicher Rückgang von Niederschlägen

5.1 Tourismus

Für den Bereich Lebensqualität, menschliche Gesundheit und Tourismus sind aus klimatischer Sicht human-biometeorologische Bedingungen ausschlaggebend.

[13] https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/werkzeuge-der-anpassung/klimalotse/uebersicht-betroffenheiten

Für den Städtetourismus sind thermisch komfortable oder leicht kühle Bedingungen förderlich. Eine geringe Niederschlagsmenge und -häufigkeit ist von Vorteil. In Tabelle 5-2 werden die für den Tourismus relevanten Größen zusammengefasst.

Tabelle 5-2: Für den Tourismus relevante Auswirkungen.

Phänomen	**Bedeutung für den Tourismus**
Lufttemperatur	Temperaturanstieg positiv für Outdoorsportler (Wanderer, Fahrradfahrer) auch in Bezug auf eine Verlängerung der Saison. Temperaturanstieg für Städtetourismus im Sommer eher von Nachteil, im Frühjahr und Herbst jedoch überwiegend positiv.
Niederschlagsmenge	Geringere sommerliche Niederschläge sind für Outdoor- und Städtetourismus von Vorteil.

5.2 Landwirtschaft

Für die Landwirtschaft sind neben einem Anstieg der Lufttemperatur und einer Veränderung des Niederschlagsregimes insbesondere Starkniederschläge und Trockenheit, Hagelschläge sowie Spätfröste von Bedeutung. Die LUBW hat in ihrer Infobroschüre „Klimawandel in Baden-Württemberg“ verschiedene landwirtschaftliche Produkte unter Einfluss der klimatischen Veränderungen untersucht (http://www4.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/67972/). In Tabelle 5-3 sind die Auswirkungen zusammengefasst.

Tabelle 5-3: Für die Landwirtschaft relevante Auswirkungen.

Phänomen	**Bedeutung für die Landwirtschaft**
Niederschlag	Frühjährliche Niederschläge steigern die Infektionsgefahr durch Pilzsporen bei Obstbäumen. Anpassung von Sorten an Niederschlagsregime ist notwendig, möglicherweise auch intensivere Bewässerung. Sommerliche Trockenheit kann zu Ernteeinbußen führen und in Verbindung mit hohen Temperaturen den Schädlingsbefall verstärken.
Starkwind	Sturmschäden in Wäldern und an Einzelbäumen. Ertragseinbußen z.B. bei Getreide.
Starkniederschläge	Bodenerosion. Einbußen durch Hochwasser.
Hagel	Ernteausfälle oder Ertragseinbußen.
Spätfrost	Anpassen von Termin der Aussaat nötig.
Trockenheit	Verstärkte Erosion und schlechtere Versickerung durch Austrocknung von Böden. Ertragseinbußen bei längerer Trockenheit oder in empfindlichen Kulturen. Erhöhte Gefahr von Schädlingsbefall, auch durch neue Schädlinge.

5.3 Forstwirtschaft

Auch in der Forstwirtschaft sind Gefahren durch den Klimawandel vorhanden (Tabelle 5-4). Trockenheit, Temperaturanstieg und Stürme stellen mit die wichtigsten Phänomene dar.

Tabelle 5-4: Auswirkungen auf die Forstwirtschaft.

Phänomen	Bedeutung für die Forstwirtschaft
Trockenheit	Erhöhte Waldbrandgefahr. Desertifikation landwirtschaftlicher Nutzflächen und Lebensräume.
Stürme	Erhöhte Holzbruchgefahr.
Temperaturanstieg, Niederschlag	Veränderung der Baumartenzusammensetzung aufgrund von Witterungsschäden und der Standortbedingungen (Klimawandel). Stärkerer Insektenbefall: warme Winter fördern eine stärkere Vermehrung von Insekten. Zunehmender Pilzbefall, da Pilze durch Wärme und Feuchtigkeit in ihrer Vermehrung gefördert werden. Ausbreitung invasiver Arten.

5.4 Wasserwirtschaft und Wasserversorgung

Temperaturanstieg, Trockenheit und vor allen extreme Niederschlagsereignisse haben Auswirkungen auf die Wasserwirtschaft.

Tabelle 5-5: Auswirkungen auf die Wasserwirtschaft.

Phänomen	Bedeutung für die Wasserwirtschaft
Starkniederschlag	Überlastung der Infrastrukturen, insbesondere der Abwasserkanalisation. Hochwassergefahren in versiegelten Bereichen.
Temperaturanstieg, Niederschlag	Verschlechterung der Wasserqualität durch stärkere Aufkonzentrierung eingeleiteter Schadstoffe.
Trockenheit	Verminderte Wasserverfügbarkeit aus Oberflächengewässern. Absinken des Grundwasserspiegels durch fehlende Grundwasserneubildung.

5.5 Industrie

Im Raum Rheinfelden spielen Gewerbe und Industrie eine wichtige Rolle. Eine Beeinträchtigung der Produktion ist durch unterschiedliche Phänomene möglich. Wichtig ist die Absicherung gegen Freisetzung von gefährdenden Stoffen bei Starkniederschlagsereignissen.

Tabelle 5-6: Auswirkungen auf die Gewerbe und Industrie.

Phänomen	Bedeutung für die Industrie
Hitze	Verringerte Leistungsfähigkeit der Beschäftigten. Erhöhter Energieverbrauch für Kühlung in der Produktion und bei der Lagerung.
Trockenheit	Beeinträchtigung der Produktion durch Wasserknappheit.
Starkniederschlag	Mögliche Freisetzung von gefährdenden Stoffen durch Überflutung von Anlagen und Lagern.
Extremereignisse	Schäden an gewerblicher und industrieller Infrastruktur. Beeinträchtigung der Logistik durch Hochwasser oder anderer witterungsbedingter Verkehrsbeeinträchtigungen.

5.6 Verkehr und Transport

Um Verkehr und Transport aufrechtzuerhalten, sind gefährdete Bereiche zu lokalisieren und ggf. Notfallpläne zu erarbeiten. Klima- bzw. wetterbedingte Beeinträchtigungen des Verkehrs und des Transports sind in Tabelle 5-7 aufgeführt.

Tabelle 5-7: Auswirkungen auf Verkehr und Transport.

Phänomen	Bedeutung für Verkehr und Transport
Hitze	Schäden an Straßen, Schienen und Startbahnen. Konzentrationsfähigkeit von Fahrzeuglenkern.
Trockenheit	Beeinträchtigung der Rheinschifffahrt bei Niedrigwasser.
Starkniederschlag	Überschwemmung oder Unterspülung von Verkehrswegen. Kontrollverlust über Fahrzeuge bei Starkniederschlag.
Extremereignisse	Sturmschäden an Brücken und Verkehrsleitsystemen.

5.7 Naturschutz

Der Klimawandel wird auch die Biodiversität beeinträchtigen. Einige Arten werden verdrängt, andere Arten werden heimisch, da sie an die sich ändernden Bedingungen angepasst sind.

Tabelle 5-8: Auswirkungen auf den Naturschutz.

Phänomen	Bedeutung für den Naturschutz
Anstieg der Jahres-temperaturen	Verdrängung von Arten. Artensterben infolge zu schnellen Temperaturanstiegs. Anpassung bei mehr als 0,2 °C/Dekade bei höheren Lebewesen erschwert.
Trockenheit	Verschlechterung der Wasserqualität von Oberflächengewässern u.a. durch Sauerstoffzehrung. Austrocknen von Feuchtbiotopen. Beeinträchtigung der Biodiversität.
Starkniederschlag	Beeinträchtigung der Biodiversität.

6 Vorgehensweise

Für die Stadtklimaanalyse Rheinfelden sind umfangreiche Modellierungen und Analysen durchgeführt worden. In Abbildung 6-1 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, …) explizit aufgelöst werden, die wesentliche Rolle.

Um die Strömungsverhältnisse der Mesoskala – insbesondere Kaltluftabflüsse – zu modellieren, müssen großräumige Gelände- und Nutzungsstrukturen berücksichtigt werden, so dass die wesentlichen Kaltlufteinzugsbereiche erfasst werden. Das Relief ist für die Strömungslenkung und den Antrieb der Strömung wichtig. 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 bestimmt das bodennahe Fließverhalten.

Zur Bestimmung kleinräumiger stark variierender Größen der Mikroskala wie z.B. der Physiologischen Äquivalenttemperatur (PET) bedarf es der Berücksichtigung der Einzelhindernisse. Nur dann kann berechnet werden, ob 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 durchgeführt. 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 Klimafunktions- und Planungshinweiskarte entsprechen einer Zusammenstellung sämtlicher Simulationsergebnisse und sind folglich das finale Resultat der Klimaanalyse.

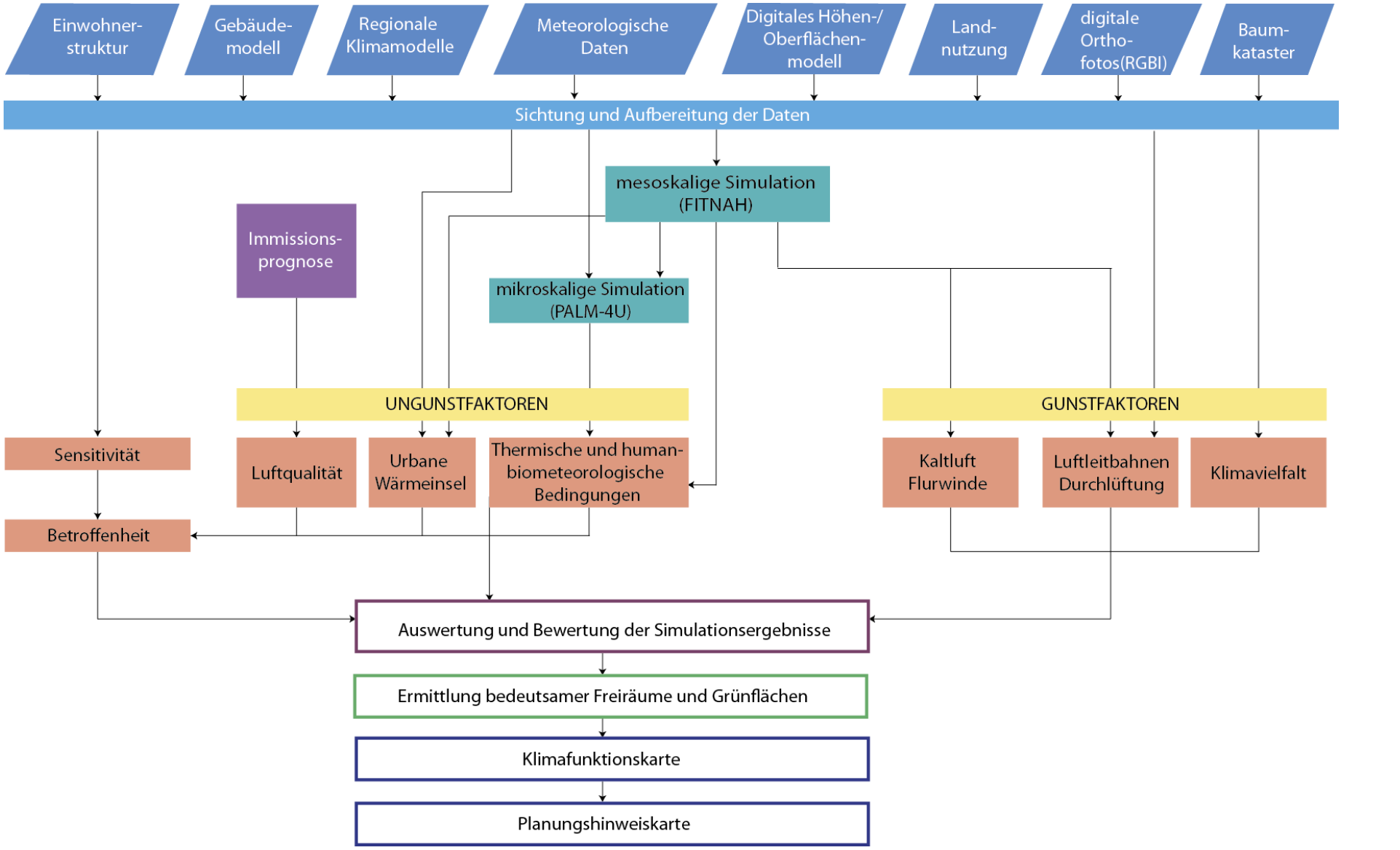

Abbildung 6-1: Vorgehensweise für die Stadtklimaanalyse Rheinfelden.

7 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. Zusammen mit der Immissionsprognose zur Berechnung der Stickstoffdioxid- und Feinstaubbelastung 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 A1.2.4), sodass letztlich die Auswertung und Bewertung in Form von Klimafunktions- und Planungshinweiskarten erfolgen kann.

Eine Übersicht der verwendeten Daten und Methoden ist in Abbildung 6-1 dargestellt. Eine ausführliche Beschreibung der Methodik finden Sie im Anhang A1.

7.1 Daten

7.1.1 Topographie

Für die meso- und mikroskaligen Simulationen wird ein digitales Geländemodell (vgl. Abbildung 3-1) benötigt, welches auch die weiträumige Umgebung von Rheinfelden beinhaltet.

Dazu wurde das Geländemodell der Stadt Rheinfelden in das Höhenmodell SRTM[14] in einer Auflösung von etwa 30 m x 30 m (1 Bogensekunde) integriert (siehe Tabelle 7-1). Das digitale Oberflächen- und Geländemodell (DOM bzw. DGM) wurde aus den Punktewolken der Laserscandaten berechnet.

Tabelle 7-1: Räumliche Daten für die Klimaanalyse Rheinfelden.

Daten	Auflösung	Bereitgestellt durch
Digitales Geländemodell (DGM)	Laserscandaten	Stadt Rheinfelden (Mai 2020)
Digitales Oberflächenmodell (DOM)		
Digitales Höhenmodell SRTM V 4.1	1 Bogensekunde	Jarvis et al. 2008, earthexplorer.usgs.gov/

7.1.2 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 kurzwelligen Strahlung verschieden umgesetzt. Die klimarelevante Oberflächenbeschaffenheit nimmt bei Flächen mit ähnlichen Landnutzungsstrukturen gleiche Werte an.

Zur Definition von Landnutzungsstrukturen aus klimatischer Sicht (siehe Tabelle A1-14-1) wurden die vorhandenen Landnutzungsdaten aus dem Flächennutzungsplan (Abbildung 7-1) und weiteren Landnutzungsdaten (siehe Tabelle 7-2) eingeordnet. Die der Stadtklimaanalyse zugrundelie-

[14] *STS-99* Shuttle Radar Topography Mission.

genden Datensätze wurden dem AN im Sommer 2019 übergeben. Änderungen der Flächennutzung und/oder Gebäude, die sich damals in Planung oder im Bau befanden, waren noch nicht vollständig in diese Datensätzen integriert (z.B. Gewerbehalle Cäsar-Stünzi-Straße ("Mannihalle"), Feuerwache Römerstraße).

Tabelle 7-2: Räumliche Daten für die Stadtklimaanalyse Rheinfelden.

Daten	**Auflösung/ Datenformat**	**Bereitgestellt durch**
DOP (Digitales Orthofoto (RGBI))	0,2 m x 0,2 m	Befliegung am 04.07.2016
ALKIS	dxf	Stadt Rheinfelden (Mai 2019)
CORINE (Coordination of Information on the Environment) Land Cover	100 m x 100 m	European Environment Agency (EEA) 2012
Flächennutzungsplan (Stadt Rheinfelden) 17-01-24	shp	Stadt Rheinfelden (Mai 2019)
Einwohner	shp	Stand: 24.05.2019
Baumkataster		Stand: 02.02.2020

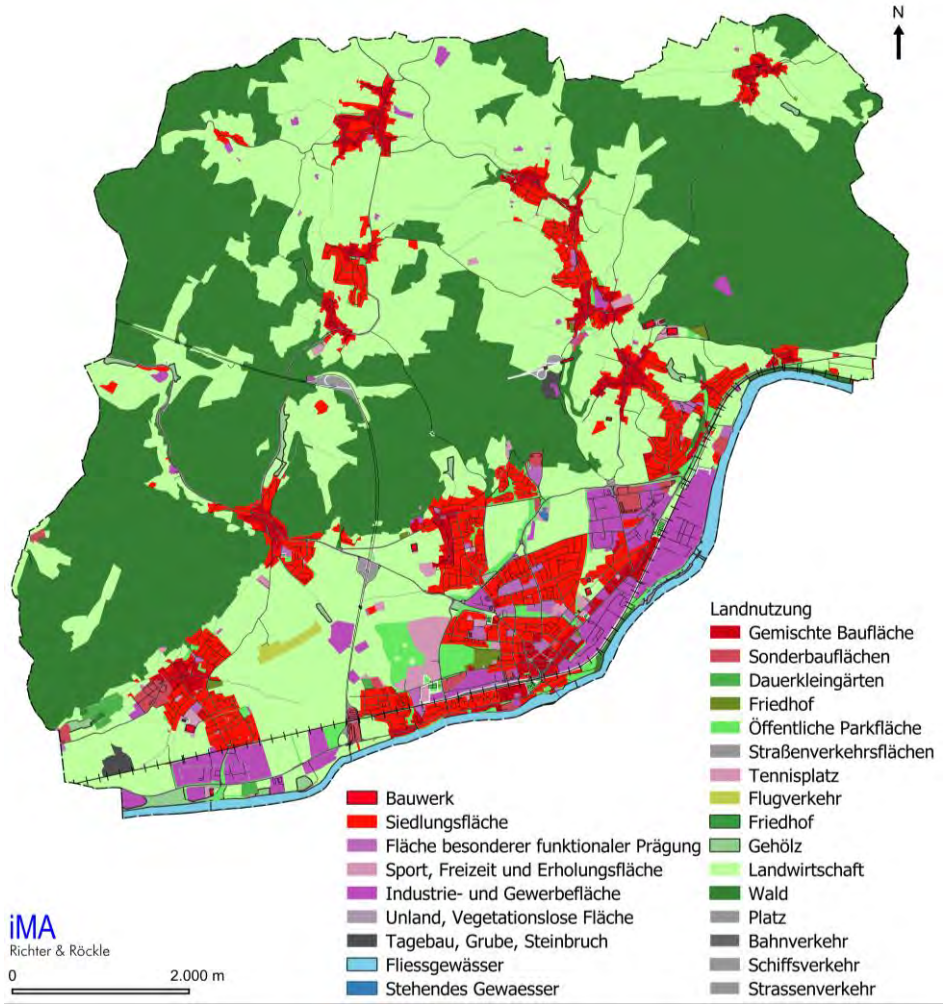

Abbildung 7-1: Aktuelle Landnutzung von Rheinfelden.

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

7.1.3 Messdaten und Klimadaten

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

Tabelle 7-3: Messdaten und weitere klimatologische Daten.

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

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 Rheinfelden wurden die Ergebnisse der 16 Regionalen Klimamodelle aus dem EURO-CORDEX-Projekt (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 4.5 (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 und mit RCP 4.5 das niedrigere der beiden mittleren Szenarien. 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 nicht realistisch einzuschätzen ist.

7.2 Methoden

7.2.1 Mesoskalige Simulation mit FITNAH

Die mesoskaligen Simulationen der meteorlogischen Größen (z.B. Lufttemperatur, Windrichtung und -geschwindigkeit) wurden mit dem Modell FITNAH angefertigt. Die räumliche Auflösung des FITNAH-Rechengebietes für die Stadtklimaanalyse Rheinfelden beträgt horizontal 50 m x 50 m. Eine Beschreibung des Models 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 17:00 Uhr bodennah im Mittel 29 °C,
- relative Feuchte 20 %,
- kein übergeordneter geostrophischer Wind,
- wolkenloser Himmel.

Die Ergebnisse der Simulation repräsentieren damit typische hochsommerliche Verhältnisse.

Um Einflüsse von Höhenzügen und kaltluftrelevanten Geländeformationen zu berücksichtigen, wird das Berechnungsgebiet (72 km x 79 km) entsprechend groß gewählt. Darin enthalten sind Teile des Südschwarzwaldes, des Juras und des Schweizer Mittellands.

Das Modell rechnet kontinuierlich 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 (Sonnenhöchststand 12:00 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.

7.2.2 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 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 Detailgrad im Modell PALM-4U erlaubt eine hohe Nähe zur Realität da sowohl kleine Strukturen wie einzelne Bäume sowie ganze Stadtbezirke betrachtet werden und somit die Interaktion zwischen mikroskaligen (z.B. Umströmung einzelner Gebäude) und makroskaligen Prozessen (z.B. städtische Wärmeinsel) realistisch abgebildet werden.

PALM-4U wurde in der Vergangenheit bereits mehrfach erfolgreich im Bereich der Stadtklimaforschung 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. Das Modellgebiet erstreckt sich über eine Fläche von ca. 4,6 km x 3,6 km bei einer räumlichen Auflösung von 5 m x 5 m.

7.2.3 Human-Biometeorologie

Thermische Indizes, wie die Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET, Mayer und Höppe, 1987), berücksichtigen den integralen Effekt der meteorologischen Größen Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit sowie der Strahlungsflüsse auf die menschliche Energiebilanz (siehe Abbildung 7-2).

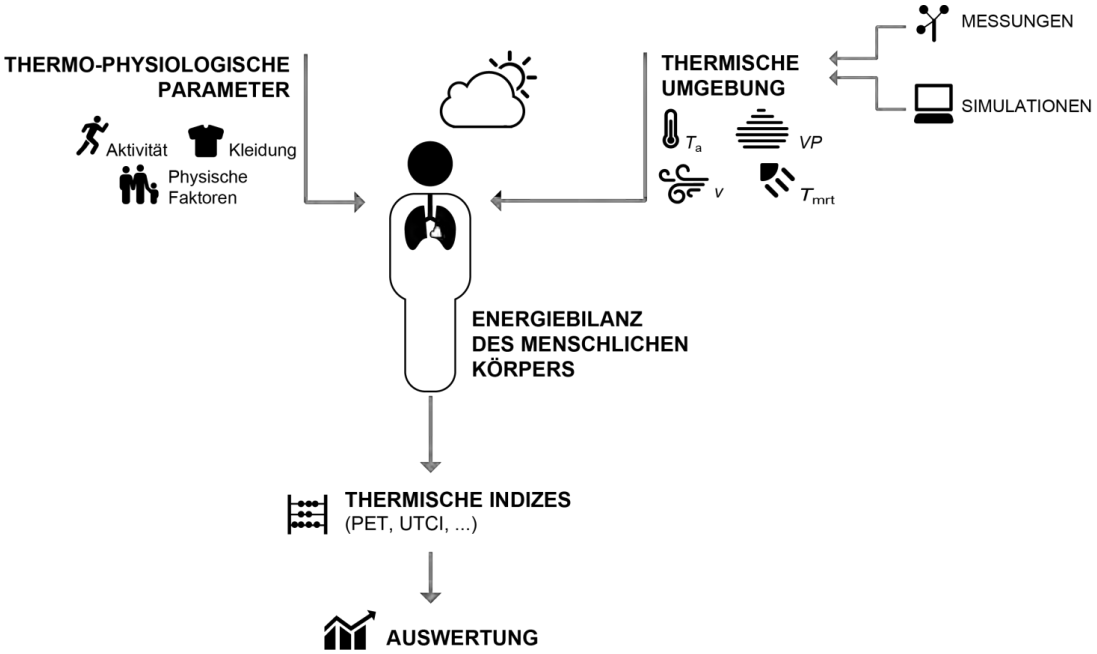

Abbildung 7-2: Fließdiagramm zur Veranschaulichung der Berechnung thermischer Indizes.

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 7-4).

Tabelle 7-4: 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

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.

8 Ergebnisse der Simulationen

Im Folgenden werden die Ergebnisse der untersuchten Faktoren diskutiert. Diese sind im Flussdiagramm (Abbildung 6-1) durch rote Kästen markiert.

8.1 Luftqualität

8.1.1 Grundlagen

Lufthygienisch belastete Siedlungsgebiete werden über die räumliche Darstellung der Luftqualität ermittelt. Dazu wurden flächendeckende Immissionsprognosen für Stickstoffdioxid (NO_2) und Feinstaub (PM10, PM2,5) unter Berücksichtigung des Kraftfahrzeugverkehrs in der Stadt Rheinfelden angefertigt. Wesentliche Quelle für die bodennahen Luftschadstoffkonzentrationen ist der Kraftfahrzeugverkehr. Zudem wurden die Emissionen von Hausbrand, Gewerbe und Industrie sowie die generelle Hintergrundbelastung in Form einer einheitlichen Vorbelastung angesetzt.

NO_2 gilt als typisch verkehrsbedingte Luftverunreinigung, bei der sowohl die mittlere Belastung als auch Spitzenwerte als toxisch relevant angesehen werden können.

PM10 ist als Staub definiert, der einen Abscheider passiert, der Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser von 10 µm zu 50 % zurückhält. Es handelt sich somit um Feinstaub. Der aerodynamische Teilchendurchmesser der unmittelbar vom Motor emittierten Partikel liegt unter 1 µm. Abhängig von der Intensität der Belastung kann die Einwirkung von Feinstaub zu einer Irritation der Bronchialschleimhaut führen. Chronische Staubbelastungen können zu chronischer Bronchitis sowie zu Lungenfunktionsveränderungen führen. Verkehrsbedingter Schwebstaub enthält lufthygienisch relevante Stoffe, z.B. Rußpartikel, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe und Schwermetalle. Eingeatmeter Staub, im Wesentlichen Schwebstaub, enthält sowohl nicht-lungengängige Anteile (Grobstaub) als auch lungengängige Anteile (Feinstaub).

PM2,5 sind – analog zu PM10 – Partikel, die einen größenselektierenden Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser von 2,5 µm einen Abscheidegrad von 50% aufweist. PM2,5 ist somit eine Teilmenge von PM10. Diese Korngrößen sind alveolengängig.

Die Konzentrationen weiterer Luftverunreinigungen aus dem Verkehrsbereich, wie z.B. Benzol, Blei, Kohlenmonoxid (CO) und Schwefeldioxid (SO_2), liegen heute aufgrund der bereits ergriffenen Luftreinhaltemaßnahmen deutlich unterhalb gesundheitsbezogener Grenz- und Richtwerte. Sie werden daher nicht weiter betrachtet. Für Ruß sind keine Immissionswerte festgelegt. Die Beurteilung geschieht über PM10-Staub, der die Rußfraktion beinhaltet.

Zur Beurteilung der Schadstoffkonzentrationen werden die Grenzwerte der 39. BImSchV herangezogen. Die 39. BImSchV dient der Umsetzung der Richtlinie 2008/50/EG in deutsches Recht. Ziel ist es, schädliche Auswirkungen von Luftschadstoffen auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt zu vermeiden oder zu verringern.

In der 39. BImSchV werden Grenzwerte für folgende Immissionskenngrößen definiert:

- Kalenderjahresmittelwerte
- Überschreitungshäufigkeiten von vorgegebenen Konzentrationsschwellen für Stundenmittelwerte
- Überschreitungshäufigkeiten von vorgegebenen Konzentrationsschwellen für Tagesmittelwerte

Tabelle 8-1 enthält eine Zusammenstellung der wichtigsten Immissionsbeurteilungswerte mit entsprechender Definition und Literaturangabe.

Tabelle 8-1: Zusammenstellung der Grenzwerte der 39. BImSchV zum Schutz vor Gesundheitsgefahren

Schadstoff	Konzentrationswert	Statistische Definition
NO_2	40 µg/m³	Jahresmittelwert
	200 µg/m³	Schwelle, die von maximal 18 Stundenmittelwerten pro Jahr überschritten werden darf
PM10	40 µg/m³	Jahresmittelwert
	50 µg/m³	Mittelwert über 24 Stunden, der nicht öfter als 35-mal im Jahr überschritten werden darf
PM2,5	25 µg/m³	Jahresmittelwert

8.1.2 Kfz-bedingte Emissionen

Die Emissionsmodellierung erfolgt auf der Basis des im August 2019 aktualisierten Handbuchs für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA Version 4.1). Die Datenbank beinhaltet spezifische Emissionsfaktoren für unterschiedliche Fahrzeugkategorien (Pkw, leichte Nutzfahrzeuge (LNf), schwere Nutzfahrzeuge (SNf), Busse und Krafträder) und unterschiedliche Bezugsjahre (1990 bis 2030).

Als Eingangsdaten zur Emissionsberechnung dienen:

- das Verkehrsaufkommen (Abbildung 8-1),
- Zusammensetzung der Fahrzeugflotte und deren Fahrleistung,
- Straßentypus,
- Verkehrsqualität (freier Verkehr; dichter Verkehr; gesättigter Verkehr; Stop+Go),
- Kaltstartanteil,
- Klimaanalagen,
- Aufwirbelung und Abrieb bei den Stäuben (Schneider et al. 2006, EEA (EMEP) 2016).

PM2,5 wird im Weiteren nicht mehr betrachtet, da Überschreitungen der Grenzwerte erst auftreten, wenn auch Überschreitungen bei PM10 vorkommen.

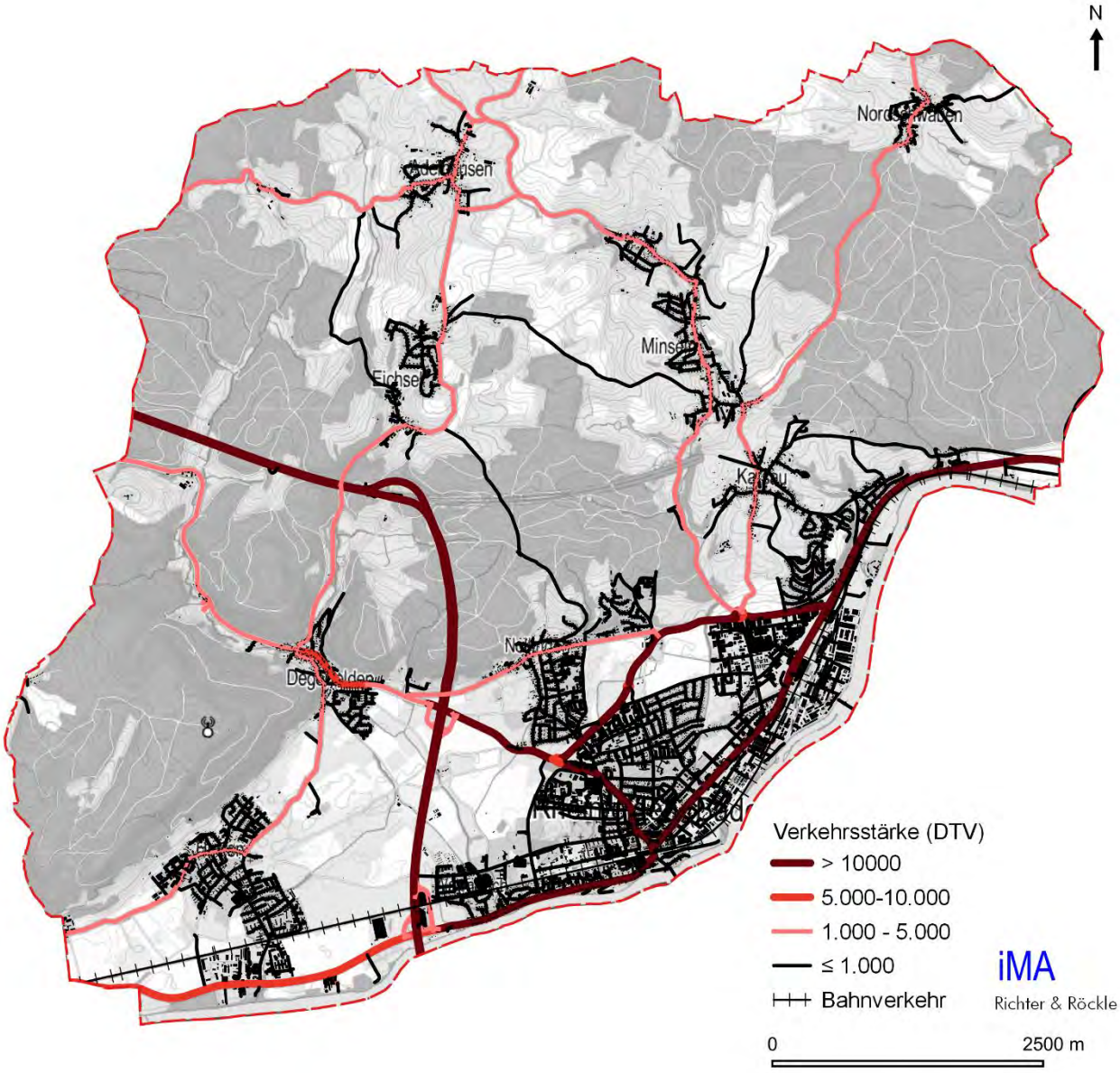

Abbildung 8-1: Verkehrsstärke in Rheinfelden (Quelle: Straßenverkehrszentrale Baden-Württemberg (https://svz-bw.de/verkehrszaehlung/bundesweite-strassenverkehrszaehlung, Lärmgutachten der Firma PÖYRY Deutschland GmbH).

8.1.3 Vorbelastung

Im Oktober 2014 wurden von der LUBW Immissionsvorbelastungen für NO_2, PM10 und Ozon veröffentlicht („Flächendeckende Ermittlung der Immissions-Vorbelastung für Baden-Württemberg 2010“). Im Projekt wurden mit dem dreidimensionalen chemischen Transportmodell REM/ CALGRID unter Verwendung des landesweiten Emissionskatasters die Immissionsbelastungen in einer räumlichen Auflösung von 500 m x 500 m berechnet. Diese Ergebnisse erlauben eine räumliche Differenzierung der Immissionsvorbelastung im Untersuchungsgebiet.

In Abbildung 8-2 links sind die für das Jahr 2010 berechneten NO_2- (oben) und PM10-Immissionen (unten) im Untersuchungsgebiet dargestellt. Die höchsten Belastungen werden im Bereich der Kernstadt ausgewiesen. Zu den weniger besiedelten Bereichen hin gehen aufgrund der fehlenden Schadstoffquellen die Immissionsbelastungen deutlich zurück. Für das Jahr 2020 (Abbildung 8-2 rechts) ergibt sich ein adäquates Bild, allerdings mit geringerer Ausprägung.

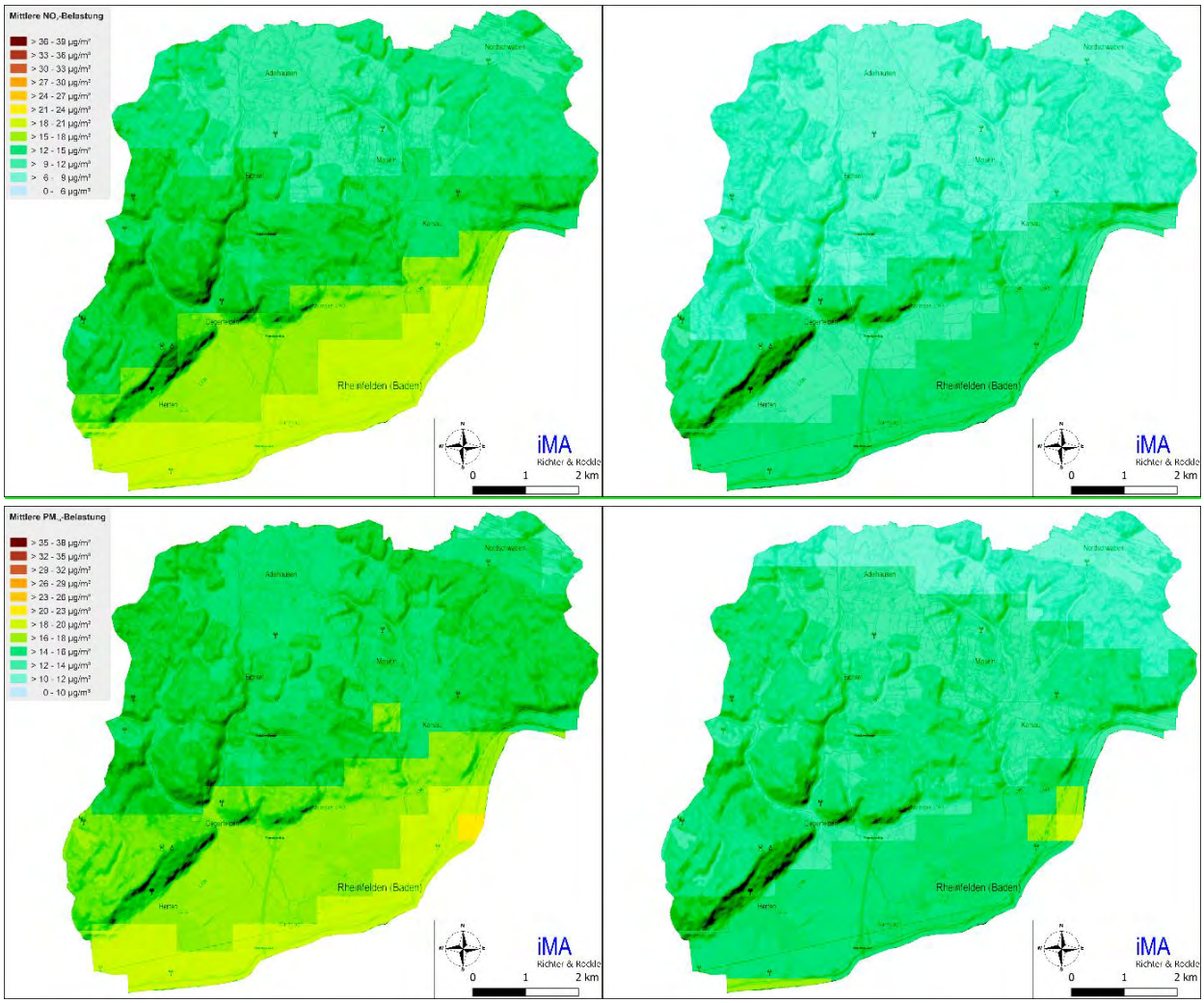

Abbildung 8-2: Jahresmittelwerte der Stickstoffdioxid- (NO_2, oben) und Feinstaubkonzentration (PM10, unten) für die Bezugsjahre 2010 (links) und 2020 rechts (Vorbelastungskarten der LUBW).

Im Stadtgebiet von Rheinfelden beträgt die Immissionsvorbelastung für Feinstaub im Bezugsjahr 2010 maximal 22 µg/m³ und im Jahr 2020 19 µg/m³. Die NO_2-Belastung soll von maximal 21 µg/m³ (2010) auf 15 µg/m³ (2020) zurückgehen.

Das berechnete Maximum der NO_2- und PM10-Belastung liegt im Gewerbegebiet östlich der Bundesstraße 34 auf Höhe der Schönenbergerstraße. Nördlich der Kernstadt Rheinfeldens nehmen die Immissionen aufgrund weniger Luftschadstoffquellen rasch ab.

Aktueller sind Messungen der LUBW und des Schweizer Messnetzes. Allerdings gibt es in Rheinfelden keine Messstelle. Die nächstgelegenen Messtellen, die repräsentativ für den städtischen Hintergrund sind, ist Weil am Rhein (LUBW) und Basel-Binningen (ARIAS).

Tabelle 8-2: Jahresmittel der Luftbelastung in Weil am Rhein (Quelle: LUBW)

Stoff	2014	2015	2016	2017	2018	2019
NO_2	16	18	17	18	18	17
PM10	15	16	15	14	14	13
PM2,5	11	12	11	10	11	9

Tabelle 8-3: Jahresmittel der Luftbelastung in Basel-Binningen (Quelle: ARIAS)

Stoff	2014	2015	2016	2017	2018	2019
NO_2	20,6	20,5	18,9	18,8	17,5	16,7
PM10	13,3	15,0	13,7	13,5	14,4	12,6
PM2,5	9,1	11,5	10,1	9,2	10,8	8,9

Als Vorbelastung für Rheinfelden im Jahr 2020 wurde konservativ folgende Werte angesetzt:

NO_2: 18 µg/m³

PM10: 15 µg/m³

PM2,5: 11 µg/m³

In den Höhenlagen ist aufgrund des besseren Luftaustausches und weniger Luftschadstoffquellen bei NO_2 von einer deutlich geringeren Vorbelastung auszugehen. In Schupfart-Blind (Messstation für den ländlichen Hintergrund) wurden 2019 bei NO_2 knapp 9 µg/m³ und bei PM10 knapp 14 µg/m³ gemessen. Bei den Auswertungen wurde pauschal die hohe Vorbelastung angesetzt. In den Höhenlagen wird deshalb die Luftbelastung durch NO_2 deutlich überschätzt.

8.1.4 Simulationsverfahren

Die Immissionen im Stadtgebiet und der angrenzenden Umgebung werden anhand eines Screenings ermittelt. Hierzu wird das Gauß'sche Vielquellenmodell GAMOS V5.32 (auf der Basis des Gaußmodells der VDI-Richtlinie 3782, Blatt 1) eingesetzt.

Das Modell berechnet jahresbezogenen Kenngrößen wie Jahresmittelwerte und Überschreitungshäufigkeiten.

Eingangsdaten für das Modell sind:

a) die Kfz-bedingten Emissionen auf Basis der Kenngrößen der Verkehrsbelastung (Verkehrsaufkommen, Nutzfahrzeuganteile, Fahrmodi, Bezugsjahr).

b) die meteorologischen Randbedingungen

c) die Vorbelastung.

Die Zusatzbelastung durch den Kfz-Verkehr wurde flächendeckend für die Bezugshöhe 1,5 m über Grund auf einem Raster mit einer Auflösung von 5 m x 5 m berechnet.

Die Ausbreitung der Luftschadstoffe wird wesentlich von den meteorologischen Parametern Windrichtung, Windgeschwindigkeit und Turbulenzzustand der Atmosphäre bestimmt. Für die Ausbreitungsrechnung sind die meteorologischen Randbedingungen in Form einer Zeitreihe (AK-Term) oder einer Häufigkeitsverteilung (AKS) der Windrichtungen, Windgeschwindigkeiten und Ausbreitungsklassen erforderlich, die einen ganzjährigen Zeitraum repräsentieren. Verwendet wurden die von der UMEG erhobenen Daten in Rheinfelden (siehe Kapitel 3.3).

8.1.5 Ergebnisse Luftbelastung

Die Ergebnisse der Immissionsprognose für NO_2 und PM10 sind für die Jahresmittelwerte der Gesamtbelastung in Abbildung 8-3 dargestellt.

Die höchsten NO_2-Konzentrationen treten entlang der A98, A861 und der B316 sowie im südlichen Bereich der Nollinger Straße auf (Abbildung 8-3 oben). Der Grenzwert von 40 µg/m³ wird auf den Fahrspuren der A98 sowie am östlichen Ende der B316 erreicht. Im südlichen Teil der Nollinger Straße im Stadtzentrum treten die höchsten Konzentrationen mit Werten bis 48 µg/m³ auf. Weiterhin wird der Grenzwert entlang der B316 im Bereich Degerfelden erreicht. Fahrspuren sind allerdings nicht beurteilungsrelevant. Mit zunehmendem Abstand zu den Straßen gehen die Luftbelastungen rasch zurück.

Die Belastung ist im Stadtzentrum ist bedingt durch das dichte Netz der Sammel- und Erschließungsstraßen (siehe Abbildung 8-1) mit etwa 21 µg/m³ höher als in der Peripherie, in der das Verkehrsaufkommen deutlich geringer ist.

Für PM10 finden sich die gleichen Verteilungsmuster (Abbildung 8-3 unten). Der Grenzwert von 40 µg/m³ wird für PM10 an keiner Stelle überschritten.

Zukünftig sollen die Emissionen des Kfz-Verkehrs, insbesondre bei NO_2, weiter zurückgehen. Die Luftbelastung verliert, im Gegensatz zur thermischen Belastung, an Bedeutung.

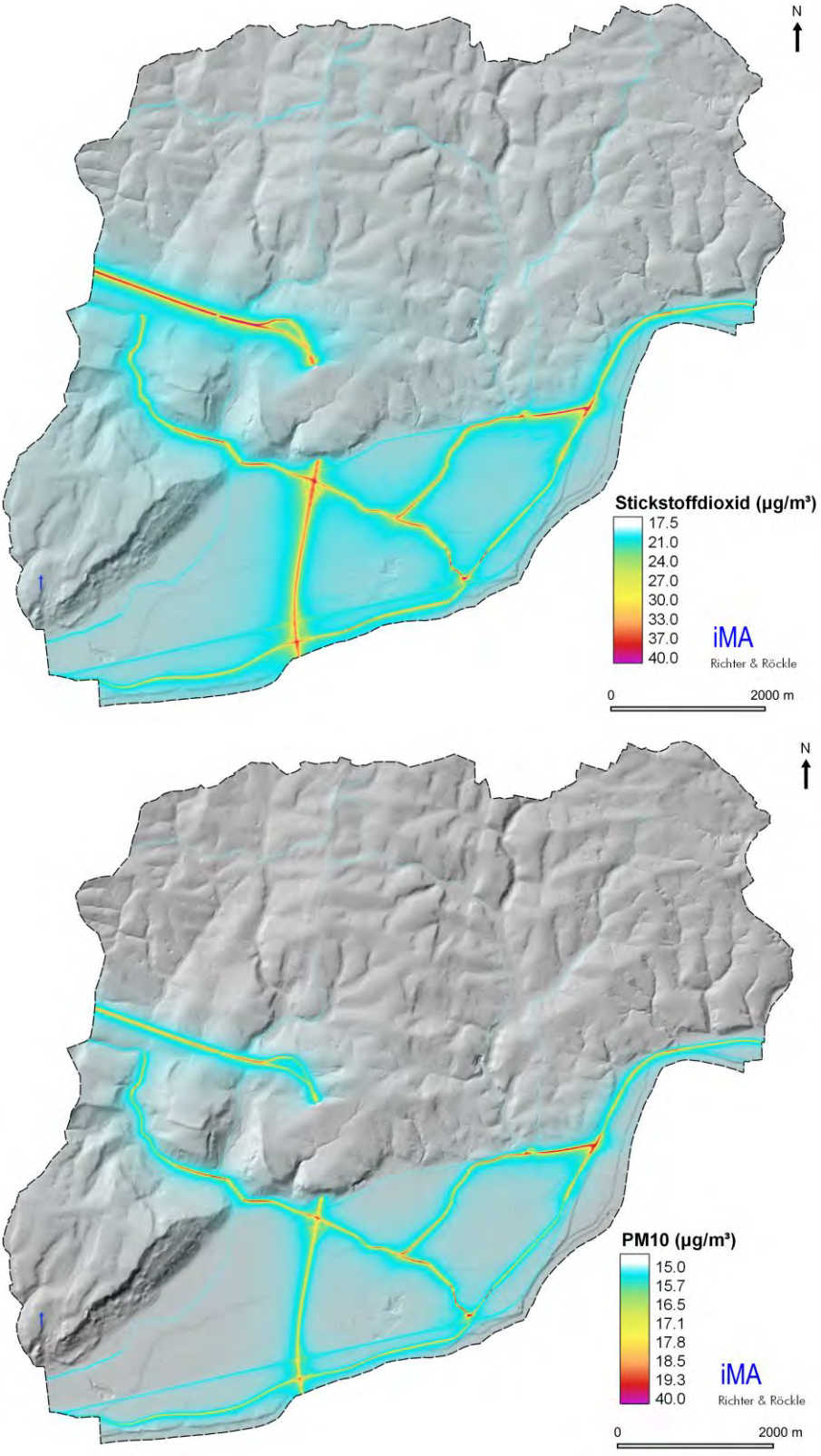

Abbildung 8-3: Jahresmittelwert der Stickstoffdioxidbelastung (NO_2) (oben) und Feinstaubbelastung (PM10), (unten). Grenzwerte der 39. BImSchV jeweils 40 µg/m³.

8.2 Kaltluftströmung

Bei Tiefdruckwetterlagen (bewölkt, windig, regnerisch) herrschen in der Regel gute Austauschbedingungen. Die lokalen Strömungsverhältnisse werden im Wesentlichen durch die Orographie 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. Aufgrund des geringen großräumigen Luftaustausches beeinflussen die lokalen topographischen Verhältnisse (sowohl das Geländerelief 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 Strömungen vorhanden. Deshalb zählen Kaltluftabflüsse in gegliedertem Gelände zu den klimatischen Gunstfaktoren einer Region.

Durch die verschiedenen Erhebungen des Dinkelbergs, welche besonders den Norden und Westen Rheinfeldens prägen, treten Kaltluftabflüsse auch im Bereich Rheinfelden 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.

8.2.1 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 „pulsierenden“ 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 Ge-

schwindigkeit hängen im Wesentlichen von der Fläche des Einzugsgebiets, der Kaltluftproduktionsrate, dem Talgefälle und den Rauigkeiten, d.h. den Strömungshindernissen und die Bodenbeschaffenheit, im Talbereich ab. Die Fließrichtung wird durch die Geländeform bestimmt. Als Leitlinien dieses Kaltluftabflusses treten talwärts führende Einsenkungen des Geländes wie z.B. Seitentäler, Schluchten und Rinnen in Erscheinung.

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.

8.2.2 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. In der Hochrheinschiene ist dies eine Rheintal-abwärts gerichtete Strömung, die sich in Rheinfelden mit östlichen bis nordöstlichen Windrichtungen bemerkbar macht.

8.2.3 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 Rheinfelden in knapp 14,3 % der Jahresstunden vorkommt. Auch bei Ausbreitungsklasse II, die in 27,8 % der Jahresstunden auftritt, können noch Kaltluftabflüsse auftreten. Diese werden dann aber von den übergeordneten Windrichtungen beeinflusst.

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 Kaltlufthöhen ergeben. Im Raum Rheinfelden erreichen die Kaltlufthöhen vertikale Ausdehnungen von mehreren Dekametern.

Trifft die Kaltluft auf Bebauung, dringt diese bodennah in die Bebauungsschicht ein (vgl. Abbildung 8-4, links). Der größere Teil der Kaltluft überströmt die Bebauung und wird durch die gebäudeinduzierte Turbulenz in die Bebauung herabgemischt (vgl. Abbildung 8-4, rechts). Für die innerstädtische Belüftung ist deshalb die Überdachströmung die relevante Größe.

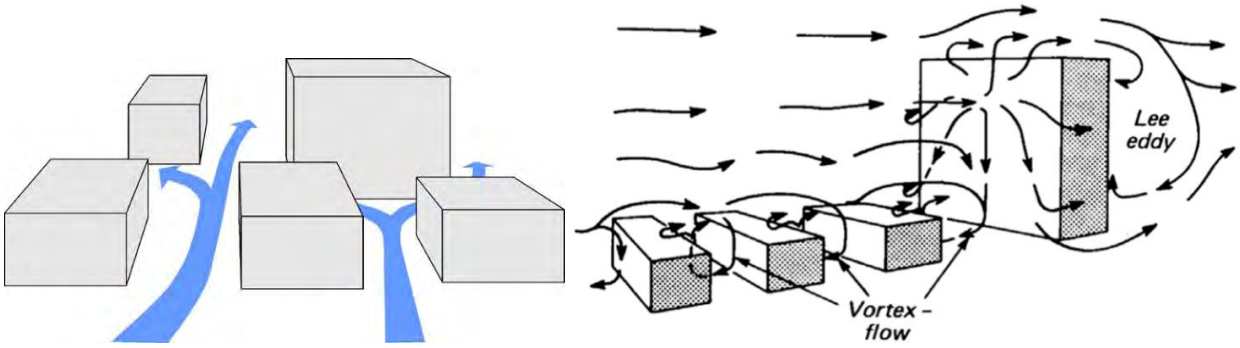

Abbildung 8-4: Bodennahe Belüftung in den peripheren Bereichen (links) und Herabmischen der Luft aus dem Überdachniveau in den Straßenraum (rechts).

8.3 Ergebnisse der Modellierung

Die Volumenströme im Überdachniveau (28 m ü. Grund, Angaben in m³/h) sind für die erste Nachthälfte (22:00 Uhr) in Abbildung 8-5 und für die zweite Nachthälfte (4:00 Uhr) in Abbildung 8-6 dargestellt. Ausgeprägte Volumenströme treten hierbei in der ersten Nachthälfte besonders im Norden bei Nordschwaben sowie zwischen Adelhausen und Eichsel und im Westen an den Hängen des Hirzenleck auf. Diese Strömungen schwächen sich bis in die Morgenstunden (4:00 Uhr) ab (Abbildung 8-6). Die Volumenströme im Bereich von Nollingen und des Stadtzentrums schwächen sich nur geringfügig ab.

Die berechnete Kaltluftströmung ist in den Abbildung 8-7 bis Abbildung 8-10 dargestellt. Aus Übersichtlichkeitsgründen sind vorrangig die Pfeile bei hoher Volumenstromdichte dargestellt (Algorithmus zur Pfeildarstellung siehe REKLIBO, 2009).

Die für die Stadt Rheinfelden bedeutsame Kaltluft bildet sich nordöstlich des Stadtgebiets und fließt entlang des Dürrenbachs und über die Freifläche zwischen Karsau, Beugen und südlich angrenzendem Gewerbegebiet im Osten und Nollingen im Westen in die Siedlungsgebiete von Rheinfelden. Aufgrund der zunehmenden Bebauungsdichte treten in den nördlichen Ortsteilen deutlich intensivere Kaltluftströme auf als im Stadtkern. Zusätzlich werden die Stadtteile östlich der Bahnlinie durch rheintalfolgende Ost- bis Nordostwinde belüftet. Die dichte Bebauung und insbesondere die am Rhein liegenden Industrie- und Gewerbegebiete schwächen die Strömung stark ab.

Eine weitere mächtige Kaltluftströmung bildet sich entlang des Hagenbachtals und des Waidbachtals. Diese Kaltluftströmung trägt zur Durchlüftung von Degerfelden und Herten bei. Sie ist in der zweiten Nachthälfte ausgeprägter als in den Abendstunden, in welchen noch die Hangabwinde dominieren.

Nollingen wird zudem durch Kaltluft vom Nollinger Berg versorgt. Die nördlichen Stadtteile werden mit Kaltluftabflüssen aus den umliegenden Erhebungen versorgt.

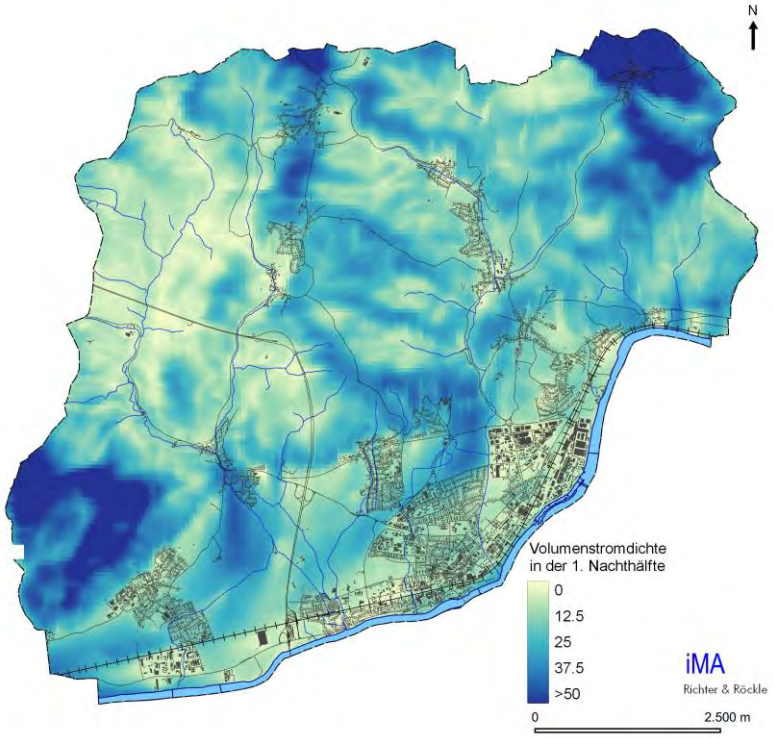

Abbildung 8-5: Volumenstrom abends (22 Uhr) bis ins Überdachniveau (28 m ü. Grund).

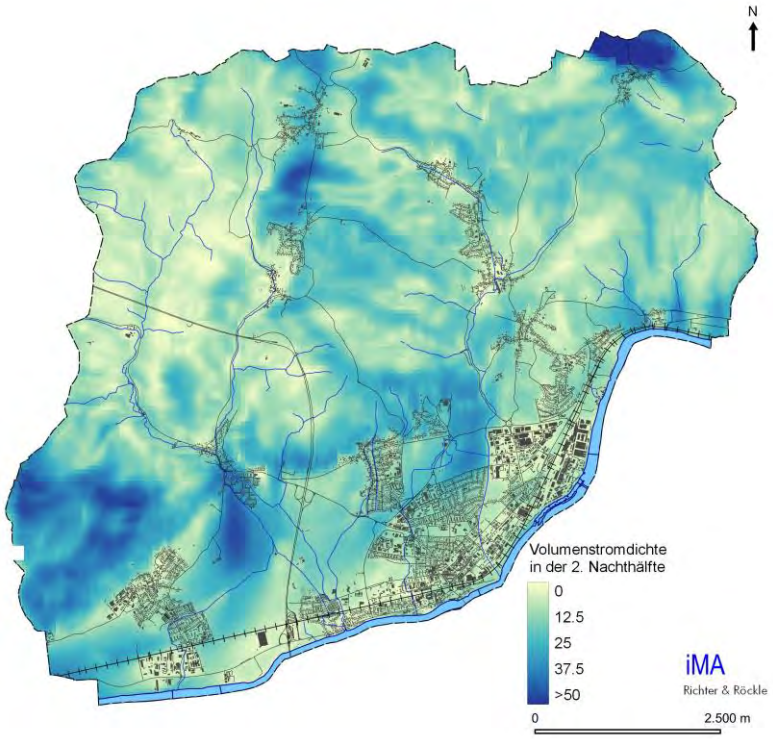

Abbildung 8-6: Volumenstrom 2. Nachthälfte (4 Uhr) bis ins Überdachniveau (28 m ü. Grund).

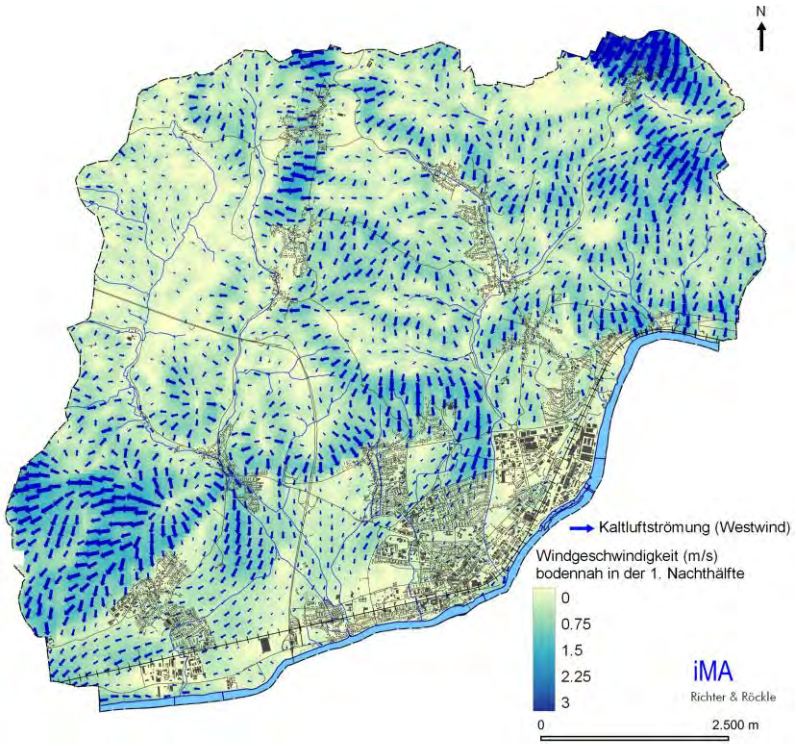

Abbildung 8-7: Bodennahe Durchlüftung (5 m ü. Grund) in Rheinfelden durch Kaltluftabflüsse. Abendsituation (22 Uhr).

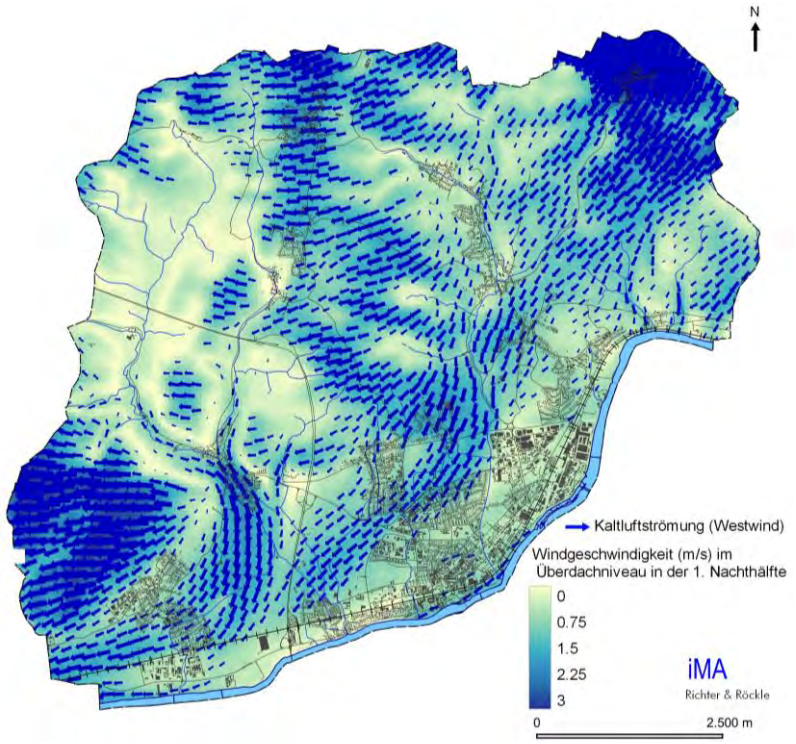

Abbildung 8-8: Durchlüftung im Überdachniveau (28 m ü. Grund). Abendsituation (22 Uhr).

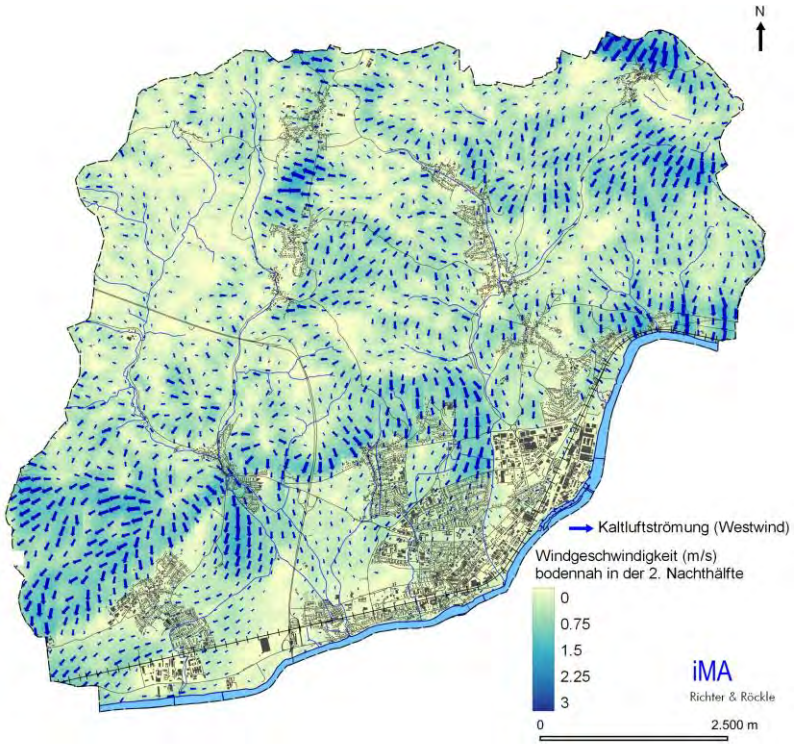

Abbildung 8-9: Bodennahe Durchlüftung (5 m ü. Grund) in Rheinfelden durch Kaltluftabflüsse in der zweiten Nachthälfte (4 Uhr).

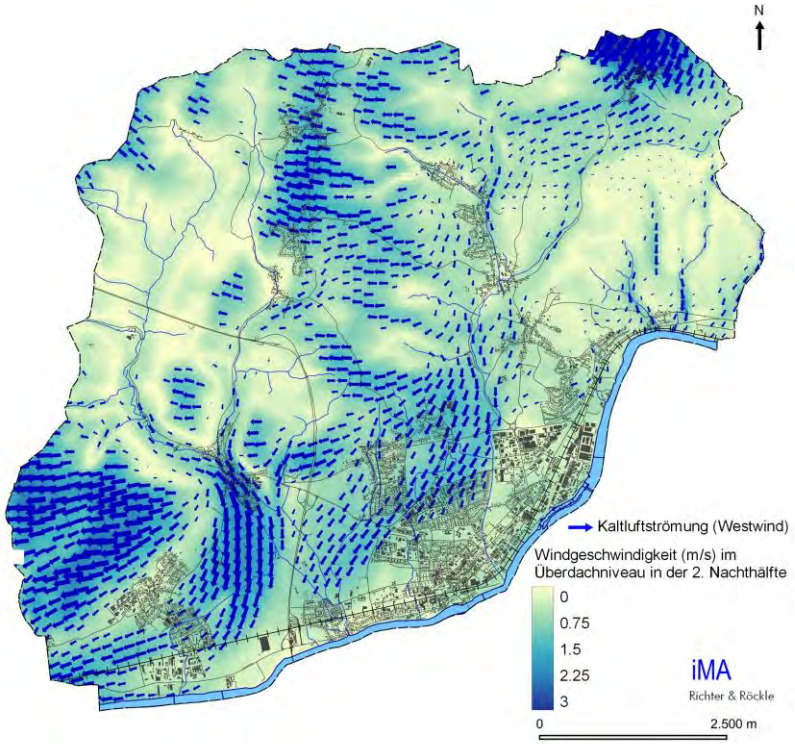

Abbildung 8-10: Durchlüftung im Überdachniveau (28 m ü. Grund) in der zweiten Nachthälfte (4 Uhr).

Die höheren Windgeschwindigkeiten im Dachniveau sind auf die weniger durch Hindernisse gestörte Strömung zurückzuführen. Bodennah führen die Rauigkeiten der Baukörper und der Vegetation zu einer deutlichen Verringerung der Strömungsgeschwindigkeiten.

8.3.1 Luftleitbahnen

In Bereichen mit geringer Rauigkeit (z.B. Wiesen, Ackerland) sind die 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 (1992) sollen stadtklimarelevante Luftleitbahnen mindestens 1 km lang und 50 m breit sein. Die Bedeutung der Luftleitbahnen hängt von den vorherrschenden Windrichtungen und der Durchlüftungsfunktion in thermisch oder lufthygienisch belasteten Siedlungsbereichen ab.

Im Wesentlichen existieren in Rheinfelden zwei **Luftleitbahnen für Kaltluft**. Sie erstrecken sich einerseits von östlich des Nollinger Bergs über das Linsental und Großmatt bis nordöstlich von Warmbach. Zum anderen existiert eine Luftleitbahn welche sich südlich von Degerfelden nach Herten erstreckt und über den Flugplatz verläuft. Auch der Rhein bildet eine weitere wichtige Luftleitbahn.

Für die Durchlüftung von Warmbach und den östlich angrenzenden Siedlungsgebieten bilden die städtischen Grünflächen Tutti Kiesi, die Karl-Metzger Grube und der Skulpturengarten, sowie die westlich angrenzende landwirtschaftlich genutzte Fläche eine wichtige Luftleitbahn.

Die Bahnlinie ist eine weitere Luftleitbahnen, allerdings mit untergeordneter Bedeutung für die Durchlüftung.

8.4 Mikroskalige Windsimulation

Zur Beurteilung der Durchlüftung des Stadtzentrums wurde ein etwa 21,2 km² großes Gebiet um die Innenstadt mit dem mikroskaligen Stadtklimamodell PALM-4U simuliert. Das Modell löst Gebäude und Vegetation explizit auf. Die räumliche Auflösung betrug 5 m x 5 m.

Abbildung 8-11 zeigt die Windverteilung im Bereich der Kernstadt sowie den Stadtteilen Nollingen und Warmbach in der zweiten Nachthälfte (4:00 Uhr) im Dachniveau. Durch den höheren Detaillierungsgrad der Simulation lässt sich die Zugbahn der Kaltluftabflüsse besser erkennen. Die Kernstadt wird durch eine Strömung belüftet, welche vom Nollinger Berg über das Linsental und Großmatt strömt. Dabei sind die höchsten Windgeschwindigkeiten über Großmatt direkt westlich des Industriegebiets zu beobachten. Dieser Luftstrom überstreicht die Kernstadt von Nord nach Ost, wobei die Innenstadt Rheinfeldens von der Strömung nicht erreicht wird.

Über den Feldern direkt östlich von Nollingen treten nur geringe Windgeschwindigkeiten auf, da dieser Bereich im Windschatten des Wohngebiets nördlich der Beuggener Straße liegt.

Eine zweite intensive Strömung bildet sich nördlich von Nollingen aus, welche den nördlichen und östlichen Teil Nollingens überstreicht und somit belüftet.

Das Industrie- und Gewerbegebiet im Nordosten weist dagegen kaum Durchlüftung in den Nachtstunden auf.

Die nähere Betrachtung der bodennahen Windverteilung des Innenstadtbereichs (Abbildung 8-12) zeigt, dass besonders im Bereich der Bahntrasse die höchsten Windgeschwindigkeiten auftreten. Auch entlang der breiten Nollinger Straße sowie entlang der Müßmattstraße gelangt Frischluft in den Innenstadtbereich.

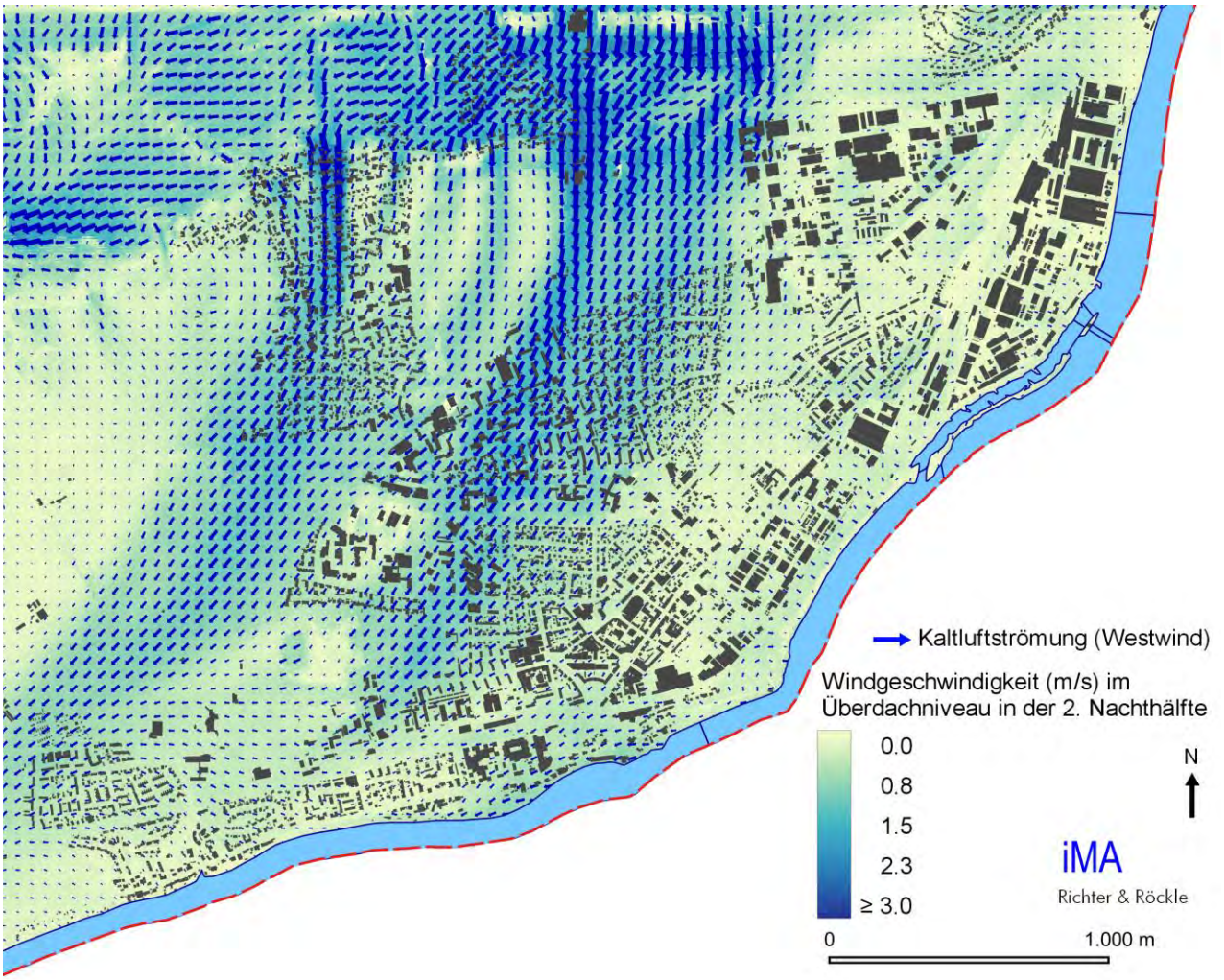

Abbildung 8-11: Windverteilung im Überdachniveau (28 m ü. Grund) in der zweiten Nachthälfte (4 Uhr). Der Übersicht halber ist nur jeder 10. Windpfeil dargestellt.

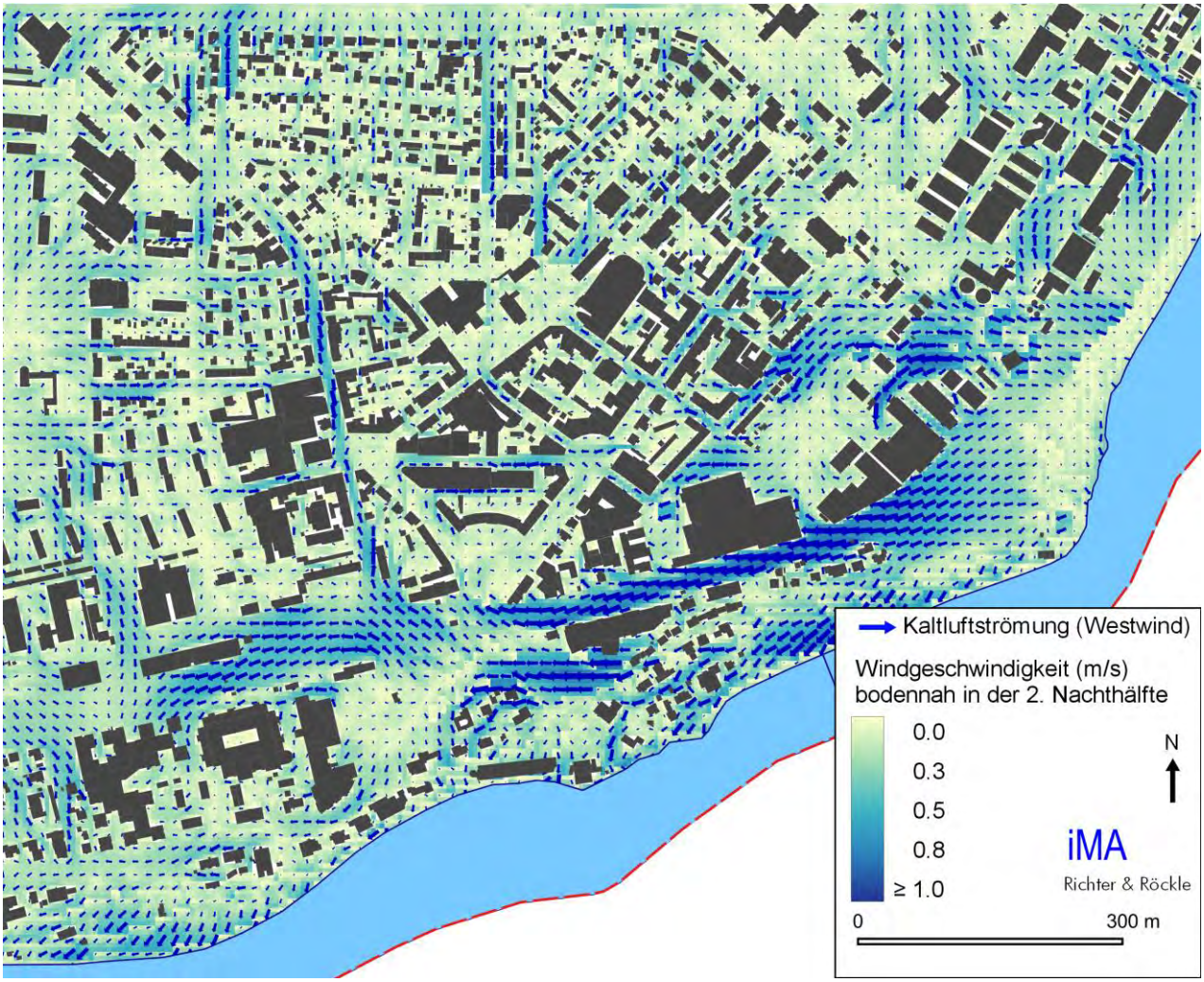

Abbildung 8-12: Windverteilung im Innenstadtbereich in Bodennähe (5 m ü. Grund) in der zweiten Nachthälfte (4 Uhr). Der Übersicht halber ist nur jeder dritte Windpfeil dargestellt.

8.5 Thermische und Human-biometeorologische Verhältnisse

Die thermische Situation zur Mittagszeit ist in Abbildung 8-13 dargestellt. Gezeigt ist die Lufttemperatur in 2 m über Grund an einem heißen Sommertag. Sowohl der Innenstadtbereich als auch die Industrie- und Gewerbegebiete zeigen eine deutlich höhere Lufttemperatur auf als die übrigen Wohnbereiche. Geringe Temperaturen sind entlang des Rheinufers sowie über den landwirtschaftlichen Flächen und insbesondere in den Wäldern und den innerstädtischen Baumbeständen zu erkennen.

Für die Bewertung der human-biometeorologischen Verhältnisse ist die Betrachtung der Lufttemperatur nur bedingt geeignet, da neben der Temperatur auch die Luftfeuchte und die Windgeschwindigkeit einen erheblichen Einfluss auf das Befinden haben. Als Indikator für die thermische Belastung wird daher die Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET) betrachtet (siehe Kapitel 7.2.3). In Abbildung 8-14 ist die PET in den Mittagstunden im Sommer dargestellt. Die thermische Belastung ist stark von der Sonneneinstrahlung abhängig. Besonnte Bereiche weisen eine deut-

lich höhere thermische Belastung auf als verschattete Bereiche. Daher spielen schattenspendende Hindernisse wie Gebäude und Bäume eine wesentliche Rolle.

In durch Bäumen abgeschatteten Gebieten beträgt die PET weniger als 30 °C, sodass hier zwar „warme“ Bedingungen jedoch ohne starken Hitzestress vorzufinden sind. Ebenso sind Gebiete mit hohem Grünflächen- oder Gewässeranteil weniger stark Hitze-belastet. Hier wird die kurzwellige Strahlung in Verdunstungsenergie umgewandelt und die Oberflächen heizen sich im Vergleich zu versiegelten Flächen weniger stark auf.

Folglich treten in Abbildung 8-14 die stark versiegelten Industrie- und Gewerbeflächen im Nordosten mit einer PET von ca. 50 °C deutlich hervor, während bewaldete Gebiete wie beispielsweise nordwestlich von Nollingen und Gebiete in Gewässernähe wie beispielsweise entlang des Rheinufers eine PET von lediglich um die 25 °C aufweisen.

Nachts treten durch die generell niedrigeren Lufttemperaturen auch niedrigere Werte für PET auf (siehe Abbildung 8-15 und Abbildung 8-16). Durch die geringe Belüftung des Innenstadtbereichs treten die höchsten Werte von über 21 °C weiterhin in der Innenstadt auf während die tagsüber bereits geringer belasteten Bereiche in der Peripherie Rheinfeldens eine PET von unter 20 °C aufweisen. Nollingen sowie die nördlichen Bereiche Rheinfeldens im Bereich der Römerstraße weisen nur eine geringe thermische Belastung auf, was auf die bessere Durchlüftung zurückzuführen ist (siehe Kapitel 8.4).

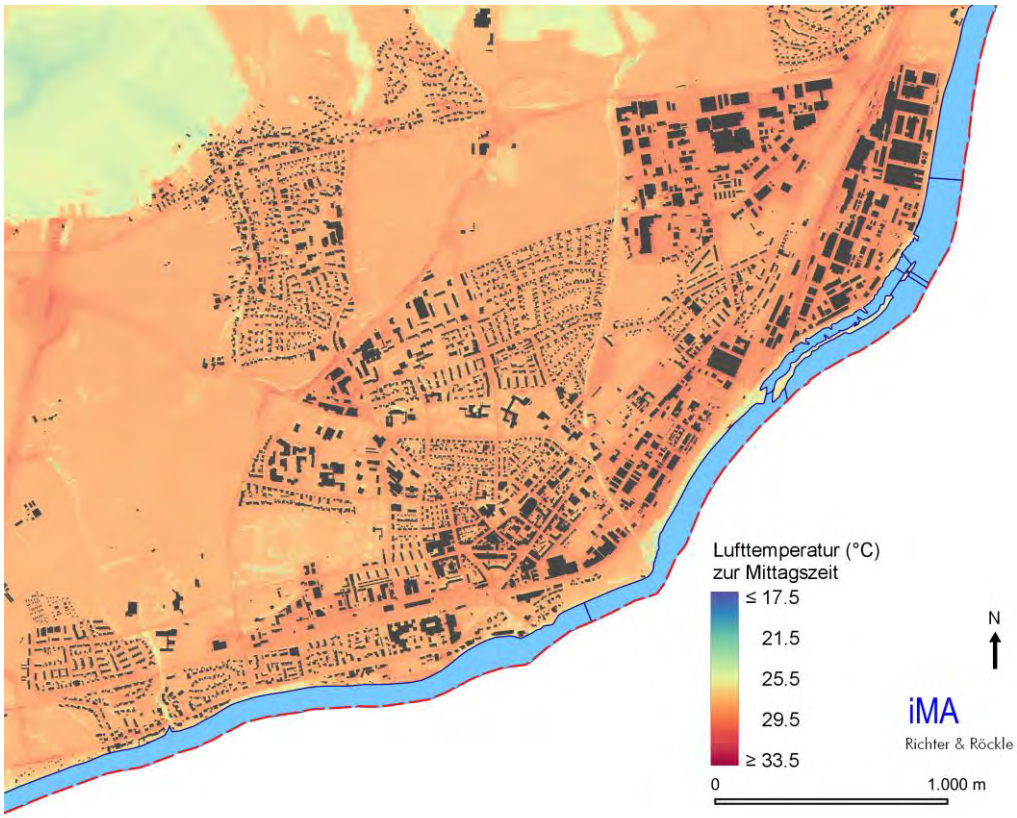

Abbildung 8-13: Lufttemperatur zur Mittagszeit (2 m ü. Grund).

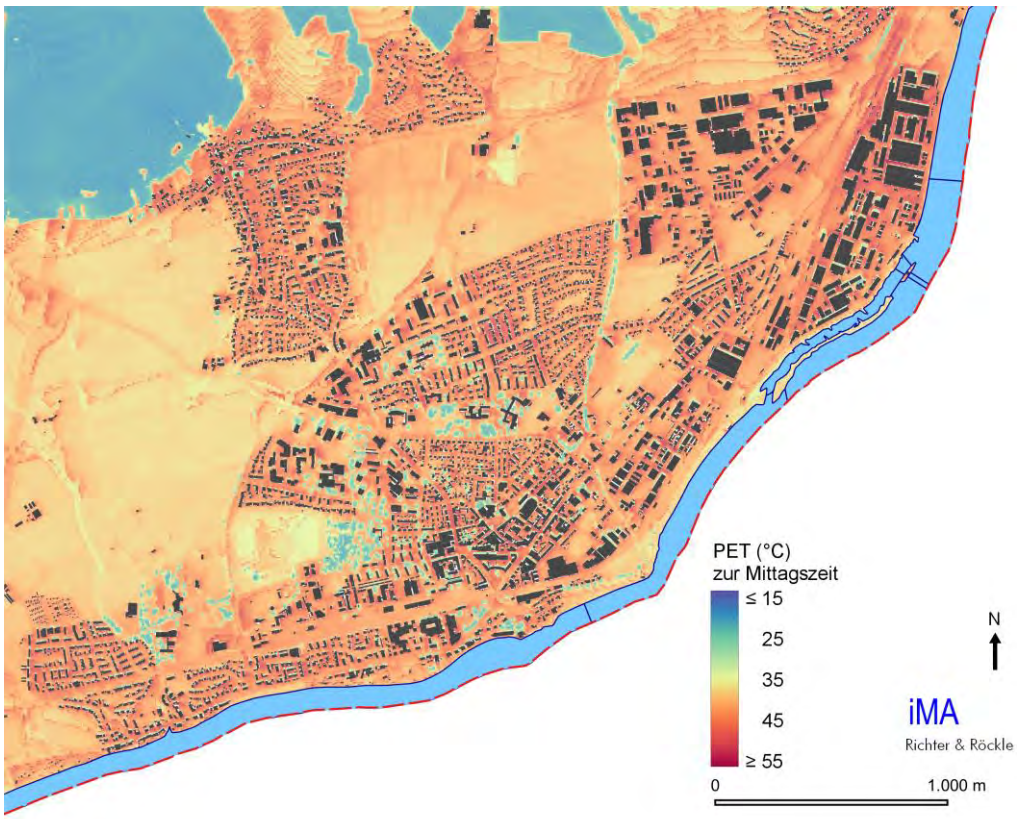

Abbildung 8-14: Physiologisch äquivalente Temperatur (PET) zur Mittagszeit (2 m ü. Grund).

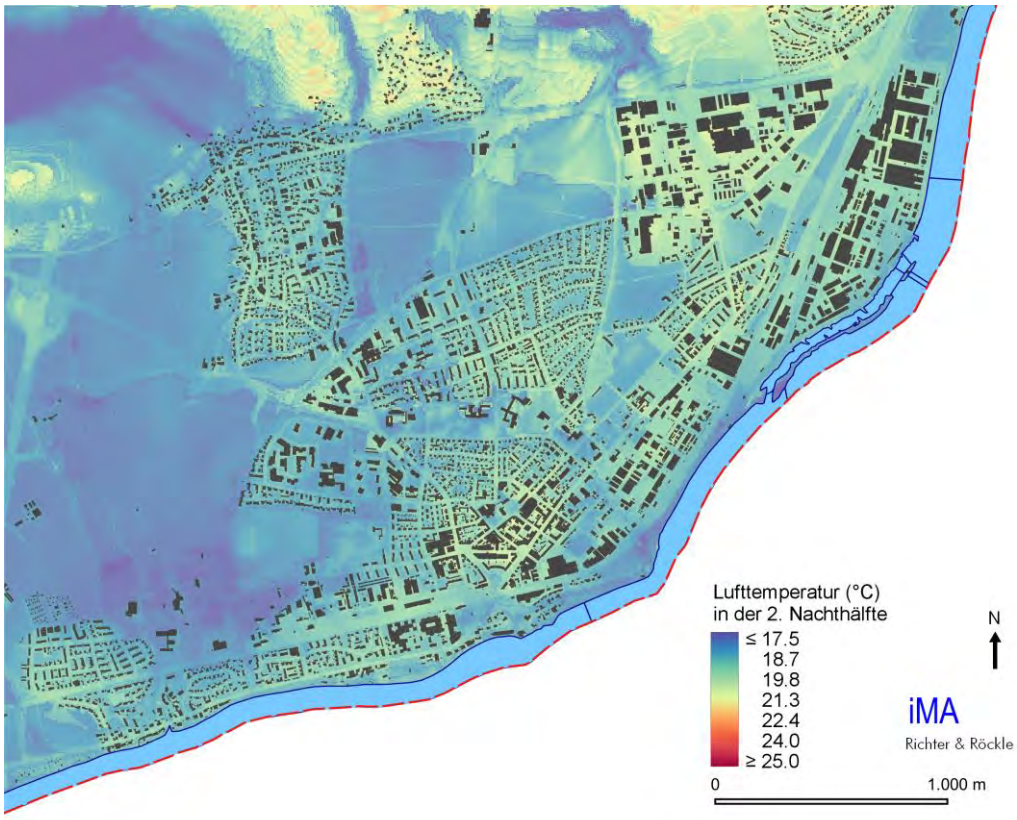

Abbildung 8-15: Lufttemperatur in der Nacht (4 Uhr, 2 m ü. Grund).

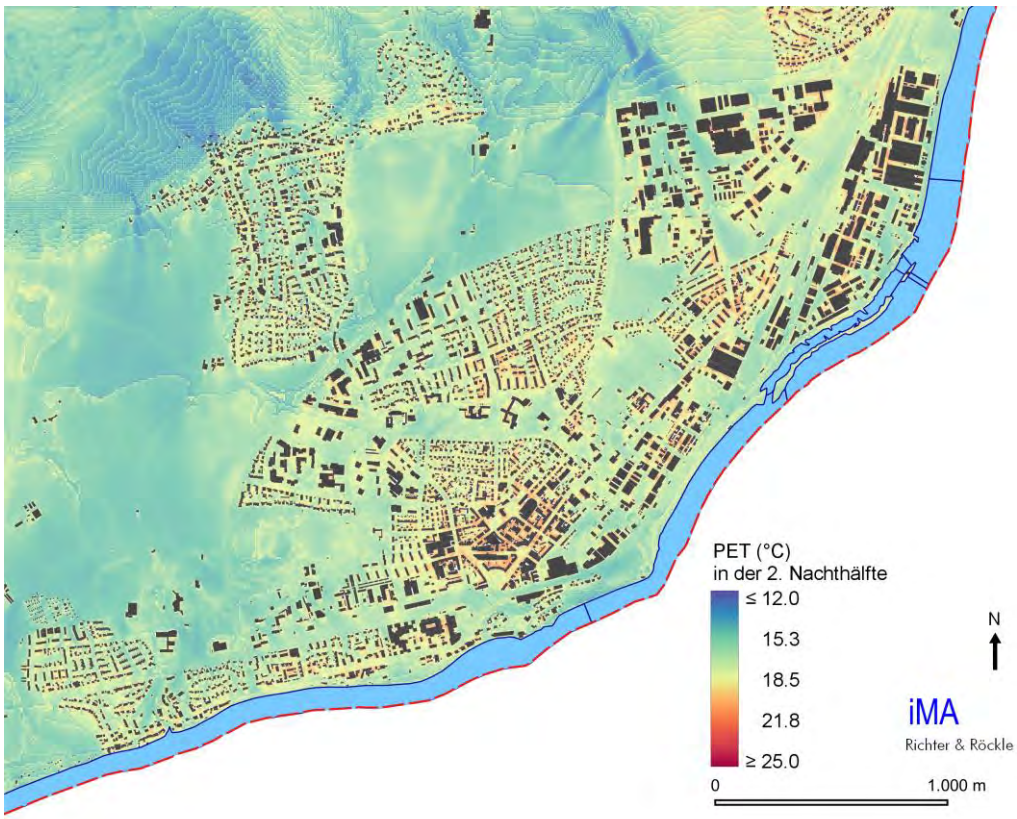

Abbildung 8-16: Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET) in der Nacht (4 Uhr, 2 m ü. Grund).

8.6 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 und die anthropogene Abwärme (Heizung, Kühlung, Kfz-Verkehr, Produktionsverfahren, …).

Zur Berechnung der urbanen Wärmeinsel für die zweite Nachthälfte wurde als Referenztemperatur für das Umland 19,5 °C verwendet.

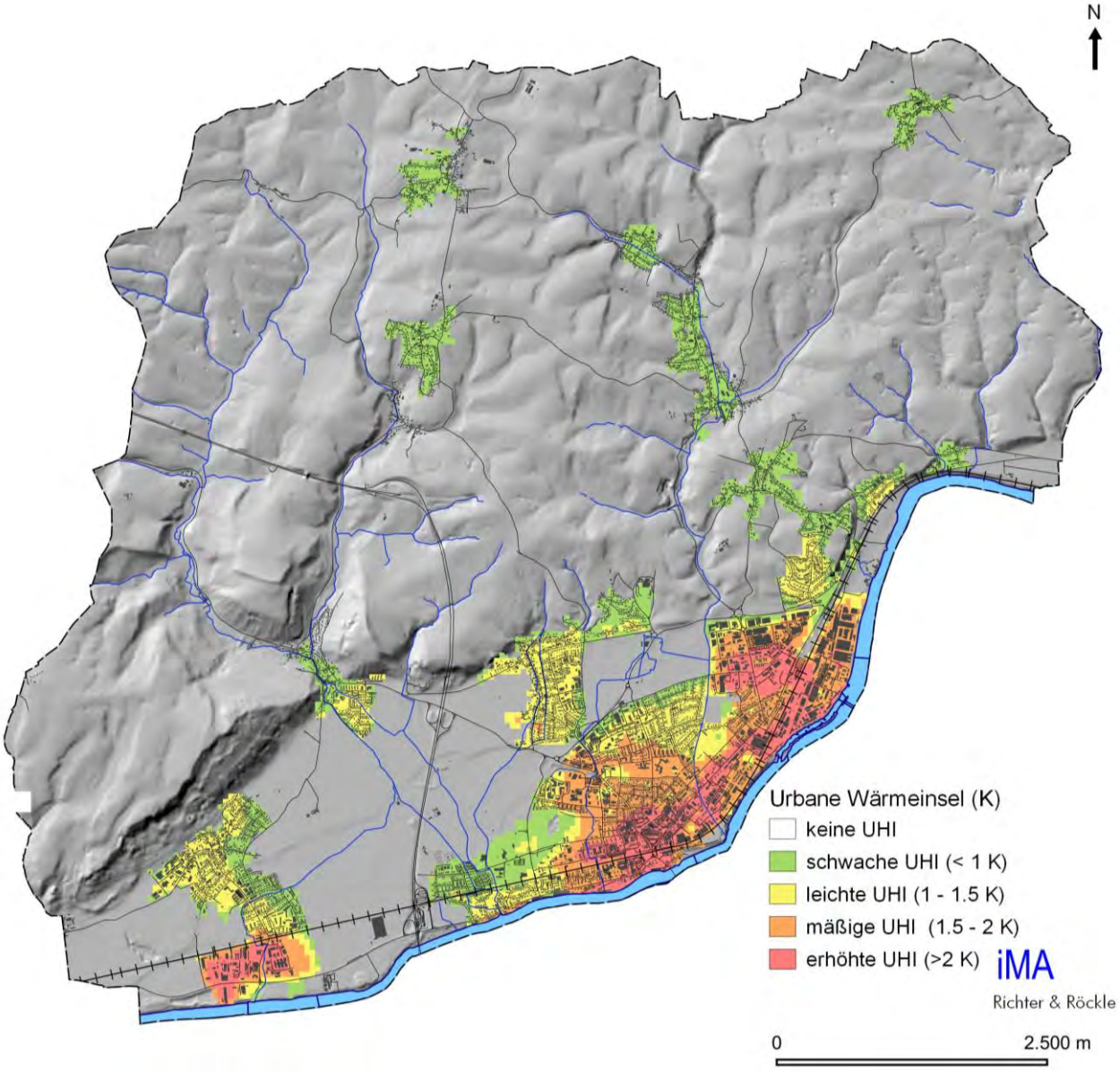

Abbildung 8-17:: Urbane Wärmeinsel in der zweiten Nachthälfte in Rheinfelden.

Abbildung 8-17 zeigt die räumliche Ausdehnung der urbanen Wärmeinsel in Rheinfelden und den angrenzenden Stadtteilen. Die urbane Wärmeinsel in Rheinfelden ist im Stadtzentrum, entlang

der Friedrichsstraße und in den nordöstlichen Industrie- und Gewerbegebieten am stärksten ausgeprägt. In den städtischen Randbereichen und umliegenden Stadtteilen ist der Effekt einerseits aufgrund des nächtlichen Kaltluftabflusses abgeschwächter. Andererseits haben auch die Bebauungsdichte, der Versiegelungsgrad und der Grünflächenanteil einen Einfluss auf die Intensität der UHI.

Die höchsten Werte von maximal 2,5 K[15] treten in der Innenstadt und in den nördlichen Industrie- und Gewerbegebieten östlich der Bahnlinie auf. In Nollingen und in den nördlichen Wohngebieten von Rheinfelden und Herten beträgt die UHI maximal 1,5 K und geht auf unter 1 K an den Siedlungsrändern zurück. In den an den Hängen gelegenen Stadtteilen liegt die UHI aufgrund der stärkeren Durchgrünung, der Kaltluftabflussverhältnisse, den geringeren Bebauungsdichten und der Höhenlage bei unter 1 K.

8.7 Stadtgrün

Alle Formen des städtischen Grüns, von Parkanlagen über Kleingärten, Friedhöfen, Straßengrün oder Fasaden- und Dachbegrünung, bis hin zu Privatgärten oder landwirtschaftlichen Flächen werden als „städtisches Grün“ bezeichnet. (BMUB 2015, S. 50). Grüne Infrastruktur erfüllt viele Funktionen, sie dient

- als klimatische Ausgleichsfläche insbesondere auch während der Hitzeperioden
- der Erholung und Freizeitgestaltung,
- dem Regenwasserrückhalt,
- der Verbesserung das Stadtklimas (Klimavielfalt),
- der Filterung von Luftschadstoffe,
- 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 vorerst erhöhtem Spätfrostrisiko. Dadurch entstehen zunehmende Schäden durch Pilzkrankheiten und Schädlinge.

In Abbildung 8-18 ist der Bestand an größeren öffentlich zugänglichen Grün- und Freiflächen mit Erholungswert und Aufenthaltsqualität an heißen Sommertagen abgebildet. Auf Grünflächen mit einer Größe größer als 0,5 ha kann sich ein eigenes Kleinklima an heißen Sommertagen ausbilden.

[15] *Kelvin (Einheitenzeichen: K) ist die SI-Basiseinheit der thermodynamischen Temperatur. Während °C als Maßeinheit für die Temperatur in Abhängigkeit von Schmelz- und Siedepunkt von Wasser definiert wurde, dient K als Einheit der absoluten Temperaturskala für die Angabe von Differenzen der Celsius-Temperaturen.*

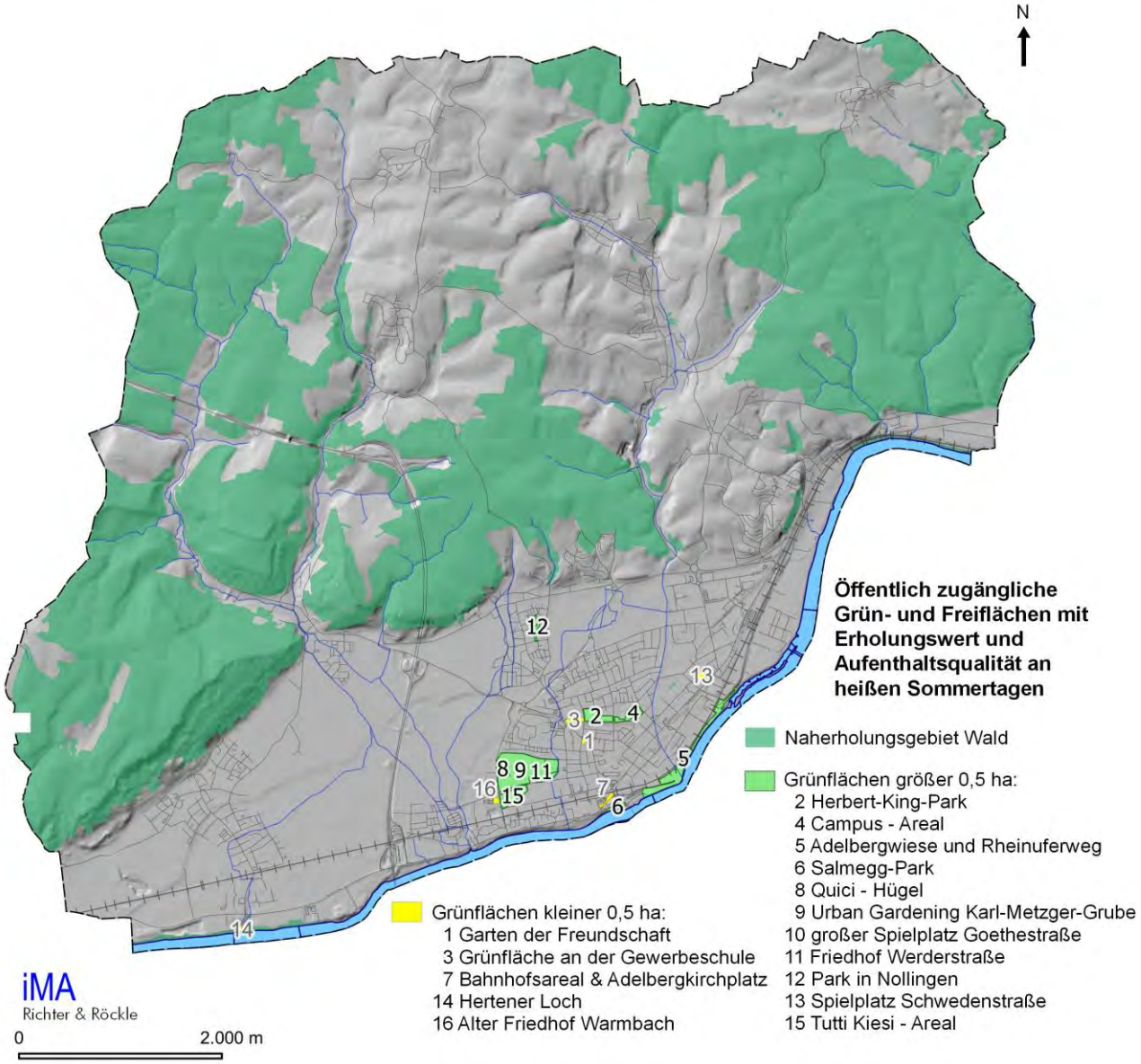

Abbildung 8-18: Bestand an öffentlich zugänglichen Grün- und Freiflächen mit Erholungswert und Aufenthaltsqualität an heißen Sommertagen.

Die in Rheinfelden anzutreffenden Flächen mit Stadtgrün lassen sich wie folgt gliedern:

Multifunktionale Parkanlagen

Beispiele:

- Herbert-King-Park
- Adelbergwiese und Rheinuferweg (uferbegleitend bis zum neuen Kraftwerk)
- Skulpturengarten
- Park in Nollingen im Bereich Neumatt-Nord

Die großen multifunktionalen Parkanlagen in Rheinfelden ab einer Fläche von ca. 5.000 m² bieten große innerstädtische Erholungsräume für die ganze Familie. Sie sind von stadtweiter Bedeutung und für die Erholung und Regeneration in Hitzeperioden besonders wichtig. In Abhängigkeit zur Gestaltung und Beschaffenheit der Flächen wirken sie aufgrund ihrer Größe klimatisch günstig auf die angrenzenden Siedlungsbereiche. Als offene Grünflächen übernehmen sie die Funktion von Kaltluftentstehungsgebieten.

Kleine Park- und Grünanlagen

Beispiele:

- Garten der Freundschaft
- Kastanienpark

Kleinere Parks mit weniger als 5.000 m² Fläche haben meist keine oder nur geringe klimatische Wirkung auf die angrenzenden Siedlungsbereiche. Diese können dennoch für die angrenzenden Anwohner eine wichtige Rolle für die Erholung im Stadtteil, insbesondere in Hitzeperioden, spielen.

Verkehrsbegleitgrün

Beispiele:

- Baumbestand entlang der Müßmattstraße
- Baumbestand entlang der Cranachstraße
- Baumbestand entlang der Friedrichsstraße
- Mouscron-Allee

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 reduzieren die durch die Verkehrswege verursachte thermische Belastung, dienen der Filterung und Versickerung von Oberflächenwasser und stellen als linienhafte Grünstrukturen oft wichtige Elemente im Grünverbund dar.

Friedhöfe

Beispiele:

- Friedhof an der Goethestraße
- Friedhof Herten
- Alter Friedhof Warmbach

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:

- Salmegg-Park
- Bahnhofsareal (westlich B34) und Adelbergkirchplatz (östlich B34)
- Campus-Areal
- Parkanlage an der Christuskirche

Grün- und Freiflächen an öffentlichen Gebäuden, vor allem an Schulen und Kindergärten bzw. Kindertagesstätten stellen in Rheinfelden 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:

- Freibad an der Eichbergstraße
- Hertener Loch (Mündung Mattenbach in den Rhein)

Die Nachfrage nach Freibädern wird mit dem fortschreitenden Klimawandel zunehmen.

Spielplätze

Beispiele:

- großer Spielplatz an der Goethestraße
- großer Spielplatz an der Schwedenstraße
- Spielplatz an der Lenbachstraße in Nollingen
- Spielplatz an der Akazienstraße in Warmbach

Für Familien sind Kinderspielplätze besonders wichtige städtische Freiflächen, welche klimatische, ökologische und erholungsrelevante Funktionen übernehmen können. Spielplätze wurden nicht in ihrer Gesamtheit analysiert.

Sportflächen

Beispiele:

- Pumptrack an der Karl-Metzger-Grube
- Sportanlagen an der Eichbergstraße

Sportplätze stellen zweckgebundene Grünflächen dar, welche sich tagsüber stark aufheizen und nachts aber auch ausreichend abkühlen. Deshalb sind sie für die Erholung in Hitzeperioden nur eingeschränkt nutzbar.

Kleingartenanlagen

Beispiele:

- Urban Gardening Karl-Metzger-Grube
- Kleingartenverein Herten an der B34

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. Besonders alte Baumbestände sind sowohl auf öffentlichen als auch auf privaten Grundstücken unter Schutz zu stellen. Schottergärten heizen sich wie vollversiegelte Flächen tagsüber stark auf und geben die Wärme abends wieder an die Umgebung ab und tragen somit zu einer höheren nächtlichen Lufttemperatur bei.

Grünflächen sowie Naherholungsgebiete müssen für die Menschen gut erreichbar sein. Dies hängt von der Distanz zum Wohnort sowie dazwischen liegenden Barrieren ab. Strukturen mit Barrierewirkung sowie die Versorgung von Parkanlagen und Naherholungsgebiete, die in einem Umkreis von 250 m und 500 m um die jeweiligen Flächen liegen, sind in der grafischen Darstellung der Analyse in Abbildung 8-19 dargestellt. Für die vorab beschriebenen multifunktionalen Parkanlagen (außer Friedhöfe) und Naherholungsgebiete wurden daher in einer Pufferanalyse die Abstände bis 250 m (bis 5 min Fußweg) und bis 500 m (bis 10 min Fußweg) ermittelt. Diese Art der Analyse betrachtet die Erreichbarkeit basierend auf der Entfernung entlang der Luftlinie. Die Ergebnisse liefern ein gutes Bild über die Versorgung mit Grünflächen auf gesamtstädtischer Ebene.

In Ortsteilen mit geringer Einwohnerdichte und vornehmlich Einfamilienhäusern, wie z.B. Adelhausen ist eine gute Klimavielfalt von geringerer Bedeutung als in der Innenstadt.

Von 33.814 Einwohner der Stadt Rheinfelden können 16.865 Einwohner innerhalb 250 m Luftlinie öffentlich zugängliche Parkanlagen und Waldgebiete besuchen. Für weitere 10.923 Einwohner liegt die Entfernung zu öffentlich zugänglichen Parkanlagen und Waldgebieten zwischen 250 m und 500 m.

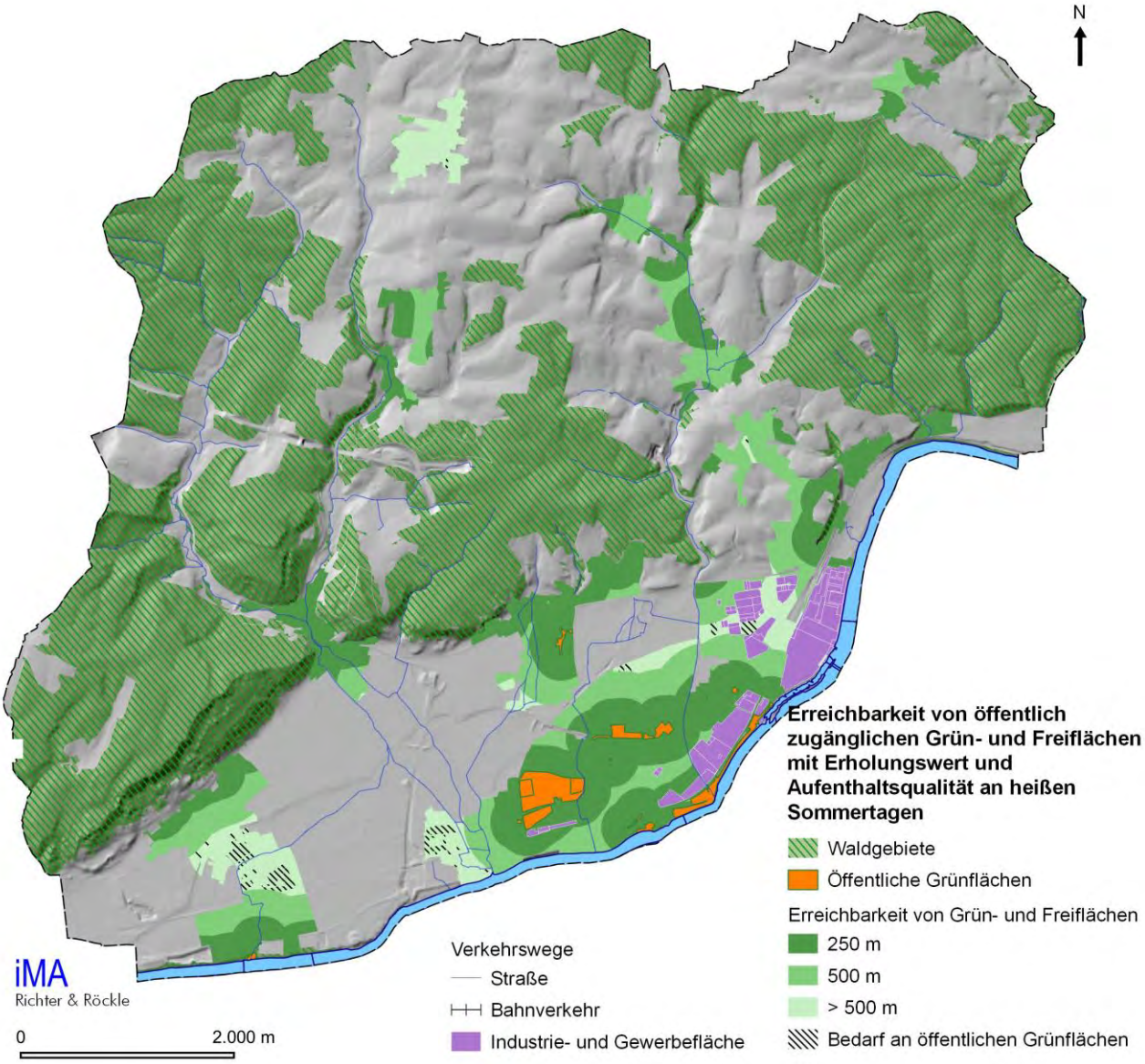

Abbildung 8-19: Versorgung der Siedlungsräumen mit multifunktionalen Parkanlagen und Naherholungsgebieten (Waldgebieten) hinsichtlich ihrer Erreichbarkeit.

Durch eine Analyse die Einwohnerzahlen je Gebäude, der Flurstücksgröße und einer Entfernung von mehr als 500 m wurde eine Bedarfsanalyse durchgeführt (Abbildung 8-19, schraffiert). In Adelhausen sind keine öffentlichen Grünflächen oder meist auch keine Waldflächen in 500 m Entfernung zu erreichen. Allerdings ist der Ort stark durchgrünt und die Einwohnerdichte gering, sodass nur ein geringer Bedarf für öffentliche Grünflächen vorhanden ist. Lediglich für 2.990 Einwohner in größeren Gebäuden beträgt die Entfernung mehr als 500 m. Defizite sind im Ortsteil Warmbach zu sehen und am nordöstlichen Ortsrand der Stadt Rheinfelden zwischen der Römerstraße und der Blauenstraße. Für den westlichen Ortsteil Herten dienen das Hertener Loch am Rheinufer und das Waldstück nordwestlich der Ortschaft als Naherholungsgebiete. Insbesondere bei Bebauung der Plangebiete könnte hier eine weitere Grün- und Spielfläche in auch für Kinder fußläufiger Distanz (< 500 m) realisiert werden.

8.8 Sensitivität

Zur Ermittlung der Sensitivität (Empfindlichkeit) der Siedlungsbereiche wird die Einwohnerdichte für die Flächen von 50 m x 50 m berechnet. Bereiche mit hoher Einwohnerdichte sind empfindlicher gegenüber Nutzungsänderungen.

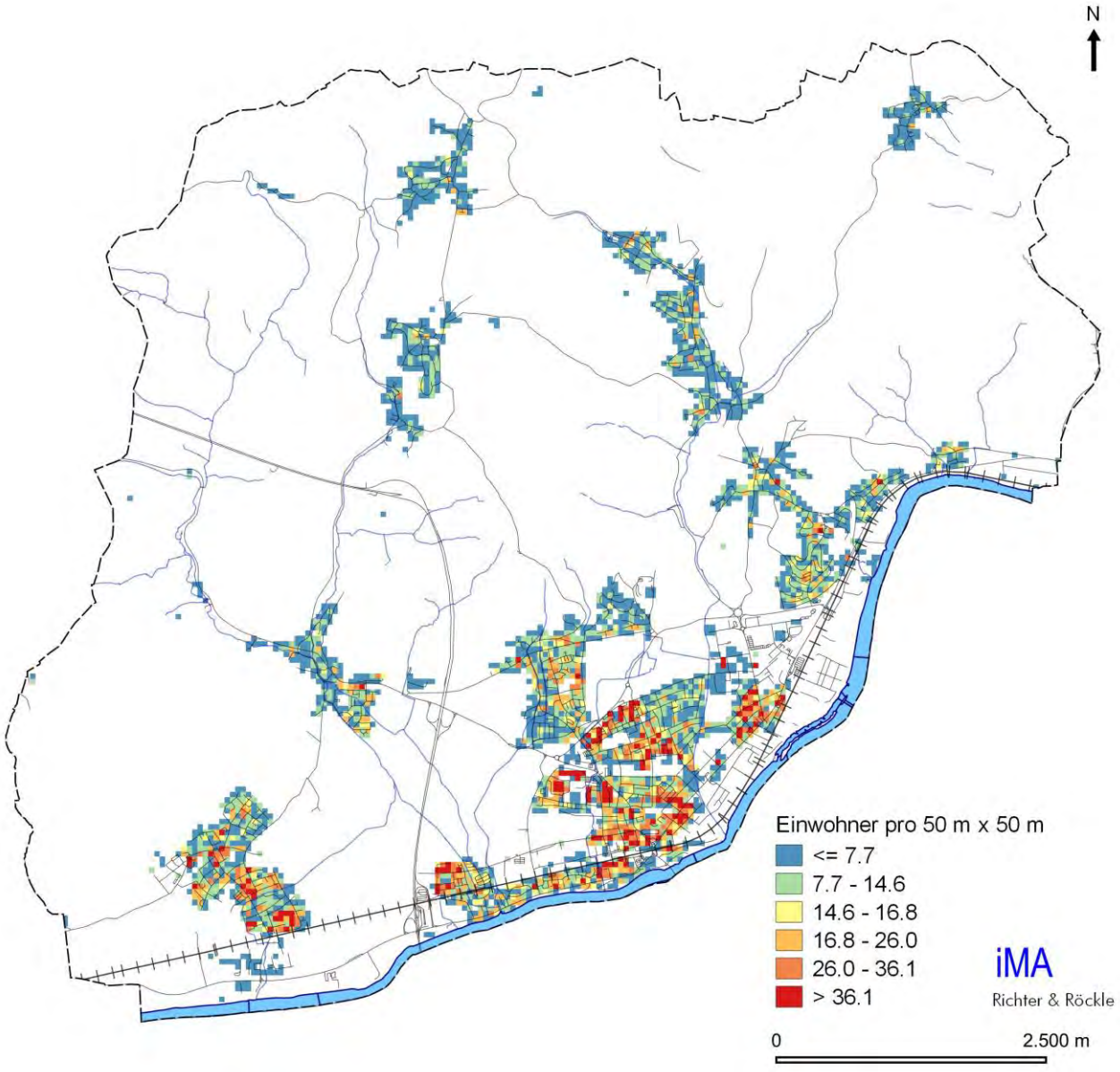

Abbildung 8-20: Empfindlichkeit bzw. Einwohnerdichte pro 50 m x 50 m.

In Abbildung 8-20 ist die Einwohnerdichte von Rheinfelden zu sehen. Die höchsten Einwohnerdichten ergeben sich am nordöstlichen Stadtrand entlang der Nollinger Straße, gefolgt von denen entlang des Äußeren Rings. Eine erhöhte Sensitivität ist auch entlang der Friedrichsstraße und westlich des Stadtzentrums zu erkennen. In den Stadtteilen fallen höhere Einwohnerdichten in Herten am südöstlichen Ortsrand und an der Hauptstraße (St. Josefshaus), sowie in Warmbach entlang der Hertener Straße auf.

8.9 Betroffenheit

Die Betroffenheit ergibt sich aus der Überlagerung der Empfindlichkeit (Abbildung 8-20) mit der thermischen Belastung (Abbildung 8-21). Sie ist in Abbildung 8-22 dargestellt. Die Berechnung der thermischen Betroffenheit wird im Anhang A1.2.4 (Seite 128) detailliert beschrieben.

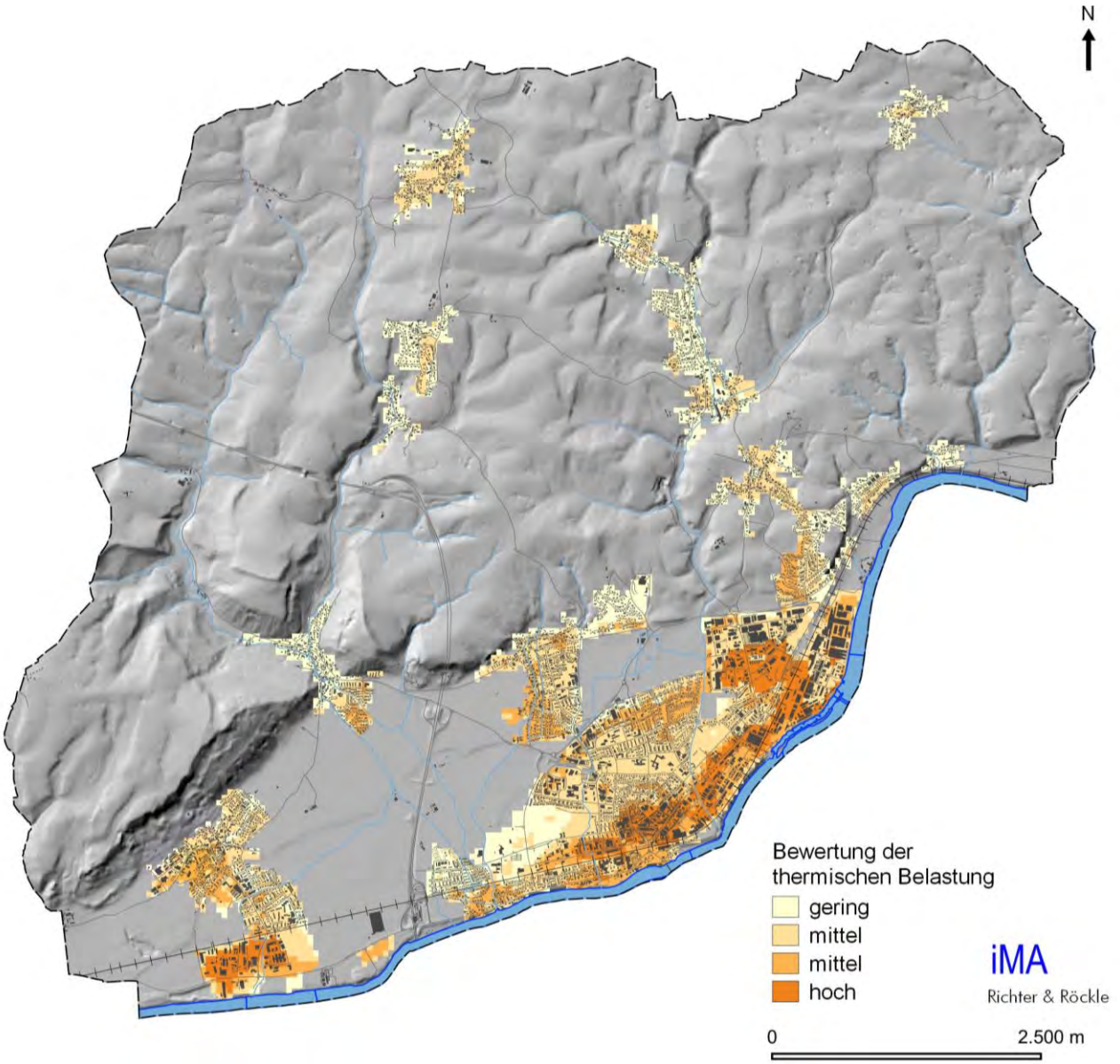

Abbildung 8-21: Thermische Belastung. Eingangsgrößen für die Berechnung der thermischen Betroffenheit sind die urbane Wärmeinsel, PET und die Klimavielfalt.

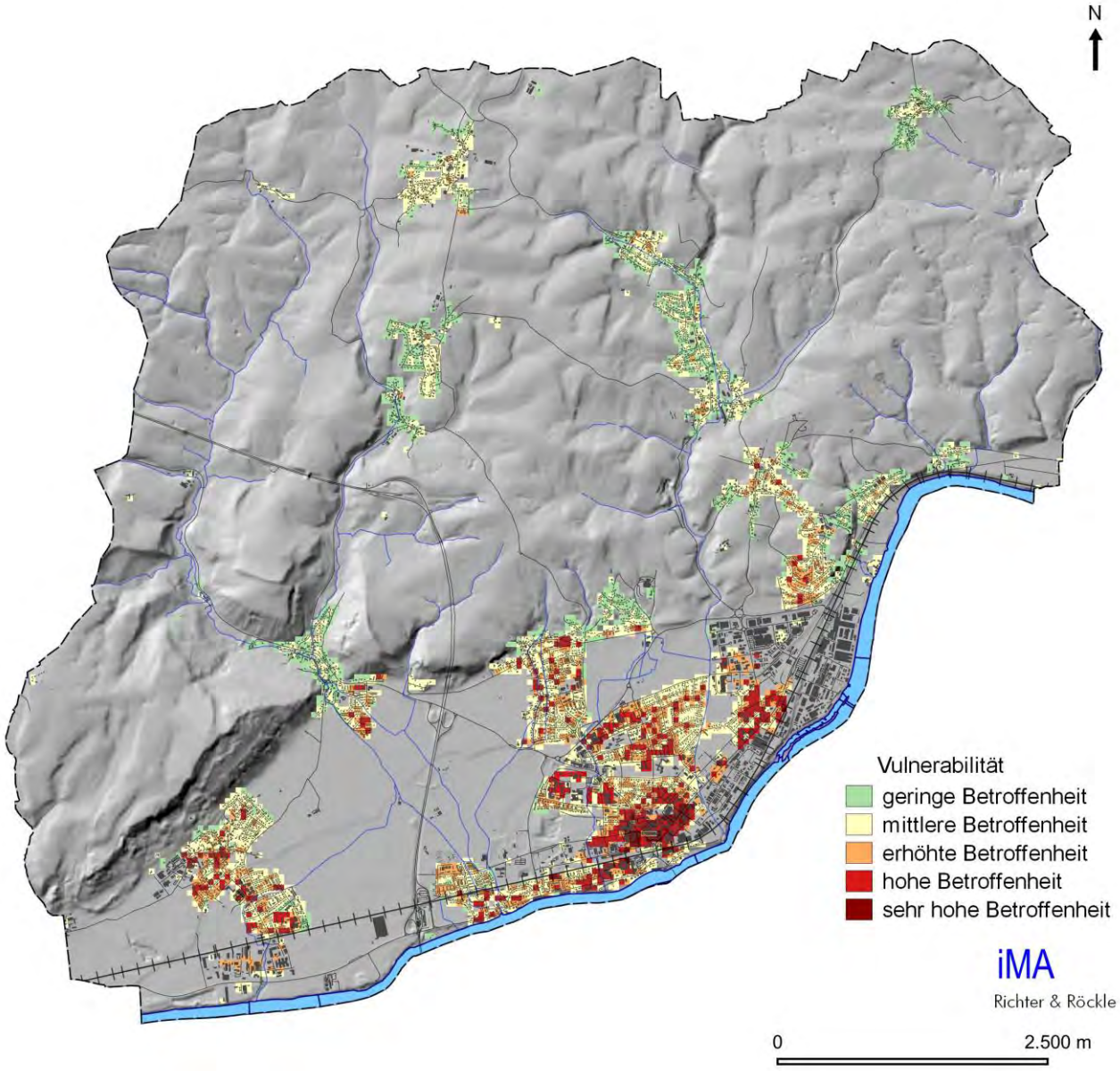

Abbildung 8-22: Thermische Betroffenheit. Eingangsgrößen für die Berechnung der thermischen Betroffenheit sind die Empfindlichkeit, urbane Wärmeinsel, PET und die Klimavielfalt.

Eine hohe Einwohnerdichte und hohe thermische Belastung führen im Bereich des Stadtzentrums zu einer sehr hohen Belastung. Bereiche mit einer hohen Belastung befinden sich insbesondere im Wohngebiet im Bereich der Scheffelstraße und der umliegenden Straßen sowie südlich der Römerstraße auf Höhe der Edmund-Schweizer-Straße sowie Nordwestlich der Gertrud-Luckner-Realschule. Diese Bereiche weisen besonders durch ihre hohe Einwohnerdichte eine hohe Betroffenheit aus. Vereinzelt zeigen auch die Ortsteile Herten und Nollingen und in geringem Maße Warmbach und Degerfelden Bereiche mit hoher Betroffenheit auf. Der Schwerpunkt der Betroffenheit bildet allerdings das Stadtzentrum sowie das Wohngebiet an der Scheffelstraße/Schwedenstraße.

Mit der Entfernung vom Stadtzentrum nimmt die thermische Belastung mit Ausnahme der oben genannten Bereiche, deutlich ab, sodass Stadtrandbereiche und umliegende Dörfer weniger stark betroffen sind.

9 Klimafunktionskarte

Die Klimafunktionskarte (Abbildung 9-1), 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. Ergänzt wird die Karte durch die Darstellung der Aerotope[16].

Die Kartenerstellung basiert auf der VDI-Richtlinie 3787, Blatt 1 (VDI, September 2015), in der vorgeschlagen wird, klimarelevante Flächen, sogenannte Klimatope, auszuweisen. **Klimatope** bezeichnen räumliche Einheiten mit ähnlichen mikroklimatischen Strukturen. Die in den vorangegangenen Kapiteln beschriebenen Modellierungen bilden neben der Realnutzung die Grundlage für die Klimatopkarte. Da Vorgänge in der unteren Atmosphäre betrachtet werden, sind die Übergänge zwischen den Klimatopen eigentlich fließend, d.h. die Abgrenzungen in der Klimatopkarte sind nicht als „scharfe“ Grenzen, sondern eher als „Grenzsäume“ zu sehen.

Die in Abbildung 9-1 gezeigte Strömung bezieht sich auf das Überdachniveau in der zweiten Nachthälfte. Die Beschreibung der Klimatope und ihrer klimatischen Eigenschaften ist in Anhang A2 aufgelistet.

Im Wesentlichen existieren in Rheinfelden zwei **Luftleitbahnen**. Sie erstrecken sich einerseits von östlich des Nollinger Bergs über das Linsental und Großmatt bis nordöstlich von Warmbach. Zum anderen existiert eine Luftleitbahn welche sich südlich von Degerfelden nach Herten erstreckt und über den Flugplatz verläuft.

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 Gebiete mit mittlerer und starker **Luftbelastung** (Aerotope) sind schraffiert, bzw. gepunktet dargestellt und kennzeichnen die Gebiete mit einer NO_2-Belastung von 30 µg/m³ – 40 µg/m³ und > 40 µg/m³. Stickstoffdioxidbelastungen > 40 µg/m³ kommen allerdings nur auf den Fahrbahnen vor. Diese sind nach 39. BImSchV nicht beurteilungsrelevant. Mittlere NO_2-Belastungen treten besonders entlang der Autobahnen 98 und 861 sowie der Bundesstraßen 34 und 316 und vereinzelt an stärker befahrenen Straßen im Zentrum auf.

[16] *Aerotope bezeichnen räumliche Einheiten mit gleichartigen lufthygienischen Verhältnissen.*

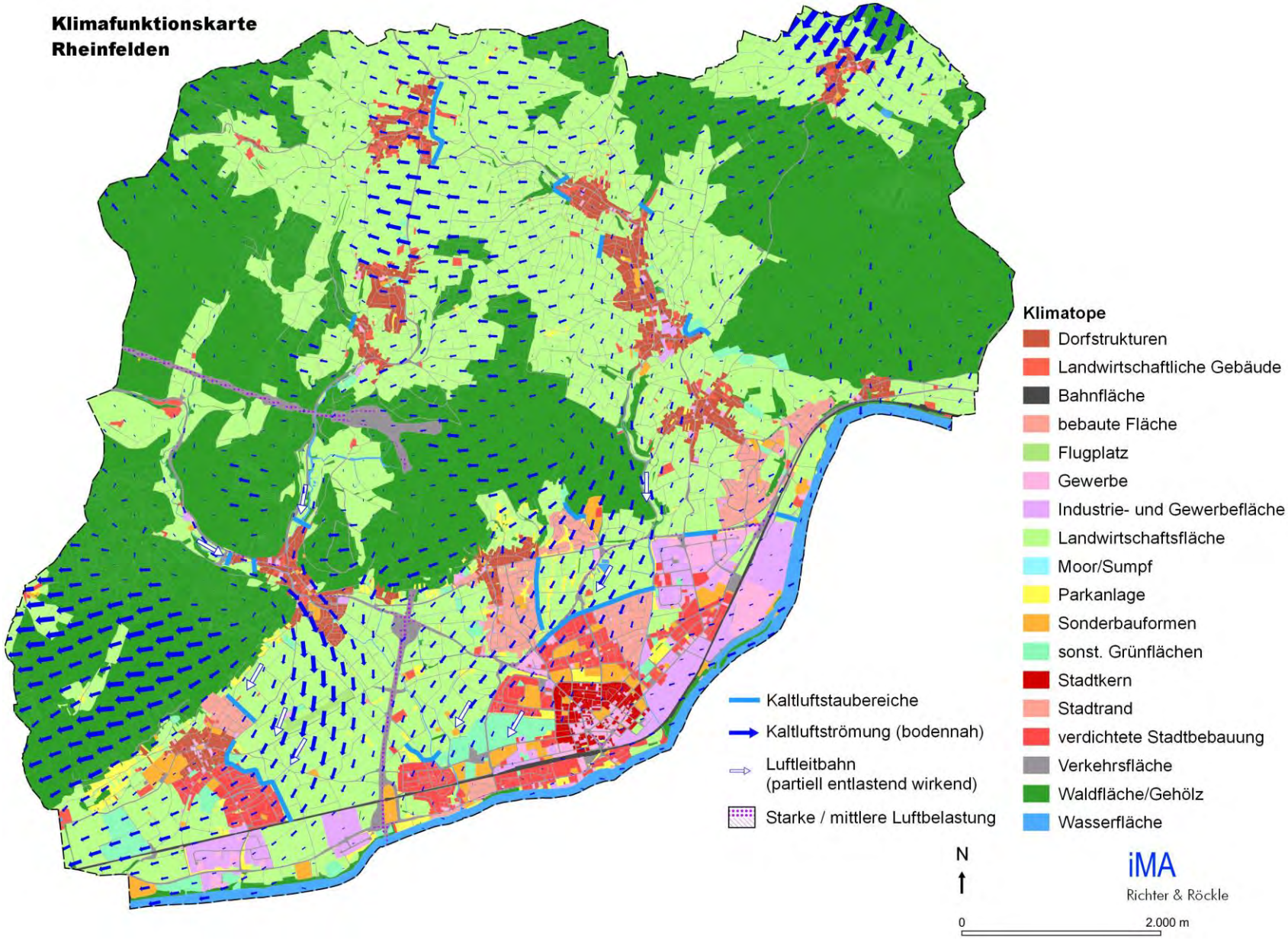

Abbildung 9-1: Klimafunktionskarte zeigt die Klimatope, die Kaltluftströmung im Überdachniveau, die potentiellen Luftleitbahnen, sowie die Luftbelastung.

10 Planungshinweiskarte

Während die Klimatopkarte eine weitgehend wertfreie Darstellung der klimatischen und lufthygienischen Verhältnisse repräsentiert, werden auf der Planungshinweiskarte zum einen die Freiflächen hinsichtlich ihrer klimatisch-lufthygienischen Ausgleichsfunktion und zum anderen die Siedlungsflächen hinsichtlich ihrer Empfindlichkeit gegenüber einer Siedlungsverdichtung oder -erweiterung klassifiziert. In Abbildung 10-1 werden die Siedlungsflächen im Hinblick auf die thermische Belastung bewertet, in Abbildung 10-2 auf die thermische Betroffenheit (Vulnerabilität) unter Berücksichtigung der thermischen Belastung und der Sensitivität (Einwohnerdichte).

In Abbildung 10-2 sind Die Siedlungsbereiche nach **thermischer Betroffenheit** eingefärbt. Je dunkler die Farbe, desto höher ist dort die Belastung. In den stark belasteten Bereichen sollte die Wärmebelastung nicht weiter erhöht werden. Hier sind Minderungsmaßnahmen anzustreben. Dies kann in Form von Ausgleichsflächen erfolgen, die stärker begrünt werden. Aber auch jegliche Verringerung des Anteils der versiegelten Fläche z.B. durch Fassaden- und Dachbegrünung, Bäume sowie Pocket-Parks verringern die Wärmebelastung. Weitere Maßnahmen werden im Klimaanpassungskonzept diskutiert und vorgeschlagen. Nachverdichtungen in diesen Bereichen sind hinsichtlich der Schaffung von Ausgleichsflächen zu überprüfen.

Die **Grünflächen** sind nach aufsteigender Relevanz für die nächtliche Durchlüftung von grün nach blau eingefärbt. Je blauer die Fläche, desto wichtiger ist diese für den Kaltluftzustrom. Diese Flächen sollten von geschlossener Bebauung freigehalten werden. Einzelne Gebäude sollten die Höhe der angrenzenden oder umliegenden Bebauung nicht übersteigen.

Die **innerörtlichen klimarelevanten Grünflächen** sind grün eingefärbt. Diese Flächen sollten erhalten werden, da sie Erholungsflächen (Klimavielfalt) bzw. Ausgleichsflächen für die Nachbarschaft darstellen.

Für die Durchlüftung von Rheinfelden während autochthonen Wetterlagen ist die **Luftleitbahn** östlich des Nollinger Bergs von großer Bedeutung. Diese sorgt für eine Durchlüftung der nördlichen Randbereiche Rheinfeldens entlang der Römerstraße. In der Verlängerung der Luftleitbahn dient die Freifläche „Obere Rütte“ mit dem Skulpturengarten der Entlüftung. Die sich angrenzende landwirtschaftliche Freifläche nordöstlich von Warmbach trägt wesentlich zur Belüftung von Warmbach bei. Die Freiflächen zwischen Degerfelden und Herten dienen der Belüftung von Herten.

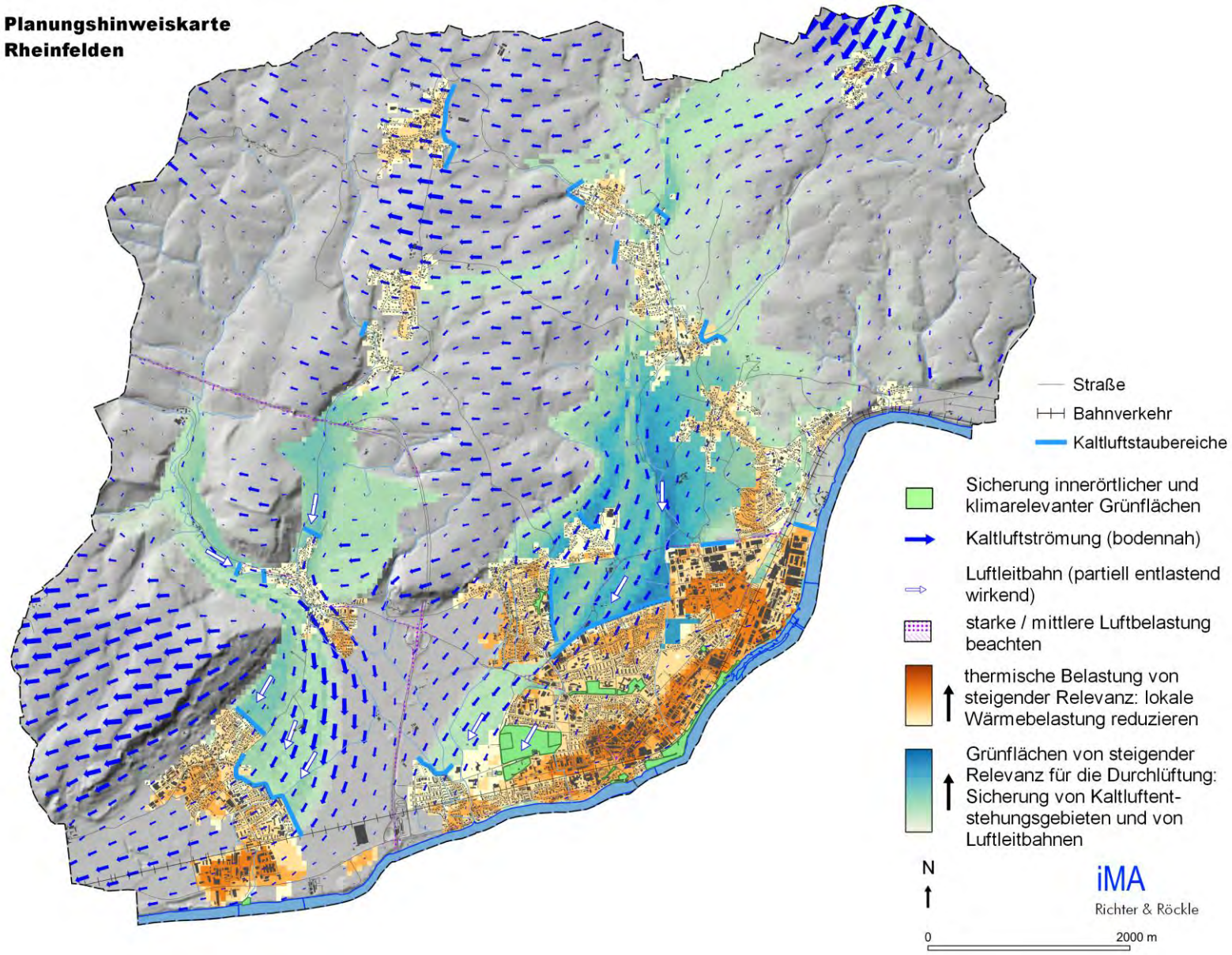

Abbildung 10-1: Planungshinweiskarte für die Stadt Rheinfelden (Teil 1).

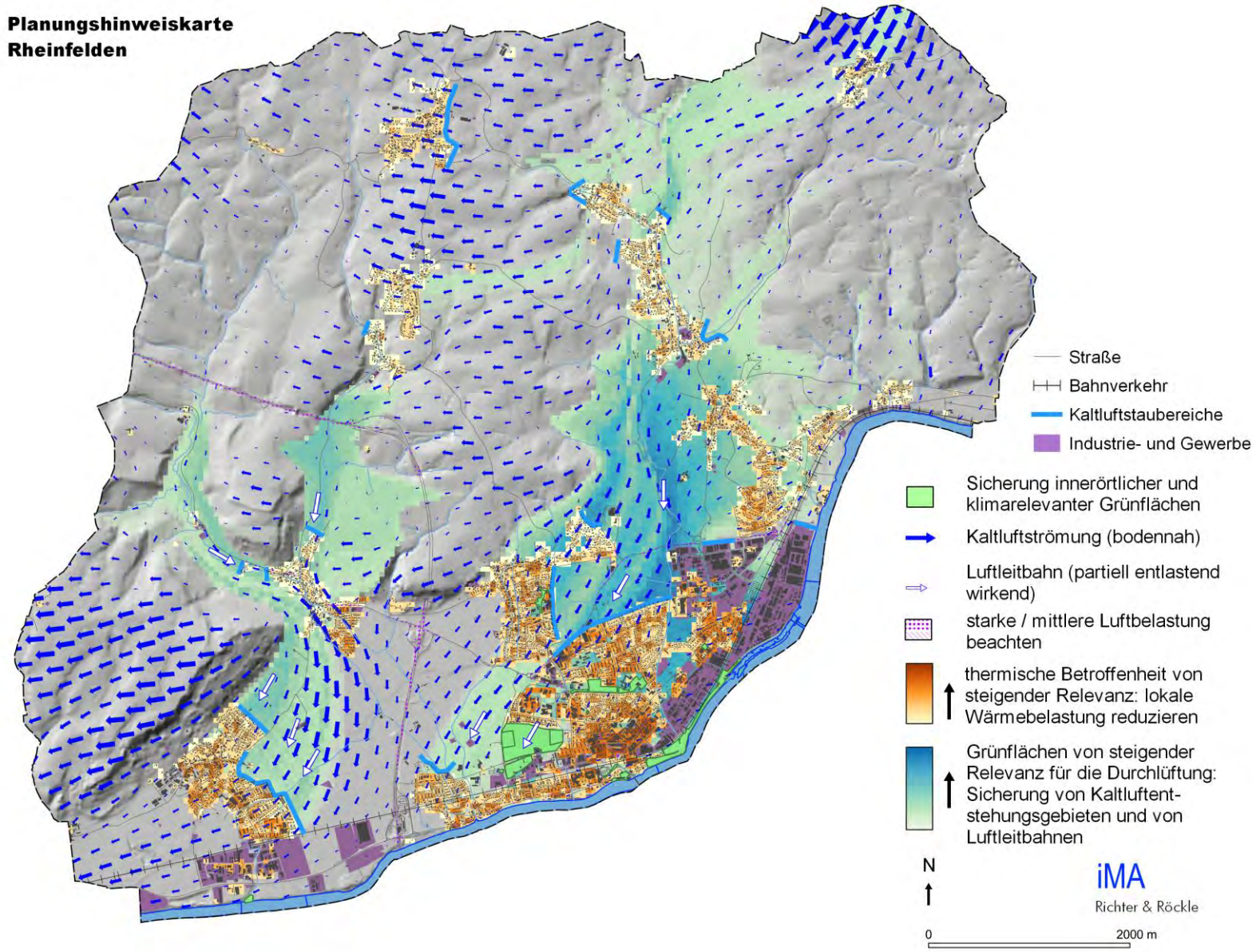

Abbildung 10-2: Planungshinweiskarte für die Stadt Rheinfelden (Teil 2).

11 Analyse des Flächennutzungsplans

Durch den prognostizierten Klimawandel und die zukünftige bauliche Entwicklung Rheinfeldens werden sich die lokalklimatischen Verhältnisse ändern. Um eine Vergleichbarkeit mit dem Istzustand zu gewährleisten, wurden nur die im FNP potenziell geplanten Wohn-, Misch-, Industrie- und Gewerbegebiete, sowie der geplante Friedhof, Sportplatz und diverse Grünflächen berücksichtigt.

In Abbildung 11-2 und Abbildung 11-3 sind die abendlichen und nächtlichen Lufttemperaturen für den Istzustand (oben) und den Prognose-Planfall (unten) dargestellt. Die höchsten Lufttemperaturen im Istzustand findet man in der Innenstadt und den nordöstlich davon gelegenen Siedlungs- bzw. Gewerbegebieten.

Im Prognose-Planfall erkennt man, dass in den größeren Plangebieten deutlich höhere Lufttemperaturen auftreten. Um die Intensität und Reichweite zu analysieren, wurde eine Differenzendarstellung (Abbildung 11-1) erzeugt. Die größte Änderung der Lufttemperatur ergibt sich auf den Baugebieten Grendelmatt III, östliche Cranachstraße, Römern und den gewerblichen Bauflächen an der B34 mit etwa +1,2 K bis +1,4 K.

Die größten Auswirkungen auf die abendliche Lufttemperatur ergeben sich in den Plangebieten selbst. Die Effekte klingen, abhängig von der Windrichtung, der Windgeschwindigkeit und dem Turbulenzzustand rasch ab, so dass in den angrenzenden Wohngebieten die Temperaturdifferenzen i.d.R. geringer als 1 K (Abbildung 11-1) sind.

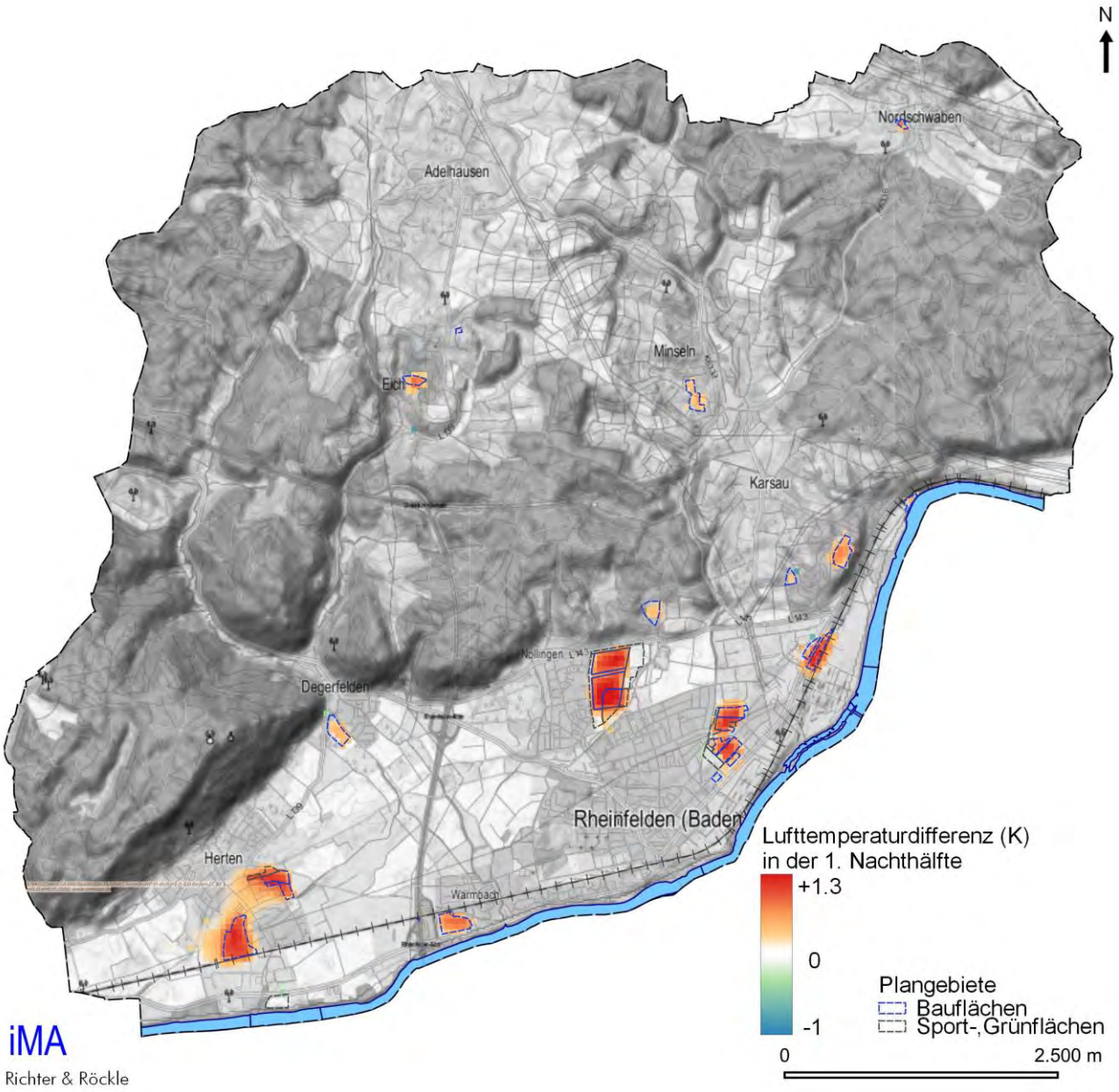

Abbildung 11-1: Änderung der Lufttemperatur um 22:00 Uhr unter Annahme der Realisierung der potenziellen Wohn- und Misch- sowie Industrie- und Gewerbegebieten (dunkelblau umrandete Flächen) im Vergleich zur Lufttemperatur des aktuellen Zustands.

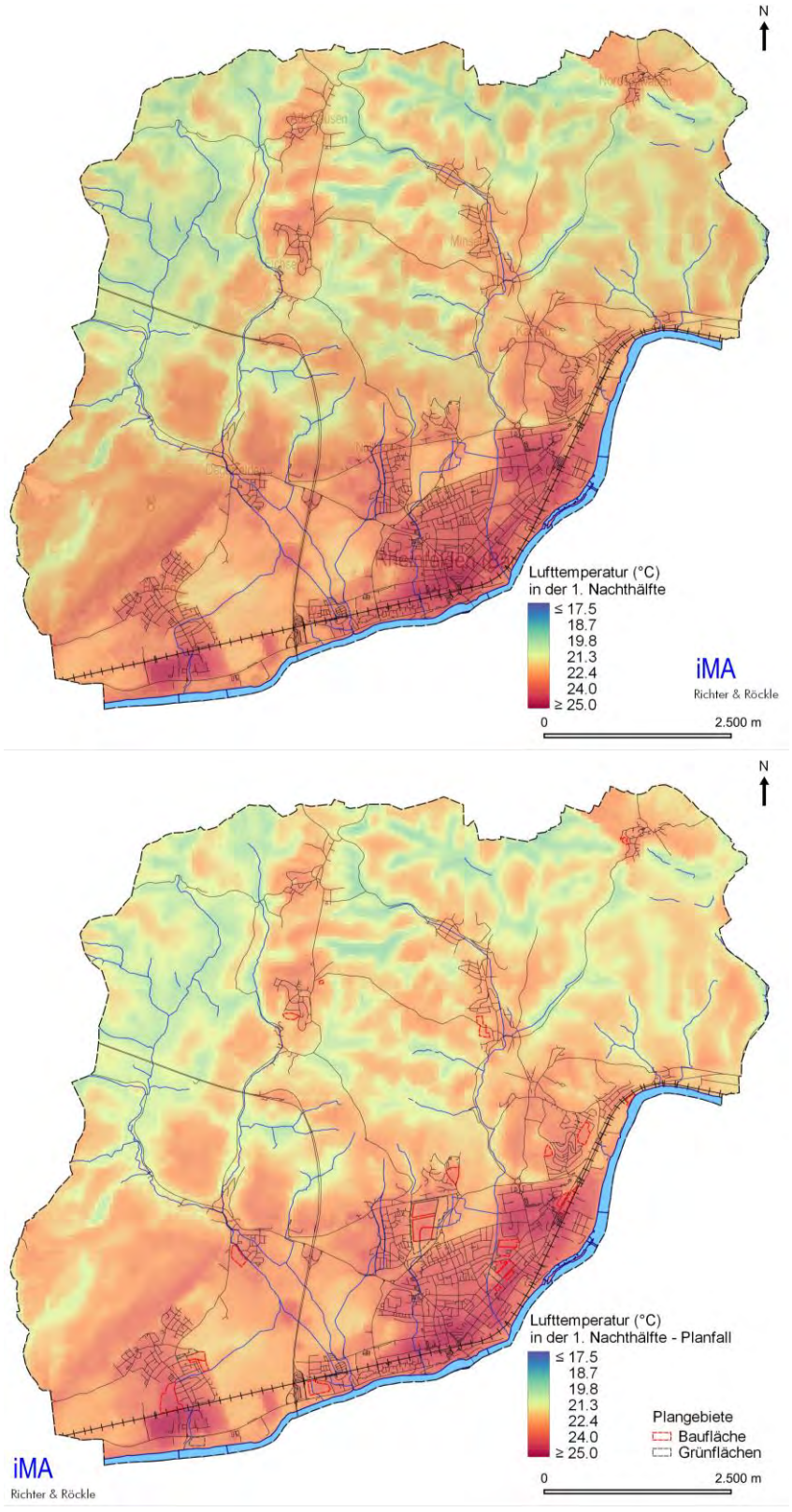

Abbildung 11-2: Abendliche Lufttemperatur (22:00 Uhr) unter Berücksichtigung des aktuellen Bebauungszustands (oben) und bei Umsetzung der potenziellen Wohn- und Misch- sowie Industrie- und Gewerbegebieten (unten).

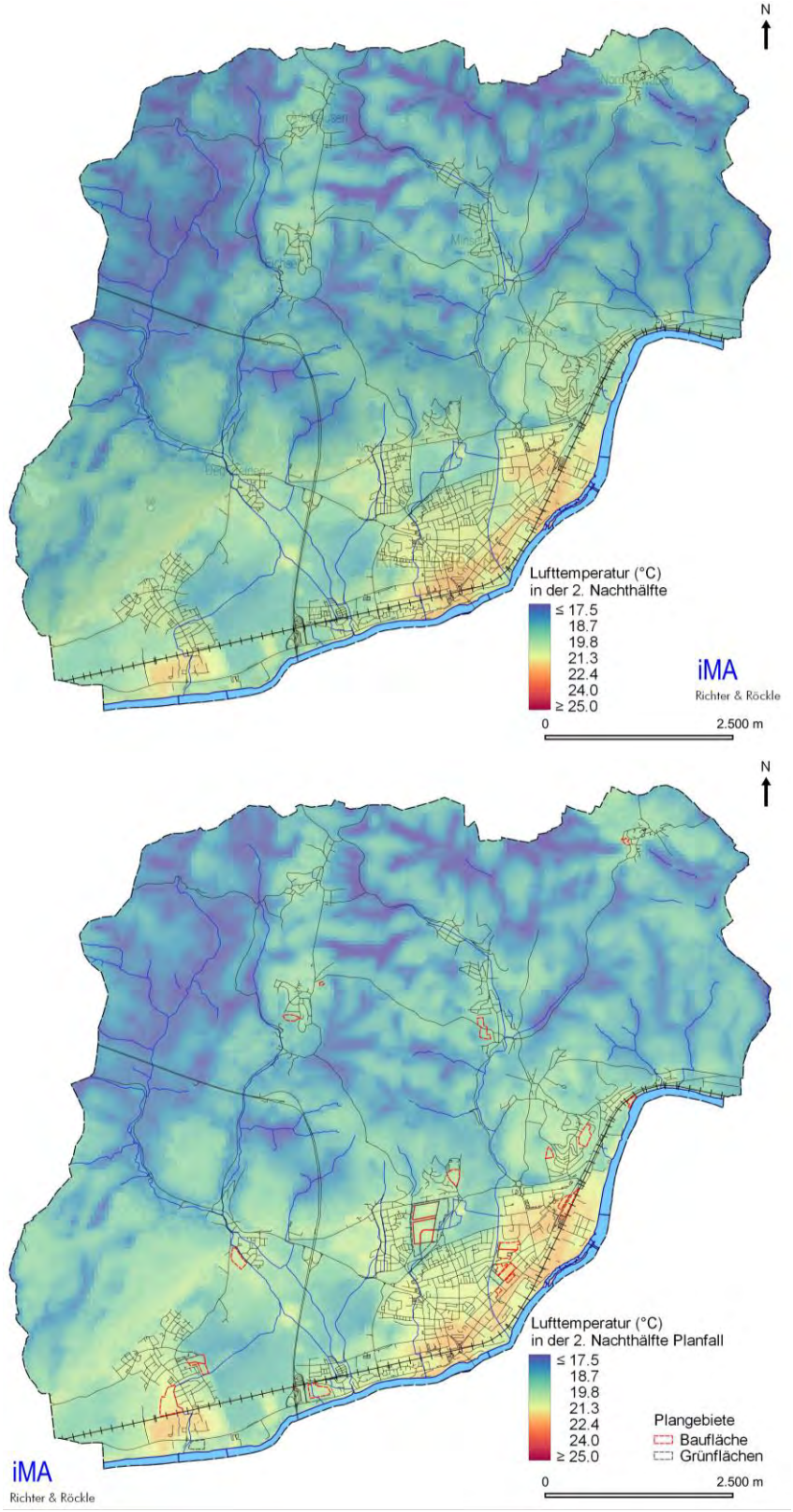

Abbildung 11-3: Lufttemperatur in der zweiten Nachthälfte (04:00 Uhr) unter Berücksichtigung des aktuellen Bebauungszustands (oben) und bei Umsetzung der potenziellen Wohn- und Misch- sowie Industrie- und Gewerbegebiete (unten).

Durch die Erhöhung der Oberflächenrauigkeit durch die Plangebiete wird auch die bodennahe Strömung abgebremst. In Abbildung 11-4 ist die Reduktion der Volumenstromdichte in den Abendstunden durch die potenziellen Baugebiete dargestellt. In Bereichen mit hoher Volumenstromdichte sind die absoluten Auswirkungen größer als in Bereichen, in denen kaum Kaltluft fließt. Zudem ist bei Baugebieten, die eine große Ausdehnung in Windrichtung aufweisen, der Reibungsverlust größer als bei Baugebieten, die nur eine kurze Erstreckung in Windrichtung aufweisen.

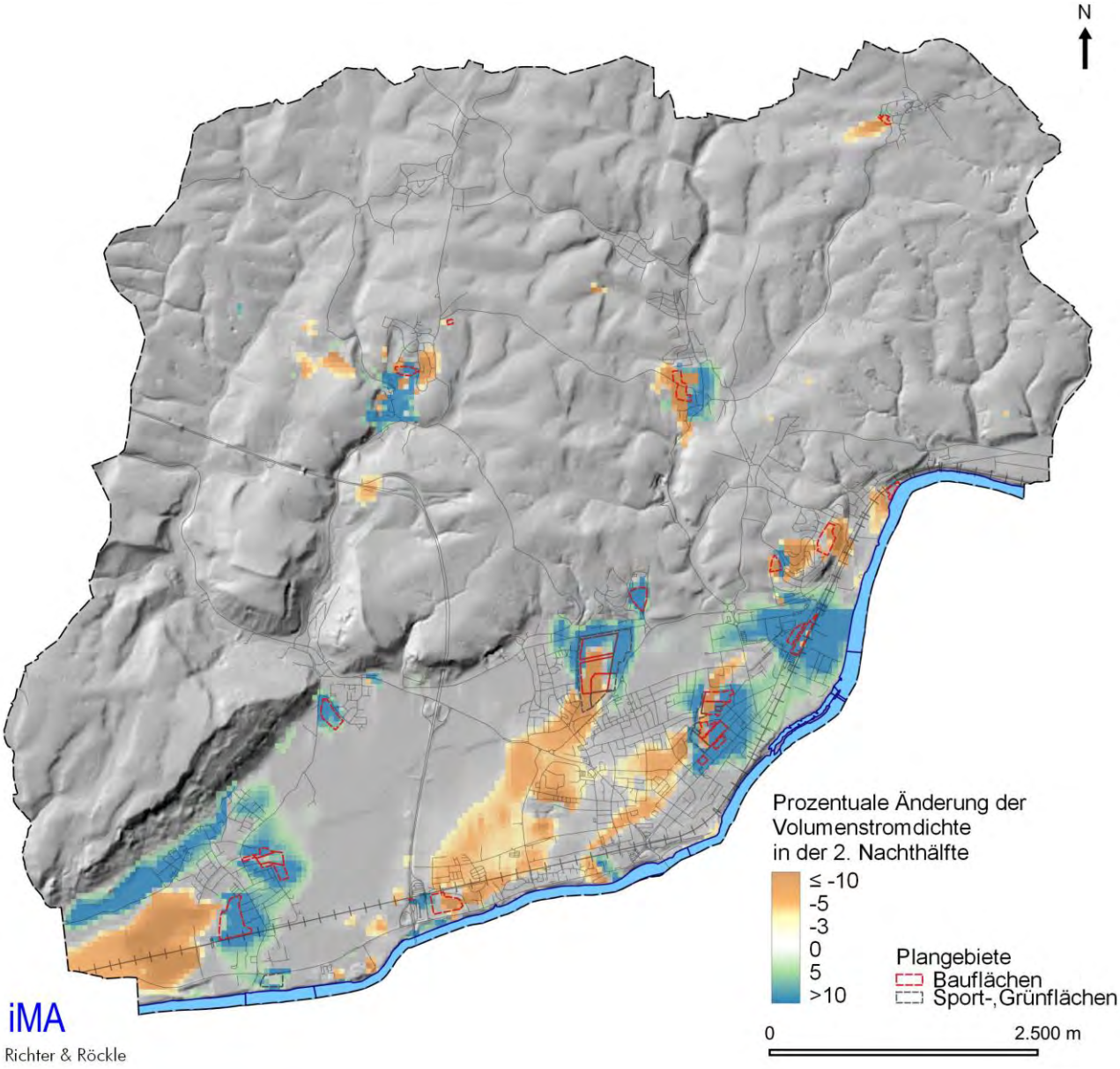

Abbildung 11-4: Änderung der Volumenstromdichte im Dachniveau (28 m) um 22:00 Uhr bei Realisierung der potenziell geplanten Wohn- und Misch- sowie Industrie- und Gewerbegebiete (dunkelblau umrandete Flächen) im Vergleich zum aktuellen Zustand.

Durch die geplante Bebauung im Gebiet östliche Cranachstraße könnte der Volumenstrom um mehr als10 % abnehmen.

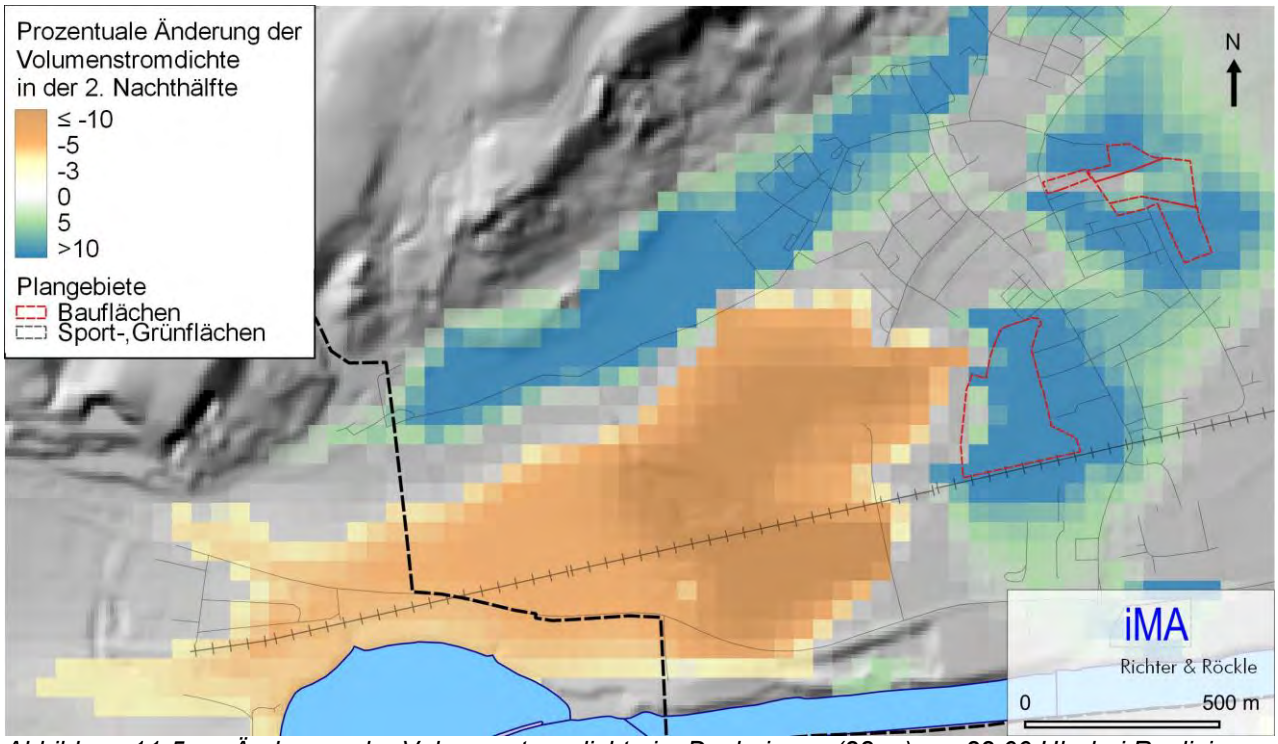

Abbildung 11-5: Änderung der Volumenstromdichte im Dachniveau (28 m) um 22:00 Uhr bei Realisierung der potenziellen Wohn- und Misch- sowie Industrie- und Gewerbegebiete (dunkelblau umrandete Flächen) im Vergleich zum aktuellen Zustand.

12 Handlungsstrategien für die Stadtplanung

Dieses Kapitel stellt Handlungsstrategien für die klimarelevanten Aspekte der Durchlüftung, der thermischen und der lufthygienischen Belastung zusammen. Die Strategien bzw. Empfehlungen entsprechen den Inhalten der Städtebaulichen Klimafibel, sowie den Regionalen Klimaanalysen des Südlichen Oberrhein (REKLISO) und 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, so dass dadurch die Luftbelastung erhöht wird. Im Einzelfall ist daher die Wahl der Maßnahmen zu prüfen und abzuwägen welche Ziele die größere Priorität haben.

12.1 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. autochthone Wetterlage) 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 12-1):

- Freihalten von Kaltluftproduktionsflächen und Luftleitbahnen von geschlossener Bebauung oder riegelbildenden Hindernissen,
- Schaffung von Grünzügen innerhalb der Siedlungskörper als Belüftungsschneisen und Luftleitbahnen,
- Begrenzung von Gebäudehöhen, um das Überdachniveau niedrig zu halten,
- Bau von strömungsdurchlässigen Siedlungsbereichen mit Luftleitbahnen,
- Offene Gestaltung von Siedlungsrändern für eine möglichst hohe Eindringtiefe,
- Ausrichtung von Straßenzügen längs zur vorherrschenden, für den Luftaustausch relevanten Windrichtung.

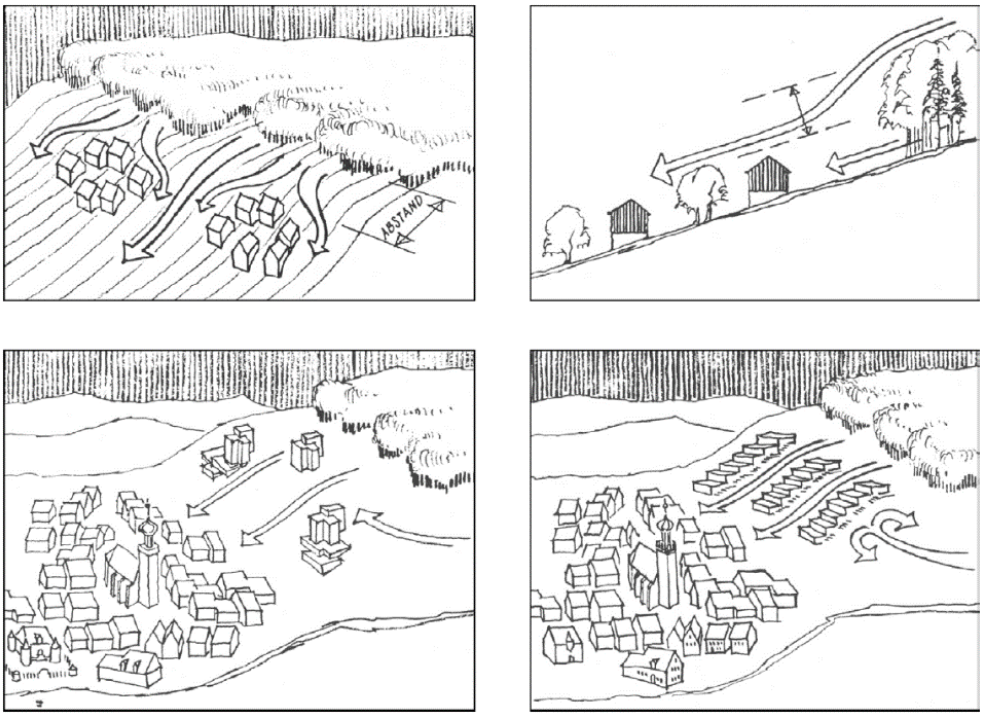

Abbildung 12-1: Empfehlungen zur Bebauung von Hanglagen aus der Städtebaulichen Klimafibel: Einhaltung eines möglichst großen Abstands von Waldrändern (oben links), Unterschreitung der Gebäudehöhe bezüglich der Höhe bestehender Hindernisse (oben rechts), bevorzugt punktförmige Bebauung (unten links) und Ausrichtung der Gebäude längs der Richtung von Hangabwinden unter Berücksichtigung anderer dominierender Windrichtungen (Baumüller, Hoffmann und Reuter, 1990).

12.2 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 12.1 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 zu entnehmen.

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. mittels Grünflächen, permeabler Asphalt, Grasgittersteine, Kfz-Stellflächen unter die Erde verlegen, Brunnen),
- Vermeidung von Stein- und Schotterflächen in den Vorgärten und sonstigen privaten Grünflächen,

- Verschattung versiegelter Bereiche (insbesondere von Kfz-Stellflächen),
- Förderung kleiner auch privater Grünflächen,
- Ausreichend innerstädtische Grünflächen mit Baumbestand größer 0,5 ha, um die Klimavielfalt zu erhalten oder zu fördern,
- Innenhof- oder Straßenbaumbepflanzungen,
- 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 durch Dachbegrünung ebenfalls zum Klimaschutz beiträgt,
- Kombination von extensiver Dachbegrünung und Solarzellen,
- Fassadenbegrünungen (Verschattung der Wand, geringere Reflektion der Sonnenstrahlung, geringere Schallreflexion (siehe Abbildung 12-2),
- Neubauten nach aktuellen EnEV 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).

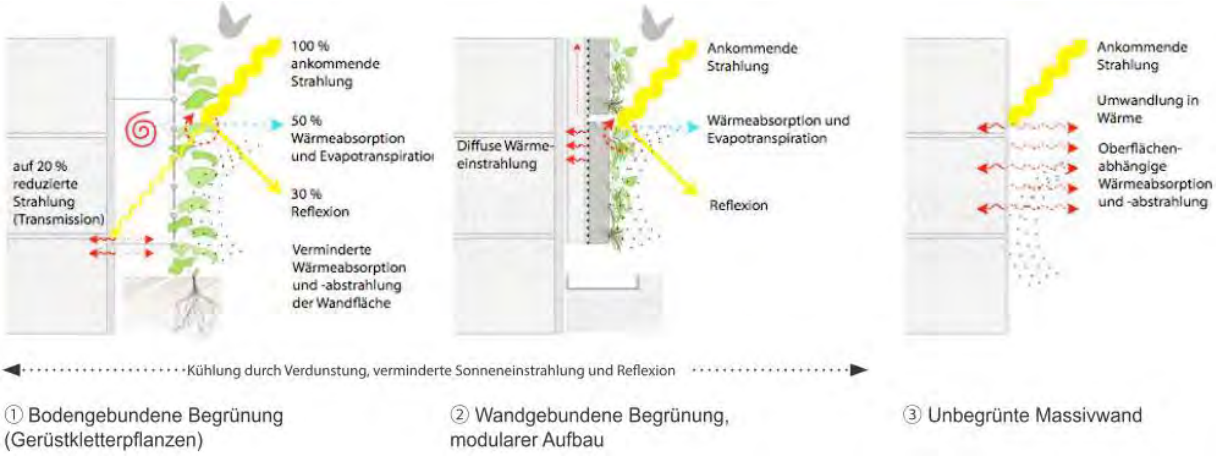

Abbildung 12-2: Einfluss der Fassadenbegrünung auf das Mikroklima. Erhöhte Lebensdauer der Fassade durch reduzierte Sonneneinstrahlung/UV-Belastung und Schlagregenschutz der Außenwand (© Nicole Pfoser, Dettmar et al. 2016).

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

Klimaschutz- und Adaptationsmaßnahmen können sowohl konkurrieren (Solaranlage vs. Dachbegrünung) als sich auch ergänzen. In Tabelle 12-1 wird diese sich ergänzende Wirkung am Beispiel von städtischen Begrünungsmaßnahmen dargestellt.

Tabelle 12-1: Wirkungskatalog von Begrünungsmaßnahmen hinsichtlich des Klimaschutzes und der Klimaanpassung.

Wirkungen bezüglich Klimaschutz	**Wirkungen bezüglich Klimaanpassung**	**Sonstige Wirkungen**
1. Sauerstoffproduktion 2. Kohlenstoffspeicherung 3. Verbesserung der CO_2-Bilanz - durch Photosynthese - durch Reduktion des Heizwärme- und Kühlbedarfs - durch Lebensdauerverlängerung von Materialen durch Abschattung materialschädigender UV-Strahlung	1. Stadtbegrünung 2. Grünflächen mit geringer Rauigkeit dienen als Luftleibahnen und tragen zur besseren Durchlüftung bei 3. Reduktion des Energiebedarfs (Klimaanlage und Heizbedarf) 4. Erhöhte Verdunstung = verringerte Aufheizung der künstlichen Materialien sowie geringer Anstieg der Lufttemperatur 5. Kühlung durch Verschattung 6. Verringerung der urbanen Wärmeinsel	1. Verringerte Schallreflexion 2. Attraktiverer Lebensraum 3. Verringerung der Luftbelastung durch verbesserte Durchlüftung und Reduktion des Energiebedarfs

Tabelle 12-2: Maßnahmen zur Abschattung der direkten Sonnenstrahlung, um Hitzestress für Menschen zu reduzieren, einschließlich ihrer qualitativen Bewertung (»-«: unwirksam, »0«: leicht wirksam, »+«: wirksam, »++«: sehr wirksam) (Quelle: Lee & Mayer 2019, geändert), sowie ihre Wirksamkeit um Energie zu sparen (Klimaschutz).

Maßnahmen		Adaptationsmaßnahmen		Mitigationsmaßnahme (Klimaschutz)
		Freiräume	Innenräume	
Technische Einrichtungen	Sonnenschirme,	+	+	+
	Sonnensegel,			+
	Markisen			+
Gebäude	Gebäudehöhe	+	+	-
	Ausrichtung des Gebäudes	+	+	+
	Baumaterialien	0	0	+
	Weiße Dächer	-	+	+
	Weiße Fassaden	-	+	+
Grüne Infrastruktur	Dachbegrünung	-	+	+
	Fassadenbegrünung	+	+	+
	Grüne Gleise	0	-	-
	Grasflächen	0	-	0
	Straßenbäume	++	+	0
	Aufgelockerte Parks	++	-	0
	(Grüne) Vorgärten	0	+	+
	Privater Baumbestand	++	+	+

12.3 Maßnahmen zur Verbesserung der Lufthygiene

Die Handlungsstrategien bezüglich lufthygienischer Belastungen überschneiden sich erneut mit jenen aus den vorangegangenen Kapiteln. Darüber hinaus können die folgenden Maßnahmen in Betracht gezogen werden:

- Verkehrsvermeidende Maßnahmen (Förderung des ÖPNV, Ausbau des Fahrradwegenetzes, Anreize für emissionsarme Kfz, emissionsarmer ÖPNV),
- Verflüssigung des Verkehrs durch Anpassung der Ampelregelungen („Grüne Welle“),
- Vermeidung der Ansiedlung von bedeutsamen Emittenten in Bereichen, in denen der Wind häufig in Siedlungsräume weht,
- Förderung emissionsarmer Heizsysteme, Einschränkung von Stückholzfeuerungen.

Immissionsschutzbepflanzung ist durch Straßenbegleitgrün oder Fassadenbegrünung möglich, wobei die Wirkung für Stickoxide und Feinstaub unter Freiluftbedingungen momentan noch erforscht wird. Straßenbäume gehen jedoch mit einer Verringerung des Luftaustauschs in einer Straßenschlucht und damit höheren Luftschadstoffbelastungen, insbesondere auf den Bürgersteigen und entlang der Häuserfassaden einher, sodass Fassadenbegrünungen zu favorisieren sind.

13 Steckbriefe für ausgewählte Baugebiete

13.1 Einleitung

Als Ergebnis der vorigen Kapitel entstanden zwei flächendeckende Ergebniskarten für das Gesamtgebiet der Stadt Rheinfelden:

- die Klimatopkarte und
- die Planungshinweiskarte.

Diese beiden Karten bilden die Grundlage für die im Folgenden durchgeführte qualitative Bewertung potenzieller Baugebiete auf der Ebene der Flächennutzungsplanung. Dabei sollen sowohl die möglichen klimatisch-lufthygienischen Auswirkungen der Baugebiete auf die Umgebung, als auch eventuelle Einwirkungen aus der Umgebung auf die Baugebiete betrachtet werden.

Angaben zur Dichte der künftigen Bebauung können zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht gemacht werden und sollen auch unter Berücksichtigung der klimatischen Risiken zu einem späteren Zeitpunkt erst festgelegt werden. Als Näherung ist in den Prognosen von einer Dichte analog zur Umgebungsbebauung auszugehen. Die Ausrichtung der Baukörper nach den Durchlüftungserfordernissen soll ebenso wie die Anpassung der Bebauungshöhe und eine angemessene Durchgrünung der neuen Baugebiete (Straßenbäume, Flachdachbegrünung) als selbstverständlich vorausgesetzt werden.

Die Prognosen sollten neben der Darstellung der summarischen Wirkungen auch Rückschlüsse auf die Auswirkungen jeder einzelnen Baufläche erlauben, um diese in der Diskussion vergleichend betrachten zu können. Wichtig ist die Ermittlung

- der Art,
- der Intensität,
- des Wirkraums und
- der Reichweite

einer möglichen klimatischen Beeinträchtigung.

13.2 Vorgehensweise

13.2.1 Allgemeines

Die Bebauung eines Plangebiets kann diverse Wirkungen auf das Plangebiet selbst sowie dessen Umgebung hervorrufen. Dabei wird unterschieden zwischen den „Auswirkungen“, die von dem Baugebiet auf die Umgebung verursacht werden, sowie den „Einwirkungen“, die von der Umgebung auf das Baugebiet wirken.

Basierend auf diesen Grundlagen werden a) die Auswirkungen von und b) die Einwirkungen auf die Baugebiete in Kapitel 13.3 beschrieben und bewertet.

Durch Bebauung und Versiegelung einer Fläche ändern sich lokal

a) der Wärmehaushalt (Strahlungsbilanz)

b) die Strömungsverhältnisse (Hinderniswirkung)

c) die lufthygienischen Verhältnisse (Emissionen durch Kfz und Hausbrand)

Wärmehaushalt

Als Beispiel der räumlichen Temperaturunterschiede zeigt Abbildung 13-1 Tagesgänge der Oberflächentemperatur verschiedener Untergründe. Während sich eine dunkle Straße an einem sonnigen Sommertag tagsüber auf über 50 °C erwärmen kann, erreicht eine grasbewachsene Oberfläche ein Maximum von lediglich 20 °C. Diese Temperaturunterschiede bewirken, wenn auch weniger ausgeprägt, einen merkbaren Unterschied in den darüberliegenden Luftschichten.

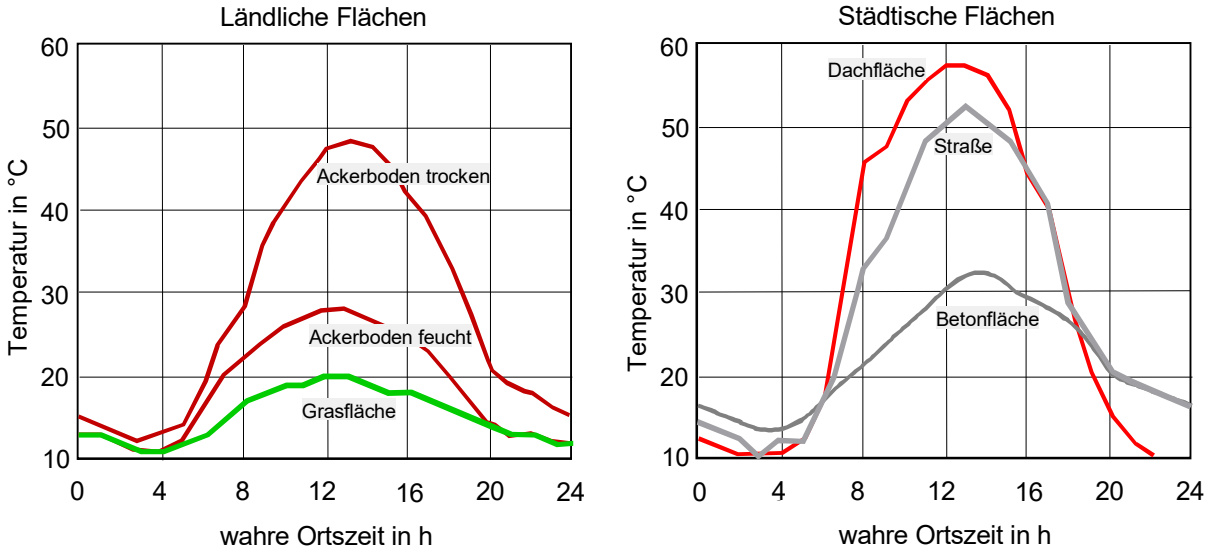

Abbildung 13-1: Tagesgänge der Oberflächentemperatur unterschiedlicher Nutzungen.

Nachts kühlt sich das aufgeheizte Stadtgebiet deutlich geringer ab als das unbebaute Umland. So kann die Temperatur während wolkenarmer Sommernächte im Stadtzentrum um mehr als 10 K höher liegen als im ländlichen Umland.

Strömungsverhältnisse

Durch die aerodynamische Rauigkeit der Baukörper wird der Strömung Impuls entzogen. Als Folge reduziert sich die Windgeschwindigkeit und die Böigkeit der Strömung nimmt zu. Dieser Effekt ist vor allem von der Bauhöhe abhängig, da die Windgeschwindigkeit mit der Höhe zunimmt und der Impulsverlust mit der dritten Potenz der Geschwindigkeit einhergeht. Riegelbebauung senkrecht zur Anströmung, insbesondere bei Kaltluftabflüssen, verhindert das bodennahe Eindringen der Strömung in den Siedlungsbereich, so dass der Luftaustausch vorzugsweise durch Herabmischen von Luft aus dem Dachniveau erfolgen muss.

Lufthygienische Verhältnisse

Siedlungsbereiche sind im Allgemeinen mit anthropogenen Emissionen verbunden. Diese werden hauptsächlich durch den mit Wohnen oder Gewerbe verbundenen Kfz-Verkehr verursacht. Ein

weiterer Teil wird durch den Hausbrand (Heizung, Warmwasserbereitung) erzeugt. In Gewerbegebieten können zusätzlich betriebsbedingte Emissionen auftreten. Hier sind vom Konfliktpotenzial an erster Stelle „Gerüche“ zu nennen.

Auswirkungen von Plangebieten auf die Umgebung

Die Auswirkungen einer Bebauung sind naturgemäß im Plangebiet selbst am größten. Wenn aus einem Wiesenstück eine Straßenschlucht entsteht, sind die Auswirkungen auf die Oberflächen- und Lufttemperatur, die Strömungsverhältnisse und die Luftqualität am Ort der Änderung am größten. Diese Effekte gehen mit zunehmender Entfernung in der Regel rasch auf ein nicht mehr spürbares Maß zurück.

Abstrakt betrachtet produziert jede überplante Fläche gewisse „Eigenschaften“ (Überwärmung, Luftschadstoffe, usw.). Diese Effekte werden vom Ort der Entstehung mit der jeweils vorherrschenden Strömung in die Umgebung verfrachtet. Für die Bewertung ist deshalb wichtig, an welchen Stellen Bereiche liegen, die gegenüber diesen Eigenschaften empfindlich sind. Ferner ist zu berücksichtigen, wie häufig der Wind in Richtung der „empfindlichen“ Bereiche weht.

Die Intensität der Einwirkung in der Nachbarschaft hängt zum einen von der Größe der überplanten Fläche und der Art der vorgesehenen Bebauung, zum anderen von den Windverhältnissen ab.

Besonderes Merk bei den Auswirkungen ist auf die Änderung von Kaltluftabflüssen zu legen. Diese entstehen insbesondere nachts während austauscharmer Wetterverhältnisse (Inversionswetterlage). Durch die reduzierte Vermischung mit umliegenden Luftmassen können diese Kaltluftabflüsse „Eigenschaften“ (siehe oben) über größere Entfernungen transportieren. Außerdem reagieren diese Strömungen empfindlicher auf Rauigkeiten und Wärmeeintrag als die turbulenten Strömungen während der Tagesstunden.

13.2.2 Grundlagen zur Beurteilung von Klima und Luft

Klima

Für das Schutzgut „Klima“ fehlen bisher allgemein gültige Bewertungsmaßstäbe. Aufgrund der bisherigen Fachdiskussion bieten sich folgende Leitlinien an (Grauthoff, 1994; Mayer, 1989; Richter et al., 1998):

- Schaffung bzw. Erhalt eines möglichst günstigen Bioklimas unter Berücksichtigung der Durchlüftungsverhältnisse und des thermischen Milieus.
- Schaffung bzw. Erhalt möglichst günstiger lufthygienischer Verhältnisse.
- Schaffung einer Vielfalt urbaner Mikroklimate unter Vermeidung von Extremen.

Der dritte Punkt wurde von Mayer anlässlich des Workshops „Ideales Stadtklima“ formuliert und sagt aus, dass den Stadtbewohnern in Gehnähe (ca. 150 m) eine möglichst große Vielfalt an Atmosphärenzuständen dargeboten werden sollte. Beispielsweise sollten im Sommer durchgrünte Bereiche vorhanden sein, in denen die Bürger bei Bedarf Schatten und Abkühlung finden können.

Luftschadstoffe

Die Belastung durch Luftschadstoffe wird im vorliegenden Gutachten nicht quantifiziert. Bedarfsweise werden jedoch qualitative Einschätzungen abgegeben. Als relevante Schadstoffe werden NO_2 und Feinstaub PM10 betrachtet.

Im Hinblick auf die Ausschöpfung der Grenzwerte stellt der Kfz-Verkehr die wichtigste Quelle dar, da die Emissionen bodennah emittiert werden und sich in bebauten Gebieten, insbesondere Straßenschluchten, nur schlecht verdünnen.

Gerüche

Gerüche spielen im Immissionsschutz eine zunehmende Rolle. Im Vergleich zu den „konventionellen“ Schadstoffen werden die zulässigen Immissionswerte häufiger überschritten. Im Rahmen der Abwägung ist auf diese Komponente daher besonderes Augenmerk zu legen, sofern die überplante Fläche an landwirtschaftliche Betriebe oder Gewerbegebiete mit Geruchsemittenten angrenzt.

13.2.3 Ziel der Planung

Im Gegensatz zu vielen anderen Schutzgütern können unerwünschte Auswirkungen einer Planung auf das lokale Klima nicht ausgeglichen werden. Zum Beispiel kann eine Verschlechterung der Durchlüftung infolge einer Verringerung der Windgeschwindigkeit durch die Bebauung nicht wiederhergestellt werden. Ziel muss es deshalb sein, nachteilige Auswirkungen weitgehend zu minimieren.

Im folgenden Abschnitt wird zu den jeweiligen Baugebieten Stellung genommen. Die Stellungnahme enthält eine kurze Darstellung des Istzustandes, die Auswirkungen einer Überbauung auf das Umfeld sowie die Einwirkungen von der Umgebung auf das jeweilige Plangebiet.

13.3 Bewertung der Einzelflächen

13.3.1 Östliche Cranachstraße

Abbildung 13-2: Östliche Cranachstraße

Geplante Nutzung	Wohnen
Ortsteil	Nollingen
Flächengröße	25,2 ha gesamt 13,9 ha Wohnbaufläche 11,3 ha Grünflächen

Derzeitige Nutzung und klimatische Verhältnisse

Das ca. 25,2 ha große Baugebiet liegt nördlich des Stadtzentrums Rheinfelden und östlich vom Ortsteil Nollingen. Die Fläche wird derzeit überwiegend landwirtschaftlich genutzt und weist nahezu keine Versiegelung auf. Im Süden und Westen sowie im Norden befindet sich Wohnbebauung, im Osten befinden sich weitere landwirtschaftlich genutzte Flächen.

Die Hauptwindrichtung in den Abendstunden und nachts ist Nordost.

Auswirkungen auf die Umgebung

Klima

Aufgrund der geringen Rauigkeit des Plangebiets herrschen derzeit gute Luftaustauschbedingungen, so dass aus Nordost herantransportierte Frischluft ungehindert in die westlich und südlich gelegenen Wohngebiete weitertransportiert werden kann. Die landwirtschaftlichen Flächen dienen nachts als Kaltluftproduktionsgebiet, wobei das Kaltluftproduktionspotential der weiter östlich gelegenen Flächen nochmals deutlich höher ist.

Eine Bebauung des Plangebiets reduziert die Durchlüftung innerhalb des Plangebiets durch die erhöhte Rauigkeit. Durch Verdrängungseffekte kommt es an der östlichen Flanke des Plangebiets zu einer erhöhten Volumenstromdichte. Durch den geringeren Luftaustausch innerhalb der Bebauung nimmt die thermische Belastung zu.

Luftschadstoffe

Durch den geringeren Luftaustausch und potenzielle Emissionen nimmt die Luftbelastung im südwestlich angrenzenden Wohngebiet zu.

Einwirkungen auf das Plangebiet

Bei nordöstlicher Windrichtung wird Luft aus nur gering bebauten Gebieten in das Plangebiet transportiert. Es ist daher von einer geringen lufthygienischen Belastung auszugehen.

Planungshinweise

Die bodennahe Durchströmbarkeit muss erhalten bleiben. Eine Riegelbebauung mit Ost-West-Ausrichtung ist daher zu vermeiden. Die Bauhöhen sollten sich an die Umgebungsbebauung anpassen und diese nicht überschreiten. Der Versiegelungsgrad ist zu minimieren (z.B. sind wenig genutzte Kfz-Stellflächen mit Rasenbausteinen anzulegen, geeignete Dachflächen sind zu begrünen oder mit Material mit hoher Albedo[17] zu bestücken). Bei größeren versiegelten Bereichen ist eine Verschattung durch Bäume anzustreben. Nach Möglichkeit sollte der vorhandene Baumbestand erhalten bleiben. Der Linsenbach ist aufzuwerten.

13.3.2 Vogelsang-Ost

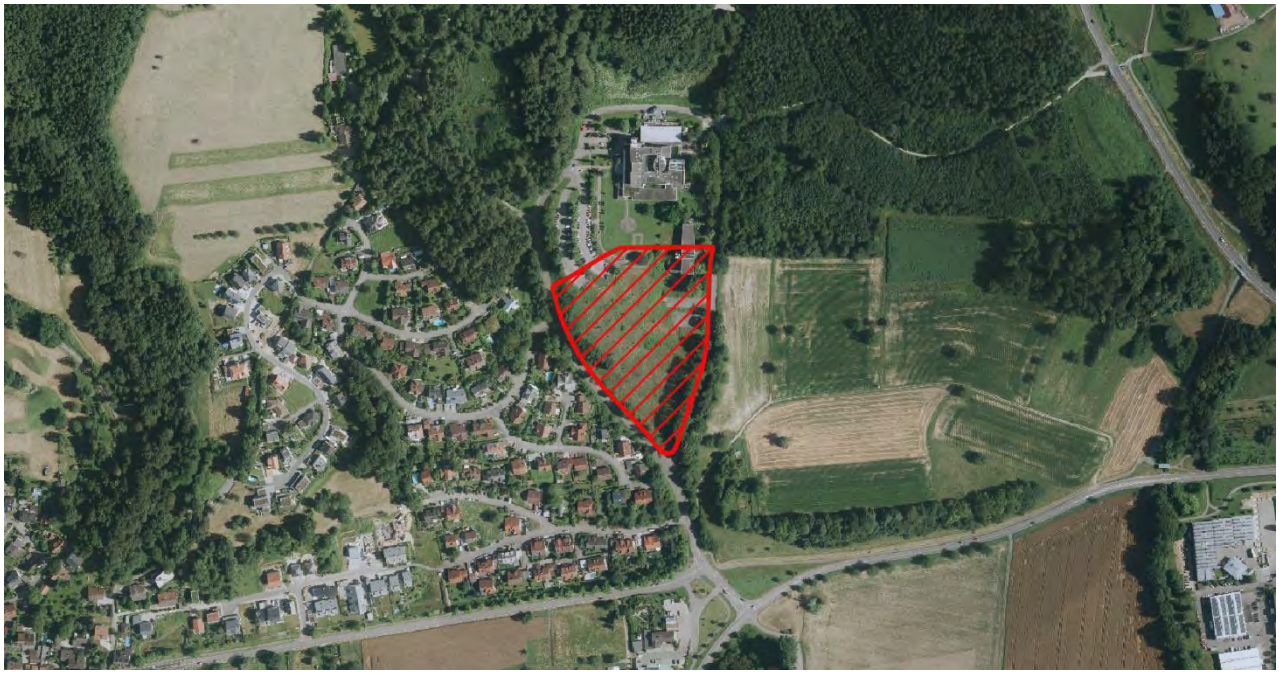

Abbildung 13-3: Vogelsang-Ost

[17] *Albedo – Rückstreuvermögen. Durch eine hohe Rückstrahlung der kurzwellig eingestrahlten Sonnenstrahlung kann ein starkes Aufheizen der Flächen vermieden werden.*

Geplante Nutzung	Wohnen
Ortsteil	Nollingen
Flächengröße	2,4 ha

Derzeitige Nutzung und klimatische Verhältnisse

Das 2,4 ha große Baugebiet liegt Nordwestlich von Nollingen und schließt direkt südlich an das Kreiskrankenhaus sowie an ein Waldgebiet an und ist zurzeit unbebaut. Die Durchlüftung folgt in den Nachtstunden den orographischen Gegebenheiten und weht von Nordnordost in das südwestlich angrenzende Wohngebiet.

Auswirkungen auf die Umgebung

Klima

Eine Bebauung des Plangebiets reduziert zum einen den Luftaustausch, zum andern nimmt die thermische Belastung zu. Bei einer moderaten Bebauung beschränken sich die Auswirkungen auf die angrenzenden ein bis zwei Häuserblocks.

Luftschadstoffe

Am Nord- und Südrand des Plangebiets sind Immissionen und ggf. Gerüche (Hausbrand) bei westlichen Windrichtungen nicht auszuschließen.

Einwirkungen auf das Plangebiet

Bei nördlichen bis nordöstlichen Windrichtungen wird thermisch unbelastete Luft in das Plangebiet geweht.

Planungshinweise

Riegelbebauung in Ost-West-Richtung ist zu vermeiden, d.h. Durchgängigkeit in Nord-Süd-Richtung gewährleisten.

Der Versiegelungsgrad ist zu minimieren (z.B. sind wenig genutzte Kfz-Stellflächen mit Rasenbausteinen anzulegen, geeignete Dachflächen sind zu begrünen oder mit Material mit hoher Albedo zu bestücken). Bei größeren versiegelten Bereichen ist eine Verschattung durch Bäume anzustreben. Nach Möglichkeit sollte der vorhandene Baumbestand erhalten bleiben.

13.3.3 Grendelmatt III

Abbildung 13-4: Grendelmatt III

Geplante Nutzung	Wohnen, Gewerbe
Ortsteil	Rheinfelden
Flächengröße	12,2 ha gesamt 3,3 ha Wohnen 5,7 ha Gewerbe- und Industrie 3,2 ha Sport- und Parkanlagen

Derzeitige Nutzung und klimatische Verhältnisse

Die etwa 12,2 ha große neu überplante Fläche liegt nordöstlich des Stadtzentrums zwischen Wohnbebauung im Westen und Osten und Industrie- und Gewerbeflächen im Norden und Süden. Derzeitig weist das Plangebiet größtenteils landwirtschaftliche Freiflächen sowie Sportplätze auf. Die großen Freiflächen dienen als zentrumsnahe Kaltluftproduktionsflächen und tragen zur thermischen Entlastung der angrenzenden Wohnbebauung bei.

Auswirkungen auf die Umgebung

Klima

Eine Bebauung des Plangebiets bewirkt eine deutliche Zunahme der thermischen Belastung, welche sich auf das Plangebiet beschränkt. Durch die erhöhte Rauigkeit und die wegfallenden Kaltluftproduktionsflächen wird die Belüftung der westlich gelegenen Wohnbebauung in über 1 km Entfernung reduziert. Andererseits erhöht sich die Volumenstromdichte durch die höhere Stauwirkung östlich des Plangebiets bei nordöstlicher Anströmung.

Luftschadstoffe

Durch die Nähe zu Industrieflächen ist am Nord- und Südrand des Plangebiets mit Immissionen und ggf. Gerüchen bei östlichen Windrichtungen zu rechnen.

Einwirkungen auf das Plangebiet

Bei nördlichen bis östlichen Windrichtungen wird thermisch belastete, teils stark belastete Luft in das Plangebiet geweht.

Planungshinweise

Der Versiegelungsgrad ist zu minimieren (z.B. sind wenig genutzte Kfz-Stellflächen mit Rasenbausteinen anzulegen, Dachflächen sind zu begrünen oder mit Material mit hoher Albedo zu bestücken). Bei größeren versiegelten Bereichen ist eine Verschattung durch Bäume anzustreben. Die geplanten Freiflächen sollten nach Möglichkeit vergrößert werden, um die Funktion als Kaltluftproduktionsflächen nicht zu sehr zu schwächen.

13.3.4 Gewerbegebiet an der B34

Abbildung 13-5: Gewerbegebiet an der B34

Geplante Nutzung	Gewerbe
Ortsteil	Karsau
Flächengröße	3,2 ha

Derzeitige Nutzung und klimatische Verhältnisse

Das 3,2 ha große Baugebiet liegt inmitten des nordöstlich von Rheinfelden gelegenen Industrie- und Gewerbegebiets zwischen Rheinfelden und dem Ortsteil Karsau. Als noch unbebaute Fläche zwischen den großflächig versigelten Bereichen westlich und östlich des Gewerbegebiets weist das Plangebiet die geringste thermische Belastung innerhalb des Gewerbegebiets auf mit der

stärksten Abkühlung in der Nacht. Durch die östlich gelegene Bebauung sind die Windgeschwindigkeiten im Plangebiet nur gering, sodass eine Durchlüftung der angrenzenden Bebauung durch das Plangebiet nicht gegeben ist.

Auswirkungen auf die Umgebung

Klima

Eine Bebauung des Plangebiets reduziert die nächtliche Abkühlung und fördert den Hitzestau am Tage. Durch Kanalisierung der Luftströmung kommt es lokal am östlichen Rand des Plangebiets zu leicht höheren Windgeschwindigkeiten, welche allerdings durch die generell höhere Temperatur nicht zu einer Reduzierung des Hitzestresses führt.

Luftschadstoffe

Durch die Lage im Industrie- und Gewerbegebiet ist mit Immissionen und ggf. Gerüchen innerhalb des Plangebiets zu rechnen.

Einwirkungen auf das Plangebiet

Durch die Lage im Industrie- und Gewerbegebiet erreicht ausschließlich thermisch sowie lufthygienisch belastete Luft das Plangebiet.

Planungshinweise

Um der thermischen Belastung entgegenzuwirken ist der Versiegelungsgrad zu minimieren, z.B. sollen wenig genutzte Kfz-Stellflächen mit Rasenbausteinen angelegt werden. Dachflächen sind weitestgehend zu begrünen.

13.3.5 Krähenbühl und Auf der Schanz II

Abbildung 13-6: Krähenbühl und Auf der Schanz II

Geplante Nutzung	Wohnen
Ortsteil	Karsau
Flächengröße	4,1 ha gesamt 1,0 ha Krähenbühl 3,1 ha Auf der Schanz II

Derzeitige Nutzung und klimatische Verhältnisse

Die Plangebiete Krähenbühl und „Auf der Schanz II“ (ca. 4,1 ha Gesamtfläche) liegen innerhalb der Ortschaft Karsau und werden derzeit landwirtschaftlich genutzt. Beide Gebiete werden in den Abend- und Nachtstunden von östlichen Winden überströmt, wobei das größere Gebiet „Auf der Schanz II“ höhere Windgeschwindigkeiten erfährt während sich das kleinere Gebiet Krähenbühl auf der dem Wind abgewandten Seite der Ortschaft Karsau befindet und nur gering belüftet wird.

Auswirkungen auf die Umgebung

Klima

Durch die Bebauung der beiden Plangebiete verringert sich die Durchlüftung der Ortschaft Karsau geringfügig, insbesondere durch das östlich gelegene Plangebiet „Auf der Schanz II“. Eine Erhöhung der Temperatur in Folge der reduzierten Belüftung ist nur für die angrenzenden ein bis zwei Häuserblocks zu erkennen.

Luftschadstoffe

Durch Quell- und Zielverkehr ist abhängig von der Erschließung eine lokale Zunahme der Immissionen nicht auszuschließen.

Einwirkungen auf das Plangebiet

Durch den östlich gelegenen Waldstreifen wird bei östlicher Anströmung nachts kühle Luft in das Plangebiet „Auf der Schanz II“ transportiert wohingegen das Plangebiet „Krähenbühl“ bei Anströmung aus Ost mit vorbelasteter Luft aus der angrenzenden Siedlung durchströmt wird.

Planungshinweise

Der Versiegelungsgrad ist zu minimieren, z.B. sollen wenig genutzte Kfz-Stellflächen mit Rasenbausteinen angelegt werden. Die Bebauung sollte möglichst entlang der Hauptwindrichtung ausgerichtet werden, um ein bodennahes Eindringen der nächtlichen Kaltluft zu ermöglichen, bzw. die Entlüftung der bestehenden Wohnflächen zu erhalten.

13.3.6 Abwassergebiet Karsau

Abbildung 13-7: Abwassergebiet bei Karsau

Geplante Nutzung	Entsorgung
Ortsteil	Karsau
Flächengröße	0,8 ha

Derzeitige Nutzung und klimatische Verhältnisse

Das 0,8 ha große Plangebiet liegt östlich des Ortsteils Karsau am Ufer des Hochrheins. Das Gebiet ist in Richtung des Nordwestlich gelegenen Wohngebiets durch Baumreihen und der B34 getrennt. Das Gebiet wird nur schwach aus Norden überströmt und weist keine nennenswerte Kaltluftproduktion auf

Auswirkungen auf die Umgebung

Klima

Durch die geringe Fläche und die Abgeschiedenheit des Plangebiets sind keine nennenswerten Einflüsse auf das Klima der umliegenden Bereiche zu erwarten.

Luftschadstoffe

Die Ausbreitung von Gerüchen in Richtung der Wohnbebauung ist möglich, da das Wohngebiet im Lee des Plangebiets liegt. Dies muss im Rahmen der Bauleitplanung untersucht werden.

Einwirkungen auf das Plangebiet

Die geplante Bebauung führt zu einer geringen Erhöhung der Lufttemperatur innerhalb des Plangebiets jedoch nicht darüber hinaus.

Planungshinweise

Es sind keine besonderen Planungshinweise zu nennen.

13.3.7 Dühlen

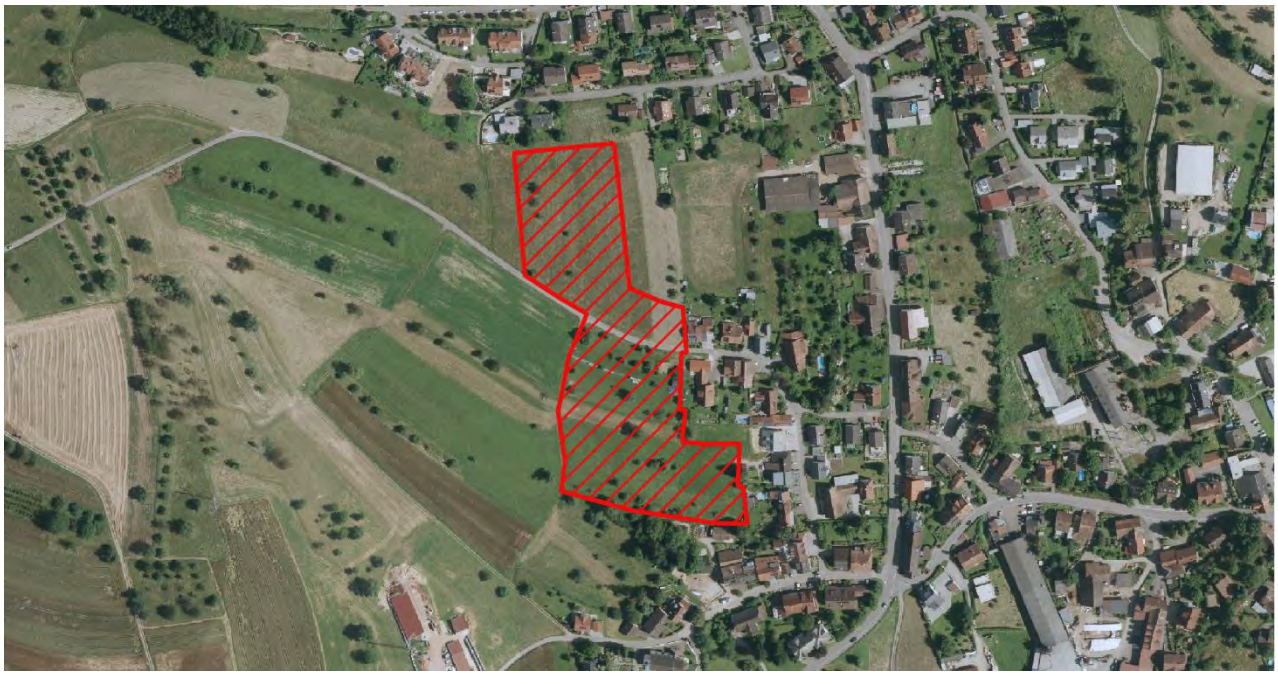

Abbildung 13-8: Dühlen

Geplante Nutzung	Wohnen
Ortsteil	Minseln
Flächengröße	2,5 ha

Derzeitige Nutzung und klimatische Verhältnisse

Das 2,5 ha große Baugebiet liegt am südöstlichen Rand des Ortsteils Minseln und wird derzeit landwirtschaftlich genutzt. Bei Nacht überströmt das Plangebiet ein schwacher Nordwind, nachdem er die Ortschaft Minseln durchströmt hat.

Auswirkungen auf die Umgebung

Klima

Da der Wind nach Überströmen des Plangebiets Richtung Südwest abdreht ist keine nennenswerte Reduktion der Durchlüftung oder Erhöhung der thermischen Belastung der angrenzenden Wohnbebauung zu erwarten.

Luftschadstoffe

Durch zusätzliche Bebauung und entsprechend ansteigendem Kfz-Verkehr ist mit einer geringen Zunahme der Immission zu rechnen.

Einwirkungen auf das Plangebiet

Bei nördlichen Windrichtungen wird geringfügig thermisch belastete Luft aus der Ortschaft Minseln in das Plangebiet geweht.

Planungshinweise

Der Versiegelungsgrad ist zu minimieren, z.B. sollen wenig genutzte Kfz-Stellflächen mit Rasenbausteinen angelegt werden.

13.3.8 Leberholz II

Abbildung 13-9: Leberholz II

Geplante Nutzung	Wohnen
Ortsteil	Nordschwaben
Flächengröße	0,5 ha

Derzeitige Nutzung und klimatische Verhältnisse

Das 0,5 ha große Baugebiet liegt am Ostrand des Ortsteils Nordschwaben im Nordosten Rheinfeldens und wird als landwirtschaftliche Fläche genutzt. Durch die relativ kleine Ortschaft Nordschwaben ist das Plangebiet kaum durch die angrenzende Bebauung beeinflusst. Das Plangebiet wird bei Nacht durch Winde aus Nordost belüftet, welche nur geringfügig durch die angrenzende Bebauung abgeschwächt werden.

Auswirkungen auf die Umgebung

Klima

Eine Bebauung des Plangebiets hat keinen nennenswerten Einfluss auf die umliegenden Gebiete.

Luftschadstoffe

Durch die Ausweisung als Wohnbaufläche und die geringe Größe des Plangebiets ist mit keinem nennenswerten Anstieg an Luftschadstoffen zu rechnen.

Einwirkungen auf das Plangebiet

Bei nordöstlichen Windrichtungen wird Luft aus der Ortschaft Nordschwaben in das Plangebiet transportiert, welche allerdings nur geringfügig thermisch belastet ist.

Planungshinweise

Mit Ausblick auf zukünftige Erweiterungen der Ortschaft Nordschwaben sollte die Bebauung möglichst parallel zur Windrichtung (Nordost) ausgerichtet werden.

13.3.9 Biefang-West und Bächlegaß

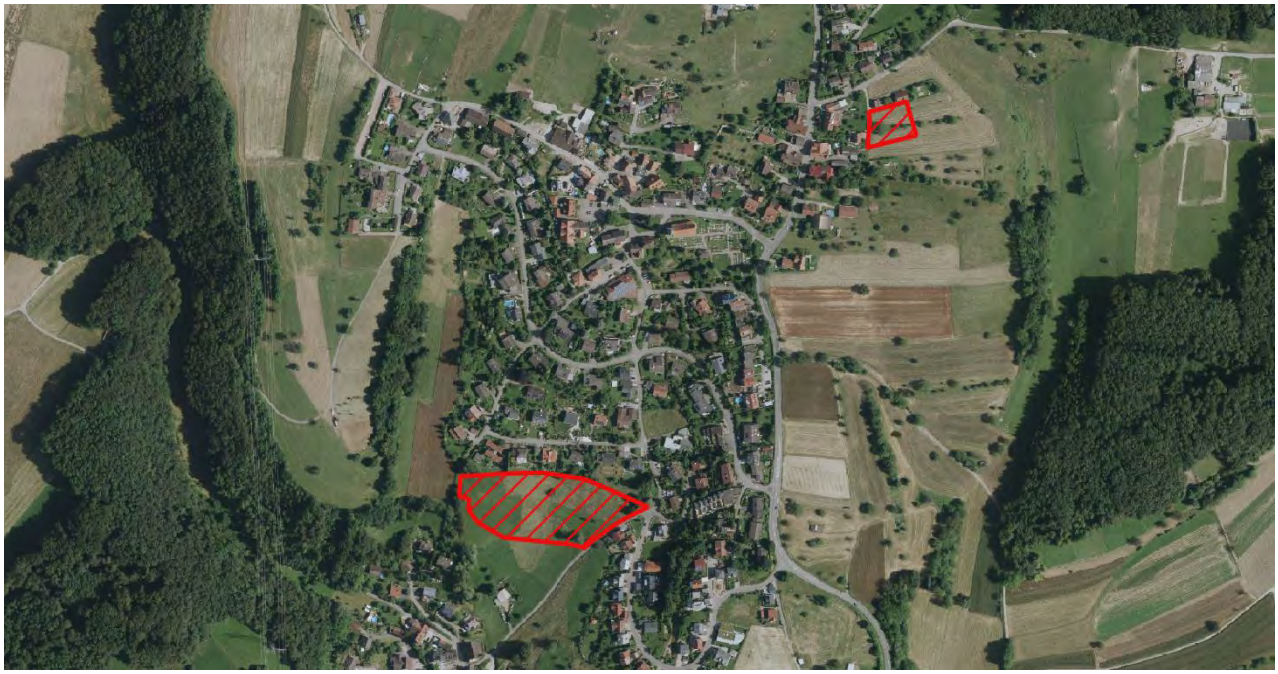

Abbildung 13-10: Biefang-West und Bächlegaß

Geplante Nutzung	Wohnen
Ortsteil	Eichsel
Flächengröße	1,6 ha gesamt 1,4 ha Biefang-West 0,2 ha Bächlegaß

Derzeitige Nutzung und klimatische Verhältnisse

Die insgesamt knapp 1,6 ha großen Baugebiete Biefang-West (1,4 ha) und Bächlegaß (0,2 ha) liegen im Ortsteil Eichsel im Norden von Rheinfelden und werden landwirtschaftlich genutzt. Beide Plangebiete werden in den Nachtstunden von einer östlichen Strömung belüftet, wobei die Windgeschwindigkeiten im Plangebiet Biefang-West durch die östlich gelegene Bebauung deutlich reduziert ist wohingegen das Plangebiet Bächlegaß eine ungestörte Anströmung vom Lieberg her erfährt. Beide Flächen weisen eher geringe Kaltluftproduktionsraten auf.

Auswirkungen auf die Umgebung

Klima

Durch die geringe Größe des Plangebiets Bächlegaß ist mit keiner nennenswerten Auswirkung auf umliegende Gebiete zu rechnen. Die erhöhte Rauigkeit und die zu erwartende Zunahme der

Versiegelung im Plangebiet Biefang-West führt zu einer Erhöhung der thermischen Belastung im östlich angrenzenden Baugebiet durch eine reduzierte Durchströmung und erhöhte Stauwirkung. Die Auswirkungen beschränken sich dabei auf die ersten ein bis zwei Hausreihen östlich des Plangebiets.

Luftschadstoffe

Durch zusätzliche Bebauung und entsprechend ansteigendem Kfz-Verkehr ist mit einer geringen Zunahme der Immission zu rechnen.

Einwirkungen auf das Plangebiet

Das Plangebiet Biefang-West wird bei Anströmung aus Ost mit vorbelasteter Luft aus der angrenzenden Siedlung durchströmt und kann zu zusätzlicher thermischer Belastung führen.

Planungshinweise

Mit Ausblick auf zukünftige Erweiterungen der Ortschaft Eichsel im Bereich Bächlegaß sollte die Bebauung möglichst parallel zur Windrichtung (Ost) ausgerichtet werden, um die bodennahe Durchlüftung auch bei zukünftigen Baumaßnahmen weiterhin zu garantieren.

13.3.10 Kaibacker

Abbildung 13-11: Kaibacker

Geplante Nutzung	Wohnen
Ortsteil	Degerfelden
Flächengröße	3 ha

Derzeitige Nutzung und klimatische Verhältnisse

Das etwa 3 ha große Baugebiet liegt am Südrand des Ortsteils Degerfelden westlich von Rheinfelden und wird derzeitig landwirtschaftlich genutzt. Nördlich schließt sich Wohnbebauung an

während südlich landwirtschaftlich genutzte Flächen befinden. Das Plangebiet wird aus Nord-nordwestlicher Richtung durchlüftet und weist keine nennenswerten Kaltluftproduktionsraten auf.

Auswirkungen auf die Umgebung

Klima

Eine Bebauung des Plangebiets führt zu einer Erhöhung der Volumenstromdichte westlich des Plangebiets durch Kanalisierung der Strömung zwischen der neuen Bebauung und des westlich gelegenen Waldrands. Ein nennenswerter Einfluss auf die thermische Belastung ist nicht zu erkennen.

Luftschadstoffe

Durch zusätzliche Bebauung und entsprechend ansteigendem Kfz-Verkehr ist mit einer geringen Zunahme der Immission zu rechnen.

Einwirkungen auf das Plangebiet

Durch die zusätzliche Bebauung und damit erhöhte Rauigkeit erhöht sich die thermische Belastung innerhalb des Plangebiets.

Planungshinweise

Der Versiegelungsgrad ist zu minimieren (z.B. sind wenig genutzte Kfz-Stellflächen mit Rasenbausteinen anzulegen, Dachflächen sind zu begrünen oder mit Material mit hoher Albedo zu bestücken). Die Bauhöhen sollten sich an die Umgebungsbebauung anpassen und diese nicht überschreiten.

13.3.11 Warmbach

Abbildung 13-12: Westlich Warmbach

Geplante Nutzung	Gemischte Bebauung
Ortsteil	Warmbach
Flächengröße	4 ha

Derzeitige Nutzung und klimatische Verhältnisse

Das 4 ha große Baugebiet liegt am Westrand von Rheinfelden im Ortsteil Warmbach. Es wird derzeit landwirtschaftlich genutzt. Nördlich und östlich schließt sich Wohnbebauung an, während sich im Westen das Zollgelände an der B34 befindet. Südlich schließt sich ein breiter Grünstreifen an sowie das Ufer des Hochrheins.

Das Gebiet wird in den Abend- und Nachtstunden durch einen schwachen Wind aus Nordost bis Ost überströmt. Dabei wird thermisch belastete Luft aus der Ortschaft Warmbach herantransportiert.

Auswirkungen auf die Umgebung

Klima

Eine Bebauung des Plangebiets reduziert den Volumenstrom bei westlichen Windrichtungen in den östlich angrenzenden Wohnbereichen. In den Nachtsunden sind keine Auswirkungen auf Siedlungsbereiche zu erwarten.

Luftschadstoffe

Am Nord- und Ostrand des Plangebiets sind Immissionen und ggf. Gerüche bei westlichen Windrichtungen nicht auszuschließen.

Einwirkungen auf das Plangebiet

Bei nordöstlichen bis östlichen Windrichtungen wird thermisch belastete Luft in das Plangebiet geweht.

Planungshinweise

Der Versiegelungsgrad ist zu minimieren (z.B. sind wenig genutzte Kfz-Stellflächen mit Rasenbausteinen anzulegen, Dachflächen sind zu begrünen oder mit Material mit hoher Albedo zu bestücken). Bei größeren versiegelten Bereichen ist eine Verschattung durch Bäume anzustreben. Die Bauhöhen sollten sich an die Umgebungsbebauung anpassen und diese nicht überschreiten. Zum Zollbereich und der A861 hin sollte ein Grünpuffer mit Baumbepflanzung vorgesehen werden.

13.3.12Nördlich Mattenbach

Abbildung 13-13: Nördlich Mattenbach

Geplante Nutzung	Wohnen
Ortsteil	Herten
Flächengröße	4,9 ha gesamt 3,7 ha Wohnen 1,2 ha Friedhof

Derzeitige Nutzung und klimatische Verhältnisse

Das 4,7 ha große Baugebiet liegt am Ostrand des Ortsteils Herten und gliedert sich in 3,7 ha Wohnbaufläche und eine nordwestlich anschließende 1,2 ha große Erweiterung des sich im Nordwesten befindenden Friedhofs. Westlich grenzt das Plangebiet an eine Wohnsiedlung, östlich an landwirtschaftliche Nutzfläche. Das Plangebiet wird derzeit landwirtschaftlich genutzt.

Das Plangebiet wird in den Abend- und Nachtstunden aus Nordost mit thermisch unbelasteter Luft überströmt, welche anschließend die westlich gelegene Wohnsiedlung mit Frischluft versorgt.

Auswirkungen auf die Umgebung

Klima

Eine Bebauung des Plangebiets reduziert zum einen den Luftaustausch, da die Luft den derzeitigen Siedlungsrand nicht mehr direkt erreicht. Zum andern nimmt die thermische Belastung zu, da der Luftaustausch reduziert ist und die geplante Bebauung Wärme freisetzt. Bei einer moderaten Bebauung (lockere Bebauung mit guter Durchgrünung) beschränken sich spürbare Auswirkungen auf die angrenzenden ein bis zwei Häuserblocks.

Luftschadstoffe

Durch den geringeren Luftaustausch und potenzielle Emissionen durch Hausbrand und Quell- und Zielverkehre nimmt die Luftbelastung im südwestlich angrenzenden Wohngebiet etwas zu.

Einwirkungen auf das Plangebiet

Bei nordöstlicher Windrichtung wird Luft aus nur gering bebauten Gebieten in das Plangebiet transportiert. Es ist daher von einer geringen lufthygienischen Belastung auszugehen.

Planungshinweise

Der Versiegelungsgrad ist zu minimieren (z.B. sind wenig genutzte Kfz-Stellflächen mit Rasenbausteinen anzulegen, Dachflächen sind zu begrünen oder mit Material mit hoher Albedo zu bestücken). Bei größeren versiegelten Bereichen ist eine Verschattung durch Bäume anzustreben. Die Bauhöhen sollten sich an die Umgebungsbebauung anpassen und diese nicht überschreiten.

13.3.13 Römern

Abbildung 13-14: Römern

Geplante Nutzung	Wohnen
Ortsteil	Herten
Flächengröße	7 ha

Derzeitige Nutzung und klimatische Verhältnisse

Das 7 ha große Baugebiet liegt am Westrand des Ortsteils Herten. Östlich schließt sich eine Wohnsiedlung an, während sich südlich davon ein großes Gewerbegebiet befindet. Nördlich befinden sich Sportanlagen und westlich landwirtschaftlich genutzte Flächen. Das Plangebiet selbst wird derzeit ebenfalls landwirtschaftlich genutzt.

Das Plangebiet wird in den Abend- und Nachtstunden aus Ostnordost bis Ost mit thermisch vorbelasteter Luft aus dem Siedlungsbereich Herten überströmt.

Auswirkungen auf die Umgebung

Klima

Eine Bebauung des Plangebiets reduziert zum einen den Luftaustausch, zum andern nimmt die thermische etwas Belastung zu. Herten wird jedoch nur bei westlichen Windrichtungen beaufschlagt.

Luftschadstoffe

Durch die zusätzliche Bebauung, dem Hausbrand und entsprechend ansteigendem Kfz-Verkehr ist mit einer geringen Zunahme der Immission zu rechnen.

Einwirkungen auf das Plangebiet

Bei östlichen Windrichtungen wird thermisch vorbelastete Luft in das Plangebiet geweht.

Planungshinweise

Der Versiegelungsgrad ist zu minimieren (z.B. sind wenig genutzte Kfz-Stellflächen mit Rasenbausteinen anzulegen, Dachflächen sind zu begrünen oder mit Material mit hoher Albedo zu bestücken). Bei größeren versiegelten Bereichen ist eine Verschattung durch Bäume anzustreben. Die Bauhöhen sollten sich an die Umgebungsbebauung anpassen und diese nicht überschreiten.

13.3.14 Kleingärten bei Herten

Abbildung 13-15: Kleingärten bei Herten

Geplante Nutzung	Gartenanlage
Ortsteil	Herten
Flächengröße	2,2 ha

Derzeitige Nutzung und klimatische Verhältnisse

Das 2,2 ha große Baugebiet liegt südlich von Herten im Westen Rheinfeldens. Im Norden befinden sich Industrie- und Gewerbeflächen, westlich eine Mischung aus Gewerbe- und Sport- und Freizeitflächen während sich östlich eine Kleingartensiedlung befindet. Südlich liegt der Hochrhein, welcher durch einen Gehölzstreifen vom Plangebiet getrennt wird. Derzeit wird das Plangebiet landwirtschaftlich genutzt.

Das Plangebiet wird in den Nachtstunden aus nordöstlichen bis östlichen Richtungen überströmt. Dabei gelangt thermisch belastete Luft aus dem nördlich gelegenen Gewerbegebiet in das Plangebiet.

Auswirkungen auf die Umgebung

Klima

Die geplante Nutzung als Gartenanlage hat gegenüber der derzeitigen Nutzung als landwirtschaftliche Fläche keine nennenswerten Auswirkungen auf die Umgebung.

Luftschadstoffe

Durch die Nutzung als Gartenanlage kann es durch offene Feuerstellen (insbes. Holzkohlegrill u.ä.) zu erhöhten Immissionen kommen.

Einwirkungen auf das Plangebiet

Im Norden grenzt die vielbefahrene B34 an das Plangebiet an. Entsprechend ist die Luftbelastung im nördlichen Bereich erhöht. Ein Puffer (Stellplätze oder Grünanlage) ist am Nordrand empfehlenswert.

Planungshinweise

Durch die Nutzung als Gartenanlage wird die klimatische Wirkung des Plangebiets nicht signifikant geändert. Es ist darauf zu achten, dass eine ausreichende Begrünung weiterhin gewährleistet wird (Vermeidung von Schottergärten).

Die Erreichbarkeit des Gebiets könnte erhöht werden, z.B. durch Anschluss an das Radwegenetz.

13.3.15 Feuerwehr Römerstraße

Abbildung 13-16: Lage Feuerwehr Römerstraße

Geplante Nutzung	Feuerwache
Ortsteil	Rheinfelden
Flächengröße	5,6 ha

Derzeitige Nutzung und klimatische Verhältnisse

Das etwa 5,6 ha große Gelände liegt östlich der Müßmassstraße und nördlich der Römerstraße und somit nördlich der Kernstadt. Südlich befinden sich Wohngebiete, in den sonstigen Richtungen wird das Gebiet von landwirtschaftlich genutzten Flächen eingerahmt. Derzeit wird das Plangebiet ebenfalls landwirtschaftlich genutzt.

Das Plangebiet wird in den Nachtstunden aus nordöstlicher Richtung überströmt. Dabei gelangt thermisch unbelastete Luft von den nördlich und östlich gelegenen landwirtschaftlichen Flächen in das Plangebiet.

Auswirkungen auf die Umgebung

Klima

Aufgrund der geringen Rauigkeit des Plangebiets herrschen derzeit gute Luftaustauschbedingungen, so dass aus Nordost herantransportierte Frischluft ungehindert in die südlich gelegenen Wohngebiete weitertransportiert werden kann. Die landwirtschaftlichen Flächen dienen nachts als Kaltluftproduktionsgebiet, wobei das Kaltluftproduktionspotential der weiter nördlich und östlich gelegenen Flächen deutlich höher ist.

Eine Bebauung des Plangebiets reduziert die Durchlüftung innerhalb des Plangebiets durch die erhöhte Rauigkeit. Durch den geringeren Luftaustausch innerhalb der Bebauung nimmt die thermische Belastung zu.

Einwirkungen auf das Plangebiet

Bei nordöstlicher Windrichtung wird Luft von landwirtschaftlich genutzten Gebieten in das Plangebiet transportiert. Es ist daher von einer geringen lufthygienischen Belastung auszugehen.

Luftschadstoffe

Durch den reduzierten Luftaustausch und potenzielle Emissionen durch Verkehre der Beschäftigten und der Einsatzfahrzeuge nimmt die Luftbelastung im südlich angrenzenden Wohngebiet etwas zu.

Planungshinweise

Die bodennahe Durchströmbarkeit muss erhalten bleiben. Eine Riegelbebauung mit Ost-West-Ausrichtung ist daher zu vermeiden. Die Bauhöhen sollten sich an die Umgebungsbebauung anpassen und diese nicht überschreiten. Die Bauhöhen sollten deutlich geringer gehalten werden als die Mächtigkeit des Kaltluftvolumenstroms (29 m). Der Versiegelungsgrad ist zu minimieren (z.B. sind wenig genutzte Kfz-Stellflächen mit Rasenbausteinen anzulegen, geeignete Dachflächen sind zu begrünen oder mit Material mit hoher Albedo zu bestücken). Bei größeren versiegelten Bereichen ist eine Verschattung durch Bäume anzustreben. Nach Möglichkeit sollte der vorhandene Baumbestand erhalten bleiben.

Bei der Planung des Zwischenlagers für Erdaushub sind die Hinweise aus dem Staubgutachten der iMA vom 13.08.2018 zu berücksichtigen.

14 Literatur

39. BImSchV: Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen vom 2. August 2010 (BGBl. I S. 1065), die zuletzt durch Artikel 112 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) geändert worden ist.

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.

Brasseur, G., D. Jacob & S. Schuck-Zöller eds. (2017): Klimawandel in Deutschland: Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Springer Spektrum, Berlin.

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.

EMEP European Environment Agency (2019): EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook. Technical report No 13/2019.

Fanger, P.O. (1972): Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering. New York: McGraw-Hill. 244 S.

Fisk, W. J. (2000): Health and productivity gains from better indoor environments and their relationship with building energy efficiency. In: Annu. Rev. Energy. Environ. 25 (1), S. 537–566. DOI: 10.1146/annurev.energy.25.1.537.

HBEFA (2019): Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs Version 4.1.11.2019.

Hewitt, C.D. (2004): Ensembles-based predictions of climate changes and their impacts. Eos, Transactions American Geophysical Union (85)52: 566.

Höppe, P. R. (1984). Die Energiebilanz des Menschen. Bd. 49. Wissenschaftliche Mitteilungen der Universität München. Ludwig-Maximilians Universität München. 216 S.

Höppe, P. R. (1993). Heat balance modelling. Cellular and Molecular Life Sciences 49 (9), 741-746. doi : 10.1007/BF01923542.

Höppe, P. R. (1999). The physiological equivalent temperature - a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. International Journal of Biometeorology 43 (2), 71-75. doi : 10.1007/s004840050118.

Höppe, P. R. und H. Mayer (1987). Planungsrelevante Bewertung der thermischen Komponente des Stadtklimas. Landschaft und Stadt 19 (1), 22-30.

IPCC (2013): Climate Change 2013. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 S.

IPCC (2007): Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.

Jacob, D., J. Petersen, B. Eggert, A. Alias, O.B. Christensen, L.M. Bouwer, A. Braun, A. Colette, M. Déqué, G. Georgievski, E. Georgopoulou, A. Gobiet, L. Menut, G. Nikulin, A. Haensler, N. Hempelmann, C. Jones, K. Keuler, S. Kovats, N. Kröner, S. Kotlarski, A. Kriegsmann, E. Martin, E. van Meijgaard, C. Moseley, S. Pfeifer, S. Preuschmann, C. Radermacher, K. Radtke, D. Rechid, M. Rounsevell, P. Samuelsson, S. Somot, J.-F. Soussana, C. Teichmann, R. Valentini, R. Vautard, B. Weber & P. Yiou (2014): Erratum to: EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. Regional Environmental Change (14)2: 579–581.

Jarvis A., H.I. Reuter, A. Nelson, E. Guevara (2008): Hole-filled seamless SRTM data V4, International Centre for Tropical Agriculture (CIAT) (http://srtm.csi.cgiar.org).

Koppe, C., G. Jendritzky und G. Pfaff (2003): Die Auswirkungen der Hitzewelle 2003 auf die Gesundheit. Klimastatusbericht 2003, 152-162.

Kunz, M., J. Sander & Ch. Kottmeier (2009): Recent trends of thunderstorm and hailstorm frequency and their relation to atmospheric characteristics in southwest Germany. International Journal of Climatology (29)15: 2283–2297.

Lee, H. & H. Mayer (2019): Planerische Maßnahmen zur Reduzierung von lokalem Hitzestress für Menschen. In: Lozán J. L. S.-W. Breckle, H. Grassl, W. Kuttler & A. Matzarakis (Hrsg.). Warnsignal Klima: Die Städte.

263-268. Online: www.klima-warnsig nale.uni-hamburg.de.

LUBW (2014): Immissionsvorbelastung Baden-Württemberg. Im Daten- und Kartendienst http://udo.lubw.baden-wuerttemberg.de/public/pages/map/default/index.xhtml

LUBW (2017): Monitoring-Bericht zum Klimaschutzgesetz Baden-Württemberg. Teil I Klimafolgen und Anpassung. 158 S. https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/2_Presse_und_Service/Publikationen/Klima/20170705_Monitoringbericht_zum_Klimaschutzgesetz_Teil1_Klimafolgen_und_Anpassung.pdf

LUBW ed. (2012): Klimawandel in Baden-Württemberg: Fakten - Folgen - Perspektiven. LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg [u.a.], Karlsruhe.

Matzarakis, A. und H. Mayer (1997): Heat stress in Greece. International Journal of Biometeorology 41 (1), 34-39. doi : 10.1007/s004840050051.

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.

Moss R, Babiker M, Brinkman S, Calvo E, Carter T, Edmonds J, Elgizouli I, Emori S, Erda L, Hibbard KA et al (2008): Towards new scenarios for analysis of emissions, climate change, impacts, and response strategies. IPCC Expert Meeting Report on New Scenarios. Intergovernmental Panel on Climate Change, Noordwijkerhout.

Moss, R.H., J.A. Edmonds, K.A. Hibbard, M.R. Manning, S.K. Rose, D.P. van Vuuren, T.R. Carter, S. Emori, M. Kainuma, T. Kram, G.A. Meehl, J.F.B. Mitchell, N. Nakicenovic, K. Riahi, S.J. Smith, R.J. Stouffer, A.M. Thomson, J.P. Weyant & T.J. Wilbanks (2010): The next generation of scenarios for climate change research and assessment. Nature (463)7282: 747–756.

Münchner Rückversicherung (2018): Hagel – Eine unterschätzte, zunehmende Gefahr. Gute Gründe um zu handeln. www.munichre.com/topics-online/de/climate-change-and-natural-disasters/climate-change/hail.html

Murphy, J.M., D.M.H. Sexton, D.N. Barnett, G.S. Jones, M.J. Webb, M. Collins & D.A. Stainforth (2004): Quantification of modelling uncertainties in a large ensemble of climate change simulations. Nature (430)7001: 768–772.

Nastos, P. T. und A. Matzarakis (2012). The effect of air temperature and human thermal indices on mortality in Athens, Greece. Theoretical and Applied Climatology 108 (3-4), 591-599. doi : 10.1007/s00704-011-0555-0.

Rädler, A.T., P. Groenemeijer, E. Faust & R. Sausen (2018): Detecting Severe Weather Trends Using an Additive Regressive Convective Hazard Model (AR-CHaMo). Journal of Applied Meteorology and Climatology (57)3: 569–587.

REKLIBO (2009): Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben: Wissenschaftlicher Abschlussbericht Band 3.

REKLISO (2006): Regionale Klimaanalyse Südlicher Oberrhein.

Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa.

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.

Schär, C. et al. (2004): The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. Nature, 427, 332–336.

Städtebauliche Klimafibel (2012): Hinweise für die Bauleitplanung.

Umweltbundesamt (2008): Klimawandel in Deutschland Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme.

van Vuuren, D.P., J. Edmonds, M. Kainuma, K. Riahi, A. Thomson, K. Hibbard, G.C. Hurtt, T. Kram, V. Krey, J.-F. Lamarque, T. Masui, M. Meinshausen, N. Nakicenovic, S.J. Smith & S.K. Rose (2011): The representative concentration pathways: an overview. Climatic Change (109)1–2: 5–31.

VDI 3782 Blatt 1: Umweltmeteorologie – Atmosphärische Ausbreitungsmodelle - Gaußsches Fahnenmodell 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 10 (2010): Umweltmeteorologie – Human-biometeorologische Anforderungen im Bereich Erholung, Prävention, Heilung und Rehabilitation.

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.

Vuuren, **van,** Detlef P., Edmonds, Jae, Kainuma, Mikiko, Riahi, Keywan, Thomson, Allison, Hibbard, Kathy, Hurtt, George C., Kram, Tom, Krey, Volker, Lamarque, Jean-Francois, Masui, Toshihiko, Meinshausen, Malte, Nakicenovic, Nebojsa, Smith, Steven J., Rose, Steven K. (2011) The representative concentration pathways: an overview. Climatic Change 5(109) 1573-1480. Doi: 10.1007/s10584-011-0148

Wang, Y., L.R. Leung, J.L. McGregor, D.-K. Lee, W.-C. Wang, Y. Ding & F. Kimura (2004): Regional Climate Modeling: Progress, Challenges, and Prospects. Journal of the Meteorological Society of Japan (82)6: 1599–1628.

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 A1-14-1: 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
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	Gewerbe- und Wohngebiet
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 (**F**low over **I**rregular **T**errain with **N**atural and **A**nthropogenic **H**eat-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 volldynamischen 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 (mitei-

nander 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 Klimavielfalt

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. Grünflächen größer als 0,5 ha[18] gelten dabei als klimatisch relevant, d.h. es kann sich ein Mikroklima darauf entwickeln, das sich von den benachbarten versiegelten Gebieten unterscheidet. Das Nebeneinander von verschiedensten Mikroklimaten und thermischen Belastungsstufen in Städten mit besonderem Augenmerk auf die entlastenden Grünflächen kann über die Analyse der sogenannten Klimavielfalt analysiert werden.

Die Ausweisung der Klimavielfalt in Städten erfolgt über eine Analyse der Landnutzung und der Lage öffentlich zugänglicher Flächen (z.B. Waldgebiete, Parks). Es werden nur klimatisch wirksame Grünflächen größer als 0,5 ha und Wasserflächen berücksichtigt. Die Distanz zwischen Grün-/Wasserfläche und Bebauung wird als Luftlinie berechnet. Eine Entfernung zu diesen Flächen von unter 250 m Luftlinie wird als „sehr gute Klimavielfalt“ und von unter 500 m als „Klimavielfalt vorhanden“ gewertet (vgl. Schumacher et al. 2016, Richter et al. 2016, Mayer 1989).

A1.2.3 Berechnung der Empfindlichkeit

Die Empfindlichkeit der Bevölkerung wird aus der Einwohnerdichte pro 50 m x 50 m berechnet. Dazu wurde die für jede Rasterzelle der Einwohneranteil abhängig von der sich in der Rasterzelle befindlichen Gebäudefläche berechnet. Die Bewertung der Einwohnerdichte erfolgt relativ durch Berechnung der Perzentile für das Stadtgebiet Rheinfelden (Tabelle A1-14-2).

Tabelle A1-14-2: Bewertung der Einwohnerdichte je 50 m x 50 m (A1).

Perzentil	Einwohner / ha	Bewertung
< 50.	> 0 – 7,7	sehr geringe Empfindlichkeit
50. - 75.	> 7,7 – 14,6	geringe Empfindlichkeit
75. - 90.	> 14,6 – 26,0	mittlere Empfindlichkeit
≥ 90.	> 26,0	hohe Empfindlichkeit

[18] *Deutscher Rat für Landespflege: wohnungsnahe Freiräume (=Grünflächen über 0,5 ha, 4m²/Einwohner, 500 m Entfernung)*

A1.2.4 Berechnung der Betroffenheit

A1.2.4.1 Thermische Betroffenheit

Die Betroffenheit der Bevölkerung kann aus der Zusammenschau der Empfindlichkeit jeweils mit der thermischen und der lufthygienischen 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 A1-14-3),

B2 – Klimavielfalt (Berücksichtigung der Entfernung zu thermisch geringer belasteten, öffentlich zugänglichen, klimatisch relevanten Grün- und Wasserflächen innerhalb Ortslagen, Tabelle A1-14-4),

B3 – Urbane Wärmeinsel (Wärmebelastung nachts, Tabelle A1-14-6).

Tabelle A1-14-3: Bewertung B1 der Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET) angelehnt an Matzarakis und Mayer (1997). Zur besseren Differenzierung der Hitzebelastung in der Stadt Rheinfelden wurden die letzten zwei Klassen ergänzt.

PET (°C)	Thermische Sensitivität
< 35	warm
> 35 – 41	heiß
> 41 – 47	sehr heiß
> 47 – 54	sehr heiß
> 54	sehr heiß

Tabelle A1-14-4: 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
Außenbereich	z.B. alleinstehendes Haus im Außenbereich

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 A1-14-5: 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	gering	gering	mittel	hoch
	Klimavielfalt vorhanden	gering	mittel	hoch	sehr hoch
	Außenbereich oder kein Bedarf	gering	mittel	hoch	sehr hoch
	keine Klimavielfalt vorhanden	gering	hoch	sehr hoch	sehr hoch

Tabelle A1-14-6: Bewertung B3 der nächtlichen urbanen Wärmeinsel (UHI (abendliche städtisch – ländliche Lufttemperaturunterschiede in K).

UHI (K)	**Bewertung (B3)**
≤ 0	keine Überwärmung
> 0 – 1	geringe Überwärmung
1 – 2	mäßige Überwärmung
2 – 3	mittlere Überwärmung
> 3	starke Überwärmung

Tabelle A1-14-7: Ermittlung der thermischen Belastung ermittelt aus der Wärmebelastung tagsüber und nachts.

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

Tabelle A1-14-8: Ermittlung der Betroffenheit ermittelt aus den Wertstufen der Tabelle „Empfindlichkeit der Bevölkerung“ und der Tabelle „Thermische Belastung“.

Betroffenheit (bioklimatische Belastung) der Bevölkerung / Siedlungsgebiete						
Empfindlichkeit der Bevölkerung (Ortsgröße / Einwohnerdichte)		Thermische Belastung Wärmebelastung: Tag (PET: 12:00 / Anzahl Sommertage) + Nachttemperatur 04:00				
		gering	mittel	hoch	sehr hoch	extrem
	gering	gering	mittel	mittel	hoch	sehr hoch
	mittel	mittel	mittel	hoch	sehr hoch	sehr hoch
	hoch	mittel	hoch	sehr hoch	sehr hoch	extrem
	sehr hoch	hoch	sehr hoch	sehr hoch	extrem	extrem

A1.2.5 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 A1-1).

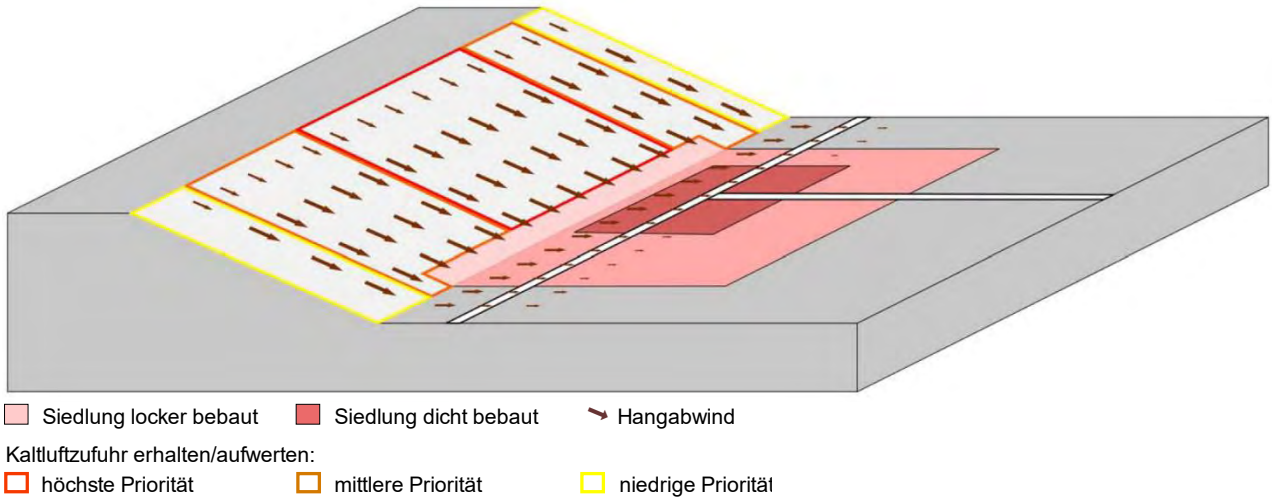

Abbildung A1-1: Skizze zur Veranschaulichung der Abgrenzung der relevanten Strömungssysteme (REKLIBO 2010).

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 und/oder lufthygienischen 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 nu-

merisch-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.

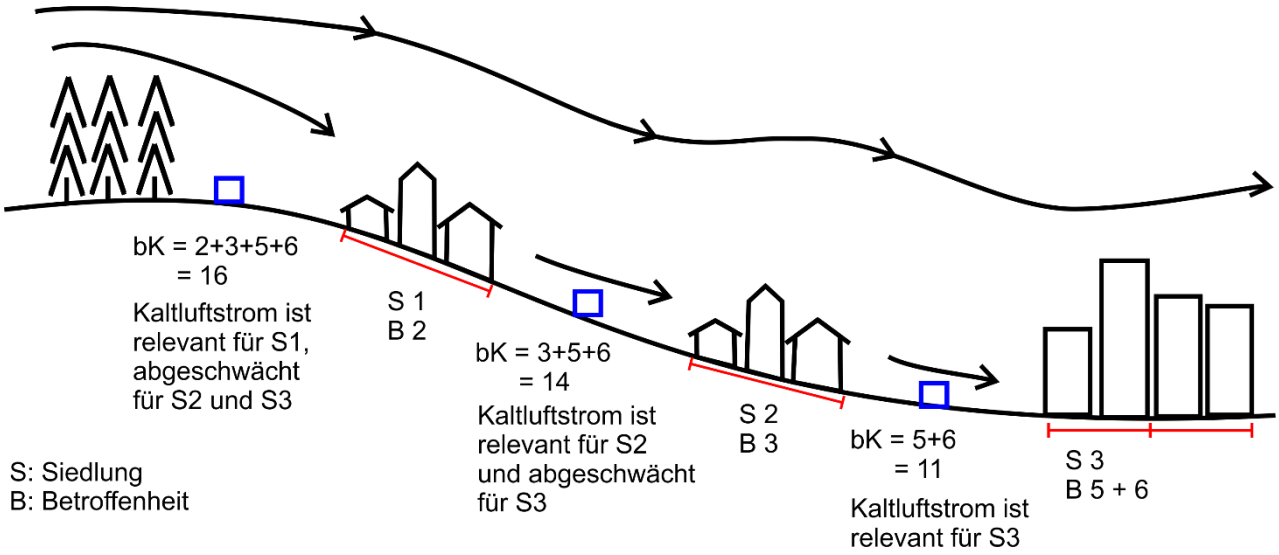

Abbildung A1-2: Bewertung der Kaltluftströmung (bK) durch Vorwärtstrajektorien.

Im zweiten Schritt werden aus jeder Rasterzelle, die sich in den ermittelten Bereichen befinden, 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 A1-2).

Die Berechnung von Vorwärtstrajektorien zur Ermittlung der Bedeutung der Kaltluftströmung wird in Abbildung A1-2 dargestellt. Die blauen Kästchen markieren die Lage eines Windpfeils der bewertet werden soll. Die Betroffenheit der Siedlungen (S1 bis S3) wurde in der Stadtklimaanalyse Rheinfelden in 50 m x 50 m Rasterzellen ermittelt (rote Begrenzungen unterhalb der Siedlungen). Die Bewertung richtet sich nach der möglichen Belüftungswirkung der Strömung. Eine Strömung die mehrere oder stärker betroffene (empfindlichere) Siedlungsbereiche belüftet, erhält eine höhere Bewertungskennzahl. 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 dem Luftbild 2015 der Stadt Rheinfelden entnommen.

A2.1 Gewässer-Klimatop

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.

Für Rheinfelden spielt der Rhein als Luftleitbahn eine Rolle. Aufgrund der dichten Bebauung entlang des Rheins ist die Eindringtiefe der Strömung jedoch auf die ufernahen Bereiche begrenzt, ebenso der thermische Effekt. Hingegen spielen Fließgewässer wie der Dürrenbach oder der Mattenbach aufgrund ihrer Kanalisierung und Verbauung sowie des temporären Wasserführens eine untergeordnete Rolle hinsichtlich ihrer Klimawirksamkeit.

A2.2 Freiland-Klimatop

In der Klimafunktionskarte mit „Landwirtschaftsfläche“ 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 Kaltluftsammelbereich 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 Freiflächen der Stadt Rheinfelden werden für den Ackerbau und als Weidefläche genutzt.

A2.3 Wald-Klimatop

In der Klimafunktionskarte mit „Waldfläche/Gehölz“ 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. Quellen: Pollen, Sporen

b) Anmerkungen

Das Wald-Klimatop 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: Im Untersuchungsgebiet liegen die ausgedehnteren Waldflächen im Westen und Osten des Untersuchungsgebiets. Hierzu zählen die Waldflächen am Nollinger Berg, am Eichberg und am Volkertsberg mit Naturschutzgebiet, sowie der Hagenbacher Wald im Westen. Des Weiteren finden sich einige größere Waldbestände im Nordosten der Stadt Rheinfelden am Windelberg und südlich von Nordschwaben. Kleinere Waldstücke befinden sich entlang des Rheins.

A2.4 Grünanlagen-Klimatop

In der Klimafunktionskarte mit „Parkanlage“ und „sonst. Grünfläche“ gekennzeichnet.

a) allgemeine Merkmale

Versiegelung:	< 20 %
Flächennutzung:	Wiesenflächen, Parks und Sportanlagen (nur wenn begrünt).
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_2, 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,
- Temperaturausgleich 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 oder andere Barrieren 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 ist und die Verdunstung damit eingeschränkt ist.

Beispiele: In der Nähe zum Stadtzentrum befinden sich die Grünanlagen „Obere Rütte“, der Friedhof, der Herbert-King-Park sowie die Sportflächen entlang der Karl-Fürstenberg-Straße.

A2.5 Dorfstrukturen-Klimatop

In der Klimafunktionskarte mit „Dorfstrukturen“ gekennzeichnet.

a) allgemeine Merkmale

Versiegelung: 50% – 70%

Flächennutzung: Wohnbebauung, Wohnblocks und Blockbebauung ca. 2- bis 5-geschossig, Garten- und Freilandnutzung gering.

Bebauung: hohe Versiegelung und dichte Bebauung, ähnlich dem Stadt-Klimatop, wobei die Geschossigkeit geringer ist.

Vegetation: Einzelbäume, kleine Grünflächen.

Lufthygiene: wenig belastet. Quellen: Hausbrand, Kfz-Verkehr, Landwirtschaft. Luftschadstoffe, hauptsächlich NO_2, Feinstäube, bei Tierhaltungen auch Gerüche.

b) Anmerkungen

Durch die dichte Bebauung und reduzierte Durchlüftung kann es im Sommer auch hier Wärmebelastungen geben. Aufgrund der geringen Ausdehnung dieser Gebiete können Kaltluftabflüsse die Belastungen in den Abend- und Nachtstunden relativ gut abbauen.

A2.6 Stadtrand-Klimatop

In der Klimafunktionskarte mit „Stadtrand“ gekennzeichnet.

a) allgemeine Merkmale

Versiegelung: < 50%

Flächennutzung: Einzelhäuser geringer Bauhöhe (1- bis 3-geschossig) mit Garten- und Freilandnutzung.

Bebauung: Relativ gleichmäßige Bauhöhen.

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

Lufthygiene: schwach bis mäßig belastet. Quellen: Hausbrand, Kfz-Verkehr. Luftschadstoffe hauptsächlich NO_2, Feinstäube. Bei Holzfeuerungen auch Gerüche.

b) Anmerkungen

Das Klimatop ist dem Übergangsbereich zwischen Freilandklima und dem Klima bebauter Flächen zuzuordnen und wird durch Flächennutzung und Oberflächenstruktur geprägt. Es weist aber bereits eine deutliche Veränderung der Klimaelemente im Vergleich zum Freiland auf. Die relativ 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: Stadtrand-Klimatope befinden sich insbesondere nordöstlich der Innenstadt, in Nollingen, Karsau und in Herten.

A2.7 Stadt-Klimatop

In der Klimafunktionskarte mit „verdichtete Stadtbebauung“ 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

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_2, 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.

A2.8 Stadtkern-Klimatop

In der Klimafunktionskarte mit „Stadtkern“ gekennzeichnet.

a) allgemeine Merkmale

Versiegelung:	über 70 %
Flächennutzung:	Gewerbe mit Wohnnutzung.
Bebauung:	Verwaltungs-, Geschäfts- und Wohnbebauung, drei- und mehrgeschossige Baublöcke, z.T. extreme Bauhöhendifferenzen, Straßenschluchten
Vegetation:	Straßenbäume und Straßenbegleitgrün.
Lufthygiene:	belastet, an Hauptverkehrsstraßen stark belastet. Quellen: Kfz-Verkehr, Hausbrand. Luftschadstoffe hauptsächlich NO_2, 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.

A2.9 Industrie und Gewerbe-Klimatop

In der Klimafunktionskarte mit „Industrie- und Gewerbefläche“ 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 Emissionsschutzpflanzungen) 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_2, Feinstäube. Je nach Produktionsprozessen auch weitere Luftschadstoffe und Gerüche.

b) Anmerkungen

Dieses Klimatop ist mit dem Innenstadt-Klimatop 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.

Die wichtigsten Beispiele sind das Gewerbegebiet im Osten der Stadt entlang der B34 sowie das Gewerbegebiet südlich von Herten.

A2.10 Sonderbauformen

Sonderbauformen wie der Kulturpark „Tutti Kiesi“ sind aufgrund der meist heterogenen Nutzungen nicht eindeutig in Klimatope einzuordnen.

A2.11 Bahnanlagen-Klimatop

In der Klimafunktionskarte mit „Bahnfläche“ gekennzeichnet.

a) allgemeine Merkmale

Versiegelung:	geringer Versiegelungsgrad
Flächennutzung:	Geschotterte Gleisanlagen.
Bebauung:	Einzelgebäude.
Vegetation:	vereinzelt Strauchwerk.
Lufthygiene:	Luftschadstoffe hauptsächlich bei Dieseltraktion. Lärmemissionen. Luftschadstoffe hauptsächlich Feinstäube und NO_2.

b) Anmerkungen

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

Beispiele: Bahntrasse durch Rheinfelden.

A2.12 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 potentielle Einströmschneisen für Flurwinde. Die Luftgüte wird dabei zunächst nicht betrachtet, d.h. die transportierten Luftmassen können sowohl belastet (z.B. bei Straßen) als auch unbelastet sein (z.B. bei Grünanlagen).

Beispiele: Flugplatz, Bahnlinie, Rhein, nördliche Freiflächen siehe Planungshinweiskarte.