

STADTKLIMAANALYSE FÜR DIE STADT SCHWETZINGEN UND DIE GEMEINDE PLANKSTADT



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



Baden-Württemberg
MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT



Stadt
Schwetzingen

Auftraggeber: Stadtverwaltung Schwetzingen
Amt für Stadtentwicklung
Hebelstraße 1
68723 Schwetzingen

Stadtklimaanalyse für die Stadt Schwetzingen und die Gemeinde Plankstadt

Projekt: 24-05-05-FR
Bericht: 1.1
Umfang: 116 Seiten
Datum: 15.07.2026
Bearbeiter: Dr. Christine Ketterer, M.Sc. in Climate Sciences
Dr. Marcel Gangwisch, M.Sc. in Umweltwissenschaften
Dr. Markus Hasel, Diplom-Meteorologe
Dr. Rainer Röckle, Diplom-Meteorologe

iMA Richter & Röckle GmbH & Co. KG
Eisenbahnstraße 43
79098 Freiburg
Telefon: 0761/ 400077-09
E-Mail: ketterer@ima-umwelt.de
Internet: www.ima-umwelt.de

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	10
Gunstfaktoren.....	11
Belastungen	11
Maßnahmenempfehlungen.....	12
1 Einführung und Aufgabenstellung.....	14
2 Vorgehensweise	16
3 Datengrundlage und Methodik	18
3.1 Daten.....	18
3.1.1 Topografie	18
3.1.2 Nutzungsstruktur	22
3.1.3 Messdaten und Klimadaten	23
3.2 Methodik.....	26
3.2.1 Stadtklimasimulationen	26
3.2.2 Human-Biometeorologie	28
3.2.3 Analyse der Klimavielfalt	30
3.2.4 Berechnung der thermischen Empfindlichkeit.....	31
3.2.5 Berechnung der thermischen Belastung.....	31
3.2.6 Berechnung der thermischen Betroffenheit	32
3.2.7 Berechnung der Hotspots	33
3.2.8 Erstellung der Klimaanalysekarte	33
3.2.9 Bewertung der Freiräume und Grünflächen – Identifikation des Ausgleichs- Wirkungsraumgefüges	34
3.2.10 Erstellung der Planungshinweiskarte	35
4 Bestandsbeschreibung	36
4.1 Örtliche Verhältnisse	36
4.2 Klimatische Einordnung der Städte Schwetzingen und Plankstadt	39
4.3 Strömungsverhältnisse	40
4.4 Bisherige Untersuchungen	43
4.4.1 Landesweite Klimaanalyse	43
4.4.2 Messfahrten des Deutschen Wetterdienstes	45
5 Auswirkungen des Klimawandels	47
5.1 Klimamodellierung	47
5.2 Lufttemperatur	47
5.3 Niederschlag	49
5.4 Klimatologische Kenntage	52
5.4.1 Heiße Tage, Sommertage und tropische Nächte	53
5.4.2 Frost- und Eistage.....	54
5.4.3 Hageltage	56
6 Ergebnisse der Stadtklimaanalyse.....	59
6.1 Kaltluftströmung.....	59
6.1.1 Entstehung von Kaltluftabflüssen.....	59

6.1.2 Zeitlicher Verlauf von Kaltluftabflüssen	60
6.1.3 Häufigkeit von Kaltluftabflüssen	60
6.1.4 Strömungsprofile in der Kaltluft	61
6.1.5 Ergebnisse der Modellierung	62
6.2 Thermische und human-biometeorologische Verhältnisse	67
6.2.1 Human-biometeorologische Verhältnisse	67
6.2.2 Urbane Wärmeinsel	69
6.3 Stadtgrün und Klimavielfalt	72
6.3.1 Die verschiedenen Arten des städtischen Grüns	72
6.3.2 Analyse der Klimavielfalt	77
6.4 Thermische Empfindlichkeit	80
6.5 Thermische Belastung	84
6.6 Thermische Betroffenheit	86
6.7 Hotspot-Analyse	89
7 Klimaanalysekarte	92
8 Planungshinweiskarte	96
9 Handlungsstrategien für die Stadtplanung	102
9.1 Maßnahmen zur Verbesserung und Erhaltung der Durchlüftung	102
9.2 Maßnahmen zur Reduktion der thermischen Belastung	104
9.3 Einschätzungen zur Nachverdichtung aus klimatischer Sicht	106
10 Literatur	108
Glossar	113

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1:	Langjähriges Mittel der Anzahl an Sommertagen im Zeitraum 1961 – 1990 (links) und 1991 – 2020 (rechts). Quelle: DWD Climate Center (CDC) 2020, Jahresraster der Anzahl an Sommertagen für Deutschland, Version v1.0.....	15
Abbildung 2-1:	Vorgehensweise bei der Stadtklimaanalyse Schwetzingen und Plankstadt.	17
Abbildung 3-1:	Digitales Stadtmodell von Schwetzingen und Plankstadt. In das Modell fließen Informationen über das Gelände, die Landnutzung, die Gebäudestrukturen und die Vegetation aus verschiedensten Datenquellen ein.	19
Abbildung 3-2:	Digitales Luftbild von Schwetzingen und Plankstadt.	20
Abbildung 3-3:	Aktuelle Landnutzung in Schwetzingen und Plankstadt.	21
Abbildung 3-4:	Zeitreihe des anthropogenen Strahlungsantriebs (W/m^2) für Basis-Szenarien SSP1 bis SSP5 im Vergleich zu verschiedene Emissionsszenarien (RCP; Quelle: Riahi et al. (2017)).....	25
Abbildung 3-5:	Schematische Darstellung der räumlichen Verfeinerung (Downscaling) der Klimasimulationsrechnungen von der globalen Skala zur städtischen Skala. Die auf IPCC-Emissions-szenarien basierenden globalen Klimasimulationen dienen als Antrieb für ein Ensemble höher auflösender regionaler Klimamodelle. Die Ergebnisse der regionalen Klimamodelle dienen wiederum als Eingabedaten des Stadtklimamodells (Grafik: Koßmann, Noppel & Früh (2014)).	25
Abbildung 3-6:	Flussdiagramm zur Veranschaulichung der Berechnung thermischer Indizes.	29
Abbildung 3-7:	Skizze zur Veranschaulichung der Abgrenzung der relevanten Strömungssysteme (Schwab & Zachenbacher (2009)).	34
Abbildung 3-8:	Beispielhafte Bewertung der Kaltluftströmung (bK) durch Vorwärtstrajektorien.....	35
Abbildung 4-1:	Anteile der Landnutzung in Schwetzingen und Plankstadt (Quelle: www.statistik-bw.de).	36
Abbildung 4-2:	Topographie der Städte Schwetzingen - Plankstadt und der näheren Umgebung.	38
Abbildung 4-3:	Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit und Windrichtung gemessen von der LUBW vom 01.01.1997 bis 31.12.2006 in Mannheim Süd.	41
Abbildung 4-4:	Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeits- und Ausbreitungsklassen der synthetischen Ausbreitungsklassenstatistik an den Standortkoordinaten (EPSG: 4647) 3469000, 5474000 bereitgestellt von der LUBW.	42
Abbildung 4-5:	Verteilung der Windrichtung und -geschwindigkeit der synthetischen Ausbreitungsklassenstatistik bereitgestellt von der LUBW.....	42
Abbildung 4-6:	Klimaanalysekarte (2. Nachthälfte) aus der landesweiten Klimaanalyse.	43
Abbildung 4-7:	Planungshinweiskarte der landesweiten Klimaanalyse.	44
Abbildung 4-8:	Ergebnisse der Messfahrten des DWD, durchgeführt am 28.08.2024 um 14:00 Uhr UTC.....	45
Abbildung 4-9:	Ergebnisse der Messfahrten des DWD, durchgeführt am 29.08.2024 um 3:30 Uhr.	46
Abbildung 5-1:	Beobachtete und simulierte Änderung der Lufttemperatur für den Zeitraum 1881 – 2100 in Schwetzingen und Plankstadt. Die Simulationsdaten entsprechen den Szenarien	

RCP4.5 und RCP8.5 und werden ab dem Jahr 2024 dargestellt (Daten: Climate Center des DWDs, ReKlieS-De).....	47
Abbildung 5-2: Absolute Entwicklung der 30-jährigen Jahresmitteltemperatur (Median) bis Mitte und Ende des 21. Jahrhunderts gegenüber der Klimanormalperiode 1971 – 2000 unter Berücksichtigung von RCP4.5 und RCP8.5 (Datengrundlage: Klimaleitplanken 3.0 der LUBW).....	48
Abbildung 5-3: Mittlere monatliche Niederschlagsverteilung von 1961 bis 1990 und 1991 bis 2020, gemessen in Schwetzingen und Plankstadt (Daten: DWD).	49
Abbildung 5-4: Prognostizierte Veränderung des mittleren Jahresniederschlags im 30-jährigen Mittel bis Ende des 21. Jhds. gegenüber der Klimanormalperiode 1971 – 2000. Die Fehlerbalken stellen den Bereich zwischen dem Minimum und dem Maximum des Modellensembles dar.	50
Abbildung 5-5: Saisonale Niederschlagsänderung für die Klimanormalperioden 1981 – 2010 bis 2071 – 2100 gegenüber dem Referenzzeitraum 1971 – 2000. Die Fehlerbalken stellen den Bereich zwischen dem 15. und 85. Perzentil dar.	51
Abbildung 5-6: Prognostizierte Entwicklung der Anzahl an Starkregentagen im 30-jährigen Mittel bis Ende des 21. Jhds. gegenüber der Klimanormalperiode 1971 – 2000 basierend auf RCP4.5 und RCP8.5. Die Fehlerbalken stellen den Bereich zwischen dem Minimum und dem Maximum des Modellensembles dar.	52
Abbildung 5-7: Anzahl der Sommertage (ST) für den Referenzzeitraum 1971 – 2000 und für die Prognosezeiträume bis Ende des 21. Jahrhunderts basierend auf RCP4.5 und RCP8.5.	53
Abbildung 5-8: Anzahl der heißen Tage (HT) für den Referenzzeitraum 1971 – 2000 und für die Prognosezeiträume bis Ende des 21. Jahrhunderts basierend auf RCP4.5 und RCP8.5.	54
Abbildung 5-9: Anzahl der Frosttage für den Zeitraum 1971 – 2000 und für die Prognosezeiträume bis Mitte und Ende des 21. Jahrhunderts basierend auf RCP4.5 und RCP8.5.	55
Abbildung 5-10: Anzahl der Eistage (ET) für den Zeitraum 1971 – 2000 und für die Prognosezeiträume bis Ende des 21. Jahrhunderts basierend RCP4.5 und RCP8.5.....	55
Abbildung 5-11: Mittlere Anzahl an Hageltagen pro Monat für die Klimanormalperiode 1981 – 2010. Als Datengrundlage wurden die in Tabelle 5-2 gelisteten Stationen ohne Inselstationen verwendet.	57
Abbildung 5-12: Mittlere jährliche Anzahl an Hagelereignissen (links) und der Trend pro Dekade in den 37 Jahren von 1979 bis 2015 (rechts; Quelle: Münchener Rückversicherung 2019).	57
Abbildung 6-1: Bodennahe Belüftung in den peripheren Bereichen (oben, eigene Abbildung) und Herabmischung der mittleren Strömung in einer Straßenschlucht ((a) bis (c), Christen (2019) modifiziert nach Oke et al. (2017)).	61
Abbildung 6-2: Idealisierte Vertikalprofile einer Kaltluftströmung.	61
Abbildung 6-3: Übersicht der Kaltluftabflüsse (Windgeschwindigkeit) abends im Überdachniveau.....	62
Abbildung 6-4: Abendliche Kaltluftströmung im Dachniveau (28 m ü. Grund) in Schwetzingen und Plankstadt.	63

Abbildung 6-5: Kaltluftströmung in Bodennähe (5 m ü. Grund) in Hirschacker (oben) und Schwetzingen (unten).	64
Abbildung 6-6: Kaltluftströmung in Bodennähe (5 m ü. Grund) in Plankstadt.	65
Abbildung 6-7: Nächtliche Kaltluftströmung im Dachniveau (28 m ü. Grund) in Schwetzingen und Plankstadt.	66
Abbildung 6-8: Räumliche Ausprägung der Physiologisch Äquivalenten Temperatur (PET, in °C) zur Mittagszeit (2 m ü. Grund) in Schwetzingen und Plankstadt.	68
Abbildung 6-9: Räumliche Ausprägung der abendlichen urbanen Wärmeinsel (UHI) in Schwetzingen und Plankstadt.	70
Abbildung 6-10: Räumliche Ausprägung der nächtlichen urbanen Wärmeinsel (UHI) in Schwetzingen und Plankstadt.	71
Abbildung 6-11: Versorgung der Siedlungsräume mit öffentlich zugänglichen Grünflächen mit Erholungswert und Aufenthaltsqualität (Flächen ohne Hitzestress) unter Berücksichtigung von privaten Gartenanlagen.	79
Abbildung 6-12: Verteilung der thermischen Empfindlichkeit tagsüber, basierend auf der Bevölkerungsdichte, und der hitzesensiblen Nutzungen in Schwetzingen und Plankstadt.	82
Abbildung 6-13: Verteilung der hitzesensiblen Einrichtungen in Schwetzingen und Plankstadt.	83
Abbildung 6-14: Räumliche Ausprägung der thermischen Belastung tagsüber in Schwetzingen und Plankstadt, basierend auf der Physiologisch Äquivalenten Temperatur.	84
Abbildung 6-15: Räumliche Ausprägung der thermischen Belastung nachts in Schwetzingen und Plankstadt, basierend auf den Unterschieden der Lufttemperatur der Urbanen Wärmeinsel.	85
Abbildung 6-16: Räumliche Ausprägung der thermischen Betroffenheit (Vulnerabilität) am Tag, basierend auf der thermischen Belastung für den Tag und der Empfindlichkeit.	87
Abbildung 6-17: Räumliche Ausprägung der thermischen Betroffenheit (Vulnerabilität) in der Nacht, basierend auf der thermischen Belastung für die Nacht und der Empfindlichkeit.	88
Abbildung 6-18: Hitze-Hotspots am Tag unter Berücksichtigung der Physiologisch Äquivalenten Temperatur in Schwetzingen und Plankstadt.	90
Abbildung 6-19: Hotspots in der Nacht unter Berücksichtigung der Urbanen Wärmeinsel in Schwetzingen und Plankstadt.	91
Abbildung 7-1: Klimaanalysekarte Tag mit Darstellung der Physiologisch Äquivalenten Temperatur und der Erreichbarkeit von Grünflächen.	94
Abbildung 7-2: Klimaanalysekarte Nacht mit Darstellung der Kaltluftströmungssysteme und der urbanen Wärmeinsel.	95
Abbildung 8-1: Planungshinweiskarte für die Tagsituation.	99
Abbildung 8-2: Planungshinweiskarte für die Nachtsituation mit den relevanten Kaltluftströmungen und der Bewertung des Außen- und Siedlungsbereichs.	101
Abbildung 9-1: 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 (Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg & Amt für Umweltschutz Stuttgart (2012)).	103
Abbildung 9-2	Einfluss der Fassadenbegrünung auf das Mikroklima. Erhöhte Lebensdauer der Fassade durch reduzierte Sonneneinstrahlung/UV-Belastung und Schlagregenschutz der Außenwand (© Nicole Pfoser, Dettmar, Pfoser & Sieber (2016)).	105

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1:	Räumliche Daten für die Stadtklimaanalyse Schwetzingen und Plankstadt.	18
Tabelle 3-2:	Räumliche Daten zur Nutzungsstruktur für die Stadtklimaanalyse Schwetzingen und Plankstadt.	22
Tabelle 3-3:	Weitere Datensätze für die Stadtklimaanalyse Schwetzingen und Plankstadt.	23
Tabelle 3-4:	Messdaten und weitere klimatologische Daten.	23
Tabelle 3-5:	Beschreibung unterschiedlicher Klimawandelszenarien basierend auf den Representative Concentration Pathways (RCP).	24
Tabelle 3-6:	Bewertungsskala von PET zur Quantifizierung der thermischen Verhältnisse und des Physiologischen Stresses bei Kälte- und Hitzebelastung (Matzarakis & Mayer (1997); VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 (2022)).	29
Tabelle 3-7:	Bewertung der Klimavielfalt – Entfernung zu einer öffentlichen Grünfläche. Die Klassen wurden nach den gängigen Literaturwerten eingeteilt (z.B. Mayer (1989); Nieuwenhuijsen et al. (2022); Richter, Grunewald & Meinel (2016); Schumacher, Lehmann & Behnisch (2016)).	30
Tabelle 3-8:	Bewertung der Bevölkerungsdichte und der hitzesensiblen Nutzung.	31
Tabelle 3-9:	Bewertung der Physiologisch Äquivalenten Temperatur (PET) angelehnt an die VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 (2022) und daraus abgeleiteten Bewertung der thermischen Belastung.	32
Tabelle 3-10:	Bewertung der nächtlichen urbanen Wärmeinsel (UHI – abendliche Lufttemperaturunterschiede zwischen Stadt und Umland in K) und daraus abgeleiteten Bewertung der thermischen Belastung.	32
Tabelle 3-11:	Ermittlung der thermischen Betroffenheit tagsüber anhand der Parameter „Empfindlichkeit der Bevölkerung“ und „Thermische Belastung tagsüber“.	33
Tabelle 3-12:	Ermittlung der thermischen Betroffenheit nachts anhand der Parameter „Empfindlichkeit der Bevölkerung“ und „Thermische Belastung nachts“.	33
Tabelle 4-1:	Jahresmittelwerte verschiedener Indikatoren für die Umgebung von Schwetzingen und Plankstadt und für ausgewählte Orte in Deutschland in den Zeiträumen 1961 – 1990 und 1991 – 2020. Datengrundlage: Messdaten und [†] Rasterdaten des DWD aus dem Climate Data Center (CDC). Eistag: $T_{\max} < 0\text{ °C}$, Frosttag: $T_{\min} < 0\text{ °C}$, Sommertag: $T_{\max} \geq 25\text{ °C}$, Heißer Tag: $T_{\max} \geq 30\text{ °C}$	39
Tabelle 5-1:	Klimatologische Kenntage für verschiedene Klimanormalperioden für zukünftige 30-jährige Klimanormalperioden für Mitte und Ende des 21. Jhd. basierend auf RCP4.5 und RCP8.5.	52
Tabelle 5-2:	Häufigkeit der Tage mit Hagel für den Zeitraum: 1981 – 2010. Inseln: kursiv, Berggipfel: GROSSBUCHSTABEN (Quelle: DWD-CDC).	56
Tabelle 9-1:	Wirkungskatalog von Begrünungsmaßnahmen hinsichtlich des Klimaschutzes und der Klimaanpassung.	107

Zusammenfassung

Die große Kreisstadt Schwetzingen und die Gemeinde Plankstadt planen bei zukünftigen Stadt- und Grünflächenplanungen fundierte stadtklimatische Aspekte zu berücksichtigen und haben hierzu eine hochaufgelöste Stadtklimaanalyse beauftragt.

Die Kommunen Schwetzingen und Plankstadt liegen im Oberrheingraben in einer der wärmsten Regionen Deutschlands. Die höhere Anzahl an Sommertagen^{*1} führt im Sommer häufig zu Hitzebelastungen. Tage mit Hitzestress werden im Rahmen des Klimawandels weiter zunehmen. Ziel ist es, sowohl die Bereiche mit hoher Belastung zu lokalisieren als auch die Gunstfaktoren und Raumschaften zu ermitteln, die für eine Entlastung sorgen.

In der Stadtklimaanalyse für die Stadt Schwetzingen und die Gemeinde Plankstadt werden die räumlichen Wirkungszusammenhänge zwischen den thermisch belasteten Räumen (Wirkungsraum*) und den ihnen zugeordneten Ausgleichsräumen analysiert. Um diese Aspekte des Stadtklimas zu erfassen und aufzuarbeiten, wurden umfangreiche, detaillierte Modellsimulationen durchgeführt. Dabei wird ein heißer Tag* betrachtet, wie er in der Regel bei wolkenarmen und wind-schwachen (autochthonen*) Wetterlagen auftreten kann. Bei diesen Wetterlagen prägen sich die lokal typischen klimatischen Eigenheiten am stärksten aus.

Die Kenntnis der räumlichen Struktur und Intensität sowohl der Belastungen als auch der Entlastungen unterstützt die Planenden in der Flächennutzungsplanung, in der Bauleitplanung und bei der Projektierung von Klimaanpassungsmaßnahmen.

Eine Belastungssituation in den Wirkungsräumen ergibt sich sowohl tagsüber (Wärmebelastung/Hitze) als auch nachts (Überwärmung des Stadtgebietes). Um die Be- und Entlastungseffekte zu bewerten, wird die Betroffenheit der Bevölkerung herangezogen. Diese ergibt sich aus der Intensität der Belastung bzw. Entlastung und der Empfindlichkeit der betrachteten Fläche. Die Empfindlichkeit wird über die Bevölkerungsdichte und die Lage hitzesensibler Nutzungen, wie Krankenhäuser, Pflegeheime, Schulen oder Kindergärten ermittelt. Zur Quantifizierung der Wirkung der thermischen Bedingungen auf den Menschen werden human-biometeorologische* Methoden herangezogen.

Die wesentlichen Faktoren für eine Entlastung stellen Durchlüftung und öffentlich zugängliche innerstädtische Grünflächen dar. Für die Durchlüftung sind insbesondere nächtliche Kaltluftabflüsse* maßgebend, die Kalt- und Frischluft* herantransportieren und die tagsüber entstandenen thermischen und lufthygienischen Belastungen verringern und die nächtliche Regeneration der Bevölkerung durch ein Absenken der Lufttemperatur im Außen- und Innenraum verbessern.

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

Die Ergebnisse wurden bewertungsfrei in Klimaanalysenkarten dargestellt. Abschließend wurden Planungshinweiskarten erarbeitet.

¹ Fachbegriffe werden bei ihrer ersten Erwähnung im Text mit „*“ gekennzeichnet und im Glossar erläutert.

Gunstfaktoren

Durch die Erhebungen des östlich von Schwetzingen und Plankstadt gelegenen Odenwalds kommt es zu Kaltluftabflüssen, die in den ersten Nachtstunden Schwetzingen und Plankstadt erreichen. Diese sind aufgrund der Entfernung zum Odenwald im hindernisarmen Dachniveau schon vergleichsweise schwach ausgeprägt.

Im Verlauf der Nacht schwächen sich die Kaltluftströmungen aus dem Odenwald ab. In den Nachtstunden stellt sich während autochthoner Wetterlagen ein komplexes Strömungssystem mit Überlagerung von Kaltluftabflüssen aus dem Odenwald und einer rheintalabwärts gerichteten Strömung ein, so dass im Raum Schwetzingen und Plankstadt südliche Windrichtungen dominieren.

Öffentlich zugängliche Grünflächen oder Waldgebiete stellen für die Bevölkerung wichtige Freizeit- und Naherholungsbereiche dar. Größtenteils ist die Bevölkerung von Schwetzingen und Plankstadt bereits ausreichend mit öffentlich zugänglichen Grünflächen versorgt. Weitere Grünflächen, wie der Schlossgarten oder das Freibad, welche nicht in der Analyse berücksichtigt wurden, runden das Angebot in Schwetzingen ab. Eine erschwerte Erreichbarkeit von öffentlich zugänglichen Grünflächen ergeben sich in Teilen der Oststadt, im Hirschacker sowie im südlichen Teil von Plankstadt.

Bei Nachverdichtung vergrößert sich der Bedarf an städtischen Grünflächen. In der Oststadt, der Nordstadt und im südlichen Teil von Plankstadt kann – insbesondere bei Nachverdichtung – die Versorgung mit öffentlichen Grünflächen oder multifunktionalen Mehrgenerationen-Spielplätzen verbessert werden.

Belastungen

Am Tag treten hohe bis sehr hohe Wärmebelastungen vor allem in den stark versiegelten Gewerbegebieten auf. Bereiche mit fehlender oder nur sehr geringer Verschattung durch Stadtbäume erreichen am Tag sehr hohe PET-Werte. Dazu zählen auch Gewerbegebiete, wie in der Scheffelstraße oder im Jungholz in Plankstadt. Auch in Straßen und auf Plätzen ohne Baumbestand findet sich eine hohe Wärmebelastung, als Beispiel seien der Schlossplatz, der Platz zwischen Kurfürstentube und dem Schloss Schwetzingen, der Marstallhof oder die Karlsruher Straße in Schwetzingen genannt. Auch der versiegelte Bereich um das Rathaus von Plankstadt weist eine hohe Wärmebelastung auf. Neubaugebiete mit noch sehr jungem Baumbestand sind in der Regel ebenfalls wärmebelastet. In engen Straßenzügen wird teils eine geringe Wärmebelastung durch die Abschattung der Gebäude erzielt. Offene Flächen wie Teile des Schlossplatzes, des Marktplatzes im Hirschacker oder Nord-Süd-ausgerichtete Straßen, in die besonders zur Mittagszeit die Sonne hineinscheinen kann, zeigen hingegen sehr hohe thermische Belastungen.

Gut durchgrünte Bereiche oder Parkanlagen sowie Waldgebiete weisen dagegen eine geringe bis sehr geringe thermische Belastung auf.

In der Nacht bewirkt die urbane Wärmeinsel* (UHI), welche die Überwärmung der verdichteten Siedlungsbereiche gegenüber dem Umland darstellt, eine hohe thermische Belastung. In der Kernstadt von Schwetzingen erreicht die urbane Wärmeinsel Werte bis über 4 K. Die Ortsrandlagen zeigen in der Nacht eine reduzierte thermische Belastung mit nur gering ausgeprägter UHI. Insbesondere auch die Gewerbegebiete stellen Bereiche mit einer hohen UHI von bis zu 3,8 K dar. Auch versiegelte Innenhöfe in Plankstadt kühlen abends schlecht ab und weisen eine deutliche Überwärmung auf.

Zur Bewertung der thermischen Belastung der Bevölkerung wird die thermische Betroffenheit ausgewiesen. Dies geschieht unter Einbezug der Empfindlichkeit der Bevölkerung, basierend auf der Einwohnerdichte und dem Vorhandensein hitzesensibler Nutzungen, wie z.B. Krankenhäuser.

Die thermische Betroffenheit am Tag zeigt ein stark heterogenes Bild. Bereiche mit sensibler Nutzung, wie die Klinik, Pflegeheime, Seniorenwohnanlagen und vereinzelt die Pausenhöfe von Schulen, treten hervor.

Nachts konzentriert sich die thermische Betroffenheit aufgrund der urbanen Wärmeinsel überwiegend auf die Schwetzingen Kern- und Oststadt. Bereiche mit nächtlicher sensibler Nutzung (Klinik, Pflegeheime, Seniorenwohnanlagen) zeigen teils ebenfalls hohe Werte.

Die südlichen und östlichen Ortsränder zeigen infolge der geringeren Bevölkerungsdichte und der vergleichsweise guten Belüftung durch die Kaltluftabflüsse meist geringere Werte der thermischen Betroffenheit als die Kernstadt.

Im Zuge des Klimawandels ist mit einer weiteren Zunahme der Wärmebelastungen zu rechnen. Um die Lebensqualität in der Stadt Schwetzingen und der Gemeinde Plankstadt zu erhalten, gewinnt die Berücksichtigung des Mikroklimas* und entsprechender Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen, sowohl in der Flächennutzungsplanung als auch in der Bauleitplanung, zunehmend an Bedeutung.

Maßnahmenempfehlungen

Der Klimawandel bedingt nicht nur eine Zunahme der Lufttemperatur. Herausforderungen ergeben sich hauptsächlich durch die Extreme, wie z.B. Hitzewellen, Dürreperioden, Starkniederschläge, und Sturmereignisse. Diese können insbesondere das Leben und die Gesundheit gefährden, aber auch Güter und Produktion schädigen. Der Einflussbereich solcher Ereignisse ist zumeist großflächig. Zudem existieren in der Regel keine kurzfristigen Lösungen, um die Belastungen zu entschärfen.

Ein Aspekt der thermischen Belastung ist die nächtliche Durchlüftung des Siedlungsbereichs. Tagsüber heizen sich Siedlungsbereiche stark auf und sind in den Nachtstunden dementsprechend überwärmt. In Hitzewellen ist innerstädtisch folglich mit hohen Belastungen zu rechnen. Gemindert wird dies durch die Versorgung mit Kaltluft aus den Außenbereichen. Somit sollten die Kaltluftproduktionsbereiche* erhalten bleiben, von denen eine Strömung in belastete Siedlungsräume ausgeht. Auch die zugehörigen Kaltluftleitbahnen, die bodennah kühlere Luft von den Kaltluftproduktionsbereichen in den Siedlungsraum transportieren, sind zu erhalten.

Ein weiterer Aspekt ist neben der Durchlüftung die Aufheizung und die Wärmespeicherung der Bebauung. Generell sind Maßnahmen, die das innerstädtische Grünvolumen erhöhen und Schattenplätze schaffen, zielführend, da so effektiv die Aufheizung des Stadtklimas reduziert wird. Auch Entsiegelung, Wasserrückhaltung und Wasserspiele sind geeignete Maßnahmen, die Aufenthaltsqualität zu verbessern. Die Verwendung heller Oberflächen und Baumaterialien mit erhöhtem Rückstrahlvermögen (Albedo*) kann die Aufheizung an sonnigen Tagen mindern und dadurch den Effekt der urbanen Wärmeinsel in den Abend- und Nachtstunden abschwächen. Allerdings können helle Oberflächen auf nicht verschatteten Plätzen, auf denen sich Menschen aufhalten, durch die Reflexion der kurzwelligen Sonnenstrahlung zu einer erhöhten Hitzebelastung führen.

Der Umgang mit Hitze sollte auch bei geplanten Maßnahmen zur Nachverdichtung berücksichtigt werden. Maßnahmen wie Dachausbau oder Schließung kleinerer Baulücken haben in der Regel nur geringe Auswirkungen auf das lokale Stadtklima. Wird allerdings eine Nachverdichtung in vormals begrünten Bereichen oder in durchlüftungsrelevanten Kaltluftleitbahnen geplant, haben diese in aller Regel negative Auswirkungen auf das Stadtklima. Bei Nachverdichtung sollte der Zuwachs an Grün (durch Dachbegrünung, Fassadenbegrünung oder Parkraummanagement), den Flächenverbrauch übersteigen.

1 Einführung und Aufgabenstellung

In der großen Kreisstadt Schwetzingen und der Kommune Plankstadt sind die zunehmenden Herausforderungen durch den Klimawandel präsent. Besonders die Themenfelder Starkregenereignisse und Hitzeperioden stellen die gegenwärtige Bevölkerung und die Stadtentwicklung immer mehr vor Herausforderungen.

Die Stadtklimaanalyse untersucht sowohl das aktuelle als auch das zukünftige Stadtklima mit besonderem Augenmerk auf die klimatischen Auswirkungen für die Bevölkerung.

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

Die Stadtklimaanalyse stellt deshalb eine wichtige Grundlage für planerische Entscheidungen dar. Sie basiert auf umfangreichen flächendeckenden Modellierungen sowohl der thermischen Belastungen als auch der entlastenden Momente durch Kaltluftabflüsse* und der städtischen Klimavielfalt.

Die Kaltluftströmungen, die thermischen Bedingungen und das Human-Bioklima* sind zentrale Elemente der Stadtklimaanalyse aus denen weitere Ergebnisebenen abgeleitet werden. In die Modellierungen fließen das Höhenmodell, die Landnutzung, die Baukörper und die Vegetation ein. Zudem werden auch die Effekte des prognostizierten Klimawandels behandelt.

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

Die Wärmebelastung* der Wirkungsräume setzt sich aus der thermischen Belastung und der Empfindlichkeit der Bevölkerung zusammen. Die thermische Belastung wird für die Tag- und Nachtsituation untersucht. Zur Quantifizierung der Wirkung der thermischen Bedingungen auf den Menschen werden human-biometeorologische Methoden herangezogen. Mithilfe der auf der menschlichen Energiebilanz basierenden thermischen Indizes wie der PET kann unter Berücksichtigung der Lufttemperatur*, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit und der Strahlungsflüsse die Wärmebelastung flächendeckend und zusammenfassend quantifiziert werden.

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

Die zahlreichen Ergebnisebenen werden in Form von Klimaanalyse- und Planungshinweiskarten zusammengefasst. Die hohe räumliche Auflösung der Karten kann in einem Bericht nicht adäquat dargestellt werden. Die Kartenebenen sind deshalb in einer GIS-Anwendung zusammengestellt.

Die Kommunen Schwetzingen und Plankstadt liegen im Oberrheingraben. Durch die Lage im Oberrheingraben weisen die Kommunen eine typische hohe Wärmebelastung auf. Zur Charakterisierung der Wärmebelastung kann die Zahl der Sommertage*, d. h. Tage mit Tageshöchsttemperatur $\geq 25^\circ\text{C}$, herangezogen werden. Exemplarisch sind die langjährigen Mittel der Sommertage in Baden-Württemberg für die Zeiträume 1961 – 1990 und 1991 – 2020 dargestellt (Abbildung 1-1). Im Stadtgebiet Schwetzingen und Plankstadt treten maximal 49 (1961 – 1990) bzw. 64 (1991 – 2020) Sommertage pro Jahr auf.

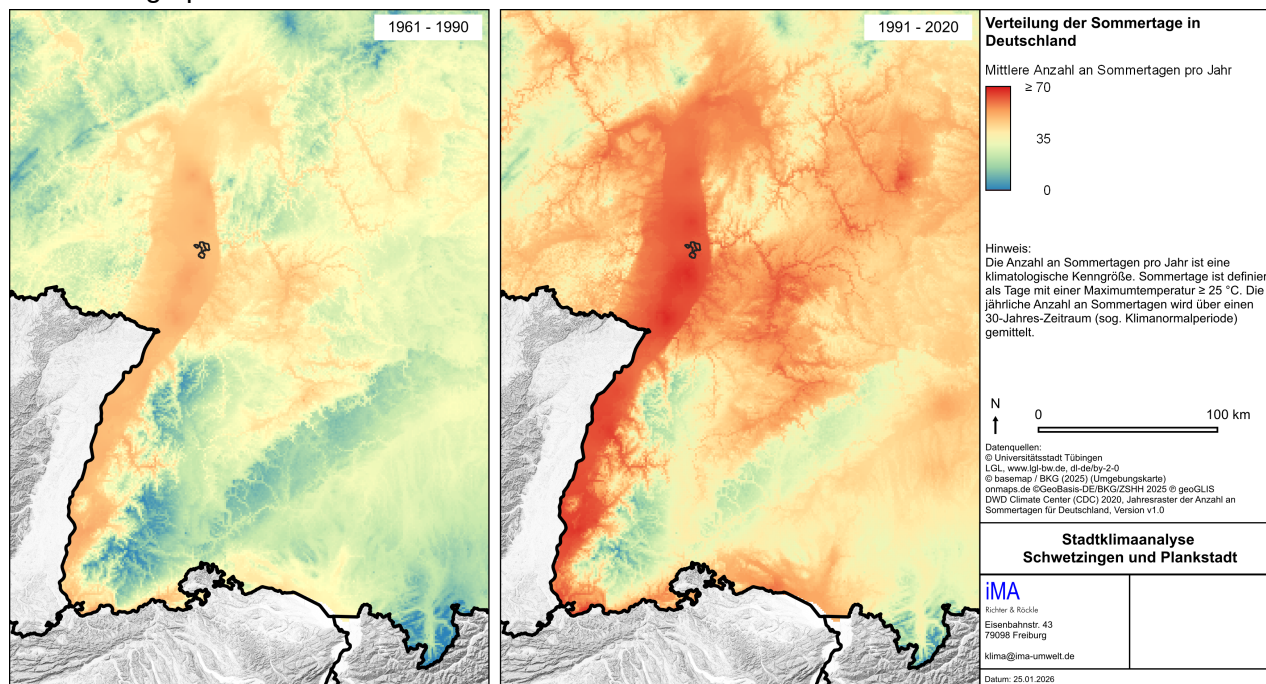


Abbildung 1-1: Langjähriges Mittel der Anzahl an Sommertagen im Zeitraum 1961 – 1990 (links) und 1991 – 2020 (rechts). Quelle: DWD Climate Center (CDC) 2020, Jahresraster der Anzahl an Sommertagen für Deutschland, Version v1.0.

Durch den anthropogenen* Klimawandel wird im 21. Jahrhundert ein Anstieg der mittleren Lufttemperatur, der Dauer, Intensität und Häufigkeit von Hitzewellen und der Anzahl an heißen Tagen* erwartet (Schär et al. (2004); Christidis, Jones & Stott (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 (an der Heiden et al. (2019); 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 niedrigen sozialen Status, die in Städten leben (Basu (2009)). Des Weiteren entsteht durch das verringerte Leistungsvermögen bei Hitze 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. In den Nachtstunden regeneriert nicht nur der Mensch, sondern auch die Natur. Da Hitzebelastungen tags mit geeigneter Kleidung und Aufenthalt in thermisch verträglichem Umfeld begegnet werden kann, ist nachts ein Ausweichen (Schlaf in geschlossenen Räumen) bei schlechter Abkühlung und geringem Luftaustausch kaum möglich. Ziel ist es deshalb, die Aufheizung tags zu minimieren und die Abkühlung nachts zu maximieren.

Eine nächtliche 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 neben der stärkeren Abkühlung nachts auch für eine ausreichende Klimavielfalt*, d. h. die Verfügbarkeit unterschiedlicher Mikroklimata* statt einer homogenen Bebauungssituation, erforderlich.

2 Vorgehensweise

Für die Stadtklimaanalyse für Schwetzingen und Plankstadt sind umfangreiche Modellierungen und Analysen durchgeführt worden. In Abbildung 2-1 ist die Vorgehensweise in einem Flussdiagramm skizziert. Es verdeutlicht den Weg von den Datengrundlagen über die Simulationen hin zur Bewertung von Ausgleichs- und Wirkungsräumen.

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

Die Ausprägung der lokalklimatischen Verhältnisse hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab. Dazu zählen die geografische Lage, die Höhenlage, das Relief, Bebauungsdichten und -höhen, die Verteilung von versiegelten und durchgrünten Flächen usw.

Um die Strömungsverhältnisse der Mesoskala – insbesondere Kaltluftabflüsse – zu modellieren, werden großräumige Nutzungs- und Geländestrukturen berücksichtigt, sodass die wesentlichen Kaltlufteinzugsbereiche* erfasst werden. Die Landnutzung und Landoberflächengestaltung bestimmt u. a. die Erwärmung der **Oberflächen** und der Luft in den Tagstunden bzw. die Abkühlung und damit die Kaltluftproduktion* in den Nachtstunden. Die Rauigkeit* des Geländes beeinflusst das bodennahe Fließverhalten der Kaltluftströmung, das Relief die Strömungslenkung.

In der mesoskaligen **Modellierung** mit FITNAH wird das Kaltlufteinzugsgebiet großräumig abgedeckt. In diese Simulation wird das gebäude- und vegetationsauflösende (mikroskalige) Modell PALM eingebettet.

Die **Modellergebnisse** werden hinsichtlich der **Gunstfaktoren** (z. B. Kaltluftabflüsse) und der Ungunstfaktoren (Belastungen) ausgewertet. Aus den **Ungunstfaktoren** und der Empfindlichkeit der Bevölkerung (Einwohnerdichte) ergibt sich die Betroffenheit. Aus der Zusammenschau der Gunstfaktoren und ihrer Intensität sowie der Betroffenheit werden die relevanten Grün- und Freiflächen für die Durchlüftung von Schwetzingen und Plankstadt ermittelt.

Die Klimaanalyse- und Planungshinweiskarten, die in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 3787, Blatt 1 (2015) erstellt wurden, stellen eine Zusammenstellung sämtlicher Simulationsergebnisse dar und sind folglich das finale Resultat der Klimaanalyse.

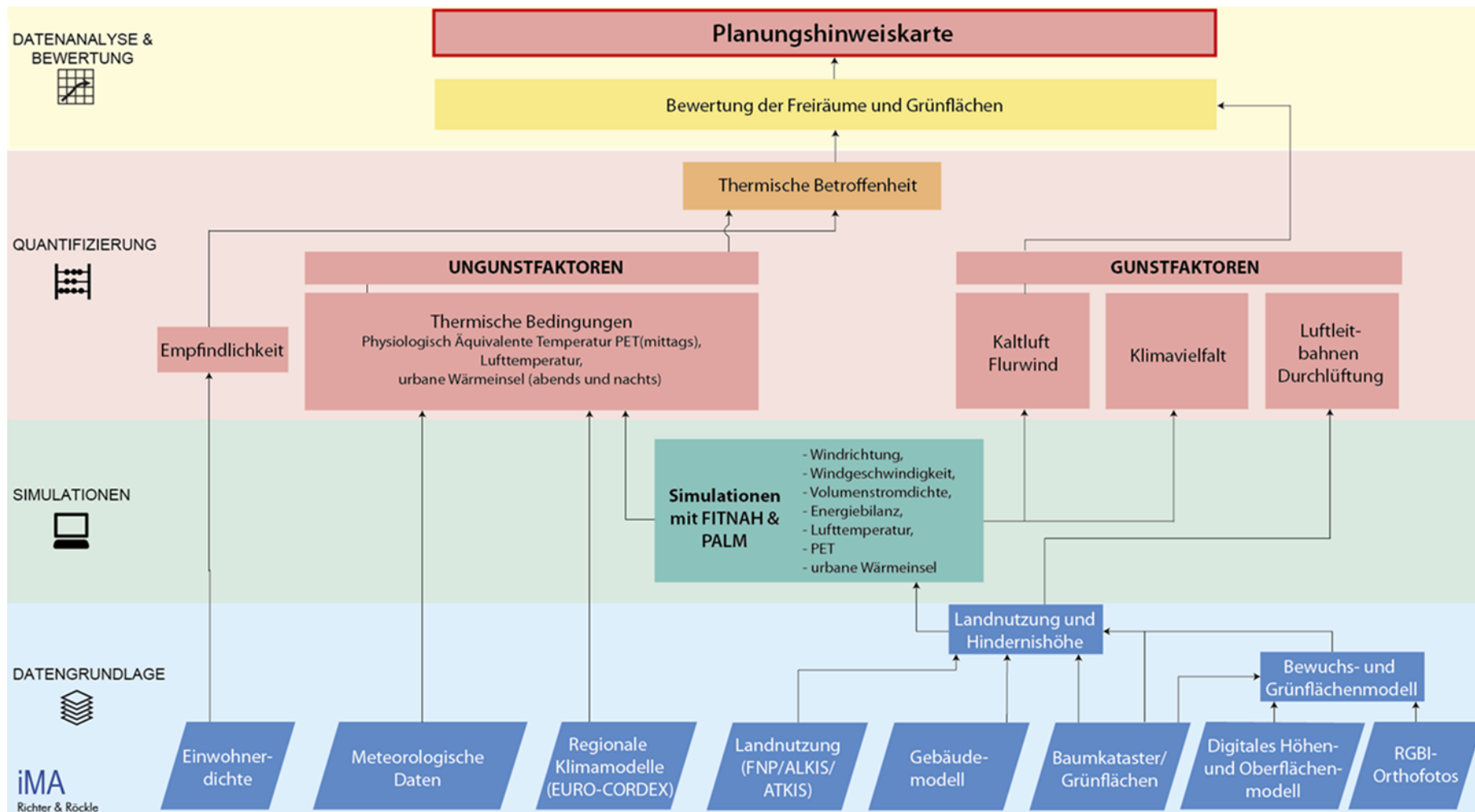


Abbildung 2-1: Vorgehensweise bei der Stadtklimaanalyse Schwetzingen und Plankstadt.

Da sich die thermischen und dynamischen Gegebenheiten tagsüber und nachts unterscheiden und diese entsprechend unterschiedliche Anpassungsmaßnahmen erfordern, werden zwei **Klimaanalysekarten** erstellt. In der Klimaanalysekarte „Tag“ werden bewertungsfrei die thermische Belastung tagsüber und die Erreichbarkeit entlastender öffentlich zugänglicher Grünflächen mit Aufenthaltsqualität an heißen Sommertagen dargestellt. In der Klimaanalysekarte „Nacht“ werden bewertungsfrei die thermische Belastung in Form der urbanen Wärmeinsel sowie die Kaltluftabflüsse dargestellt.

Die **Planungshinweiskarte** enthält als informelle Hinweiskarte eine integrierende Bewertung der in der Klimaanalysekarte dargestellten Sachverhalte. Wichtiges Element der Planungshinweiskarte ist die Darstellung der Belüftungsfunktion.

3 Datengrundlage und Methodik

Räumliche Daten, wie das Gelände- und Gebäudemodell sowie die Landnutzung, werden für die Simulation meteorologischer Größen mit den Modellen FITNAH und PALM-4U benötigt. Aus den Modellergebnissen lassen sich Gunst- und Ungunstfaktoren berechnen. Dabei werden Kaltluftabflüsse, Luftleitbahnen und Klimavielfalt als Gunstfaktoren und Luftqualität, urbane Wärmeinsel und thermische sowie human-biometeorologische Bedingungen als Ungunstfaktoren berücksichtigt. Darüber hinaus wird die Betroffenheit aus Ungunstfaktoren und Sensitivität analysiert (s. Kapitel 3.2.5), sodass letztlich die Auswertung und Bewertung in Form von Klimaanalyse- und Planungshinweiskarten erfolgen kann.

Für die Erstellung der Stadtklimaanalyse konnte auf eine Vielzahl an geografischen Datensätzen der Städte Schwetzingen und Plankstadt zurückgegriffen werden. Auf Grundlage der Daten wurde ein digitales Stadtmodell erstellt, welches für die Simulationen und die Analyse verwendet wurde (Abbildung 3-1). Eine Übersicht der verwendeten Daten und Methoden ist in Abbildung 2-1 dargestellt. Nachfolgend werden die verwendeten Datensätze aufgelistet.

3.1 Daten

3.1.1 Topografie

Für die meso- und mikroskaligen Simulationen werden ein digitales Geländemodell und ein digitales Oberflächenmodell verwendet.

Tabelle 3-1: Räumliche Daten für die Stadtklimaanalyse Schwetzingen und Plankstadt.

Daten	Bereitgestellt durch	Aktualität
Digitales Geländemodell (DGM)	Open GeoData-Portal LGL Baden-Württemberg	2022
Digitales Oberflächenmodell (DOM)	Open GeoData-Portal LGL Baden-Württemberg	2016 – 2021
DGM (außerhalb Schwetzingens und Plankstadts)	Open GeoData-Portal LGL Baden-Württemberg	2022
DOM (außerhalb Schwetzingens und Plankstadts)	Open GeoData-Portal LGL Baden-Württemberg	2016 – 2021



Abbildung 3-1: Digitales Stadtmodell von Schwetzingen und Plankstadt. In das Modell fließen Informationen über das Gelände, die Landnutzung, die Gebäudestrukturen und die Vegetation aus verschiedensten Datenquellen ein.

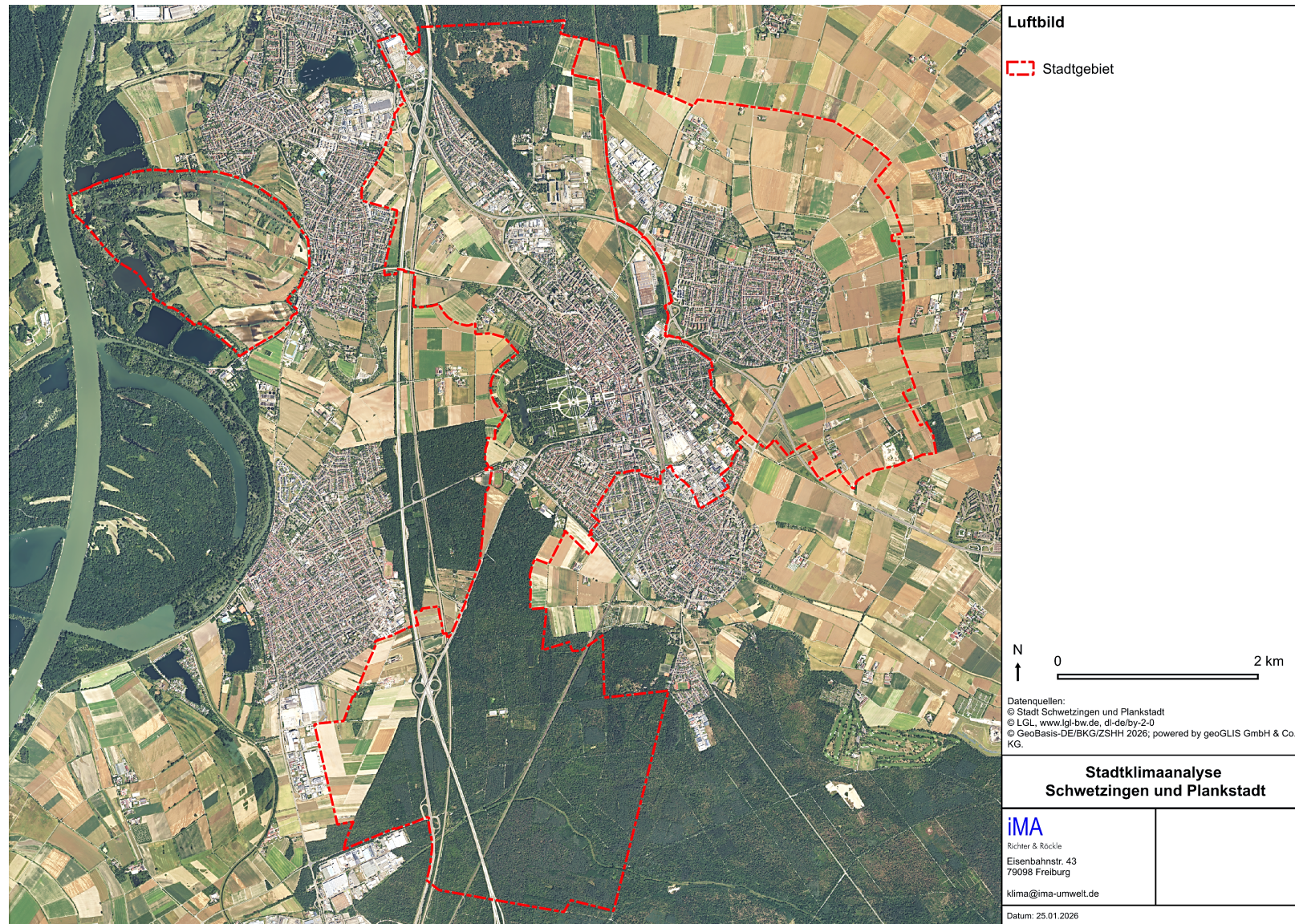


Abbildung 3-2: Digitales Luftbild von Schwetzingen und Plankstadt.

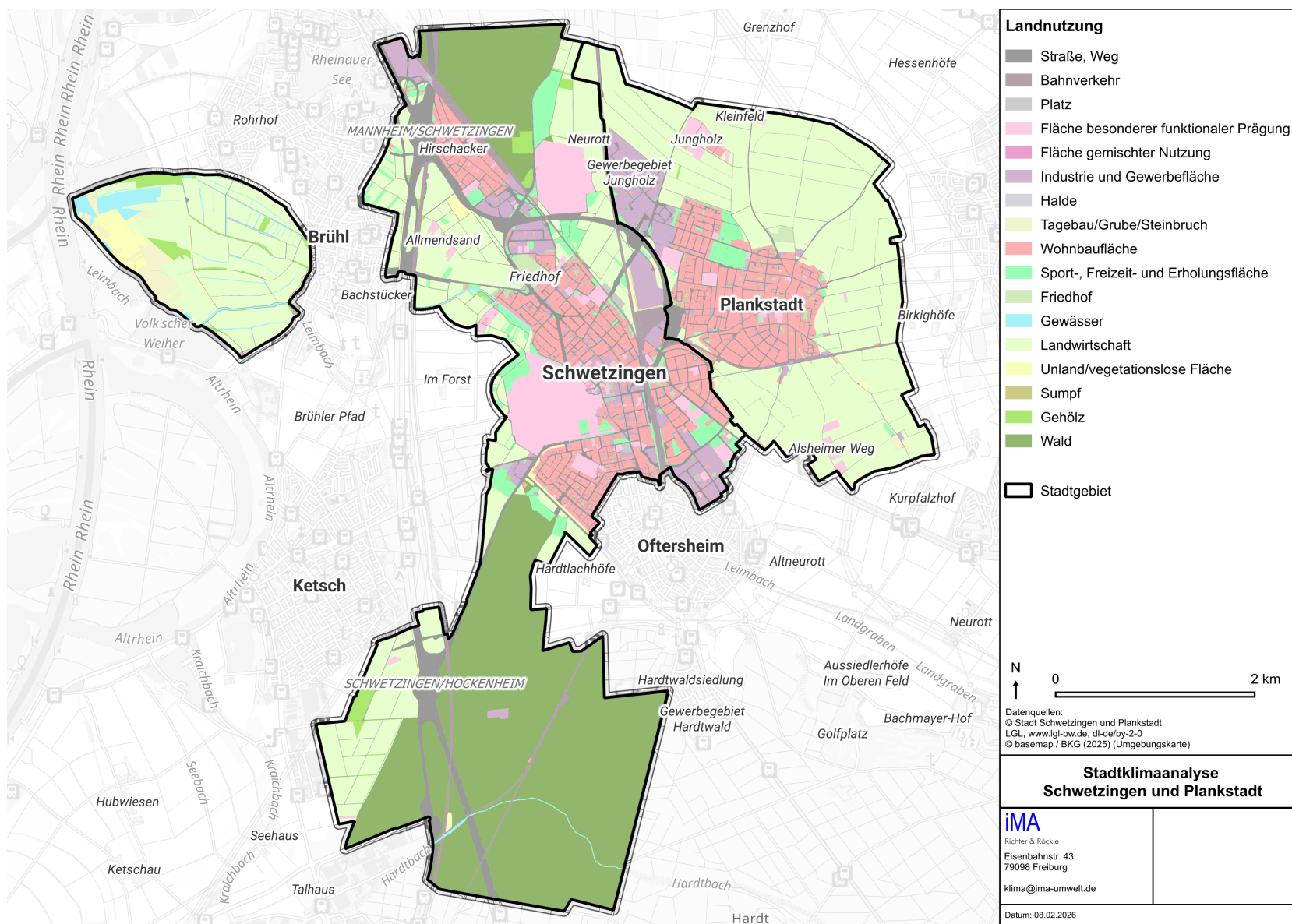


Abbildung 3-3: Aktuelle Landnutzung in Schwetzingen und Plankstadt.

3.1.2 Nutzungsstruktur

Die Landnutzung und Oberflächenbeschaffenheiten spielen für die Ausbildung des Lokalklimas und damit auch für die Klimamodellierung eine elementare Rolle. Abhängig von der Beschaffenheit der Erdoberfläche wird die Energie der einfallenden kurzwelligen Strahlung verschieden umgesetzt. Die klimarelevante Oberflächenbeschaffenheit nimmt bei Flächen mit ähnlichen Landnutzungsstrukturen vergleichbare Werte an.

Die Landnutzungsdaten aus dem städtischen ALKIS-Datensatz liefert die Grundlage zur Bestimmung der Landnutzungsstruktur aus klimatischer Sicht (Abbildung 3-3). Die Landnutzungsstruktur wurde über weitere Daten, z.B. aus dem städtischen Grünflächenkataster, dem städtischen Versiegelungskataster aber auch über Informationen aus aktuellen Luftbildern sowie die zur Verfügung gestellten Bebauungspläne und weiteren Datensätzen erweitert (siehe Tabelle 3-2).

Aus Datensätzen zur Landnutzung wurden die Eingangsdaten für die FITNAH- und PALM-4U-Simulationen ermittelt und auf die jeweiligen Simulationsgitter übertragen.

Tabelle 3-2: Räumliche Daten zur Nutzungsstruktur für die Stadtklimaanalyse Schwetzingen und Plankstadt.

Daten	Bereitgestellt durch	Aktualität ¹ /Bereitgestellt in ²
Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem (ALKIS)	Open GeoData-Portal LGL Baden-Württemberg	2025 ²
Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem (ATKIS)	Open GeoData-Portal LGL Baden-Württemberg	2025 ²
LOD1 Gebäudemodelle	Open GeoData-Portal LGL Baden-Württemberg	2025 ¹
Baumkataster	Schwetzingen und Plankstadt, HS Ingenieure	2025 ²
Öffentliche Flächen, Spielplätze, Sportanlagen, Kindergärten, Schulen	Schwetzingen und Plankstadt	2025 ²
Bebauungspläne	Schwetzingen und Plankstadt	2025 ²
DOP – RGBI-Orthofotos	Open GeoData-Portal LGL Baden-Württemberg	2024 ¹
CORINE (Coordination of Information on the Environment) Land Cover	European Environment Agency (EEA)	2018 ¹
Basemap.de	Dienstleistungszentrum (DLZ) des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie	2025 ¹

Folgende weitere Datensätze wurden in der Stadtklimaanalyse zur Darstellung und Beschreibung der Ergebnisse verwendet (Tabelle 3-3).

Tabelle 3-3: Weitere Datensätze für die Stadtklimaanalyse Schwetzingen und Plankstadt.

Daten	Bereitgestellt durch	Bereitgestellt in
Unterteilung des Stadtgebiets (Flurstücke)	Open GeoData-Portal LGL Baden-Württemberg	2025 ²
Bevölkerungsdaten	Schwetzingen und Plankstadt	2025 ²
Hitzesensible Nutzungen	Schwetzingen und Plankstadt	2025 ²

3.1.3 Messdaten und Klimadaten

Zur klimatischen Einordnung der Städte Schwetzingen und Plankstadt wurden folgende Daten und Quellen herangezogen (Tabelle 3-4):

Tabelle 3-4: Messdaten und weitere klimatologische Daten.

Daten	Bereitgestellt durch	Bereitgestellt im
Rasterdatensätze (Karten) zu Klimaprojektionen	Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW)	Juli 2024
Rasterdatensätze (Karten) zur Klimahistorie	Deutscher Wetterdienst (DWD) https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/	Januar 2024
Beobachtungsdaten/Stationsmessdaten	DWD https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/	August 2024
Klimaleitplanken 3.0	LUBW	2024

Das Klima unterliegt ständigen Schwankungen und Veränderungen. Neben den natürlichen Klimaschwankungen tragen anthropogene Einflüsse erheblich zu Klimaveränderungen bei. So ist seit Mitte des 20. Jahrhunderts eine Zunahme der globalen Lufttemperatur zu beobachten, welche hauptsächlich durch die anthropogen bedingte Freisetzung von Treibhausgasen verursacht wird.

Um sich an das künftig geänderte Klima frühzeitig anzupassen, wurden Klimaprojektionen entwickelt, die die zu erwartenden zukünftigen klimatischen Bedingungen abbilden. Dabei werden basierend auf unterschiedlichen möglichen gesellschaftlichen Entwicklungen verschiedene Klimaprojektionen (und deren Strahlungsantriebe) betrachtet.

Eine wichtige Grundlage für die unterschiedlichen Klimaprojektionen sind die globalen Konzentrationen von Treibhausgasen in der Atmosphäre. Die mögliche Entwicklung der Konzentrationen wird in sogenannten „Emissionsszenarien“ (Representative Concentration Pathways, RCP) klassifiziert. Die verschiedenen Szenarien wurden vom zwischenstaatlichen Ausschuss für Klimaänderungen (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) erarbeitet und im fünften Sachstandsbericht veröffentlicht (IPCC (2013)). Abbildung 3-4 zeigt die Entwicklung des Strahlungsantriebs* aus anthropogenen Quellen innerhalb der verschiedenen Szenarien. Dies ist indirekt ein Indikator für die mögliche Zunahme der globalen mittleren Lufttemperatur.

Jedes Emissionsszenario bündelt solche sozioökonomischen Entwicklungsszenarien, welche die zukünftige Energieversorgung, Bevölkerungsentwicklung, Nahrungsmittelproduktion, Weltwirtschaft und ihre Wechselwirkung mit dem Klimasystem und der Landnutzung berücksichtigen (Moss

et al. (2008); van Vuuren et al. (2011)). Die Unsicherheiten, die durch die Annahmen der zukünftigen Entwicklungen innerhalb jedes Szenarios entstehen, werden in Abbildung 3-4 (dünne farbliche Linien) abgebildet.

Vom IPCC wurden vier Konzentrationspfade für den fünften Sachstandsbericht ausgewählt (IPCC (2013)): RCP2.6 (relativ niedriger Strahlungsantrieb), RCP4.5 (mittlerer Strahlungsantrieb), RCP6.0 (hoher Strahlungsantrieb) und RCP8.5 (sehr hoher Strahlungsantrieb) (Abbildung 3-4, dicke Linien). Die Beschreibung der RCPs befindet sich in Tabelle 3-5.

Auf Grundlage der verschiedenen RCP-Szenarien werden auf globaler Ebene Klimaprojektionen errechnet. Mit regionalen Klimamodellen werden die Ergebnisse anschließend für einzelne Regionen verfeinert (Abbildung 3-5). Dies erlaubt genauere Aussagen über die Änderungen der mittleren Zustände und der Wetterextreme. Das Verfahren wird als Downscaling-Verfahren bezeichnet und verwendet sowohl statistische als auch dynamische Methoden. Bei dem Downscaling werden komplexe Topografie und die jeweilige Landnutzung durch die feinere Auflösung (Gitterweite) besser repräsentiert als in den globalen Klimaprojektionen (Wang et al. (2004)).

Tabelle 3-5: Beschreibung unterschiedlicher Klimawandelszenarien basierend auf den Representative Concentration Pathways (RCP).

Szenario	Beschreibung
RCP8.5	Bis über das Jahr 2100 ansteigender Strahlungsantrieb. Dieser beträgt im Jahr 2100 8,5 W/m ² oder 1370 ppm CO ₂ -Äquivalent. Die globale Oberflächentemperatur wird im Zeitraum 2081 – 2100 im Vergleich zu 1986 – 2005 wahrscheinlich im 5. bis 95. Perzentil der CMIP-Modelle um 2,6 °C bis 4,8 °C ansteigen (IPCC (2013)).
RCP6.0	Stabilisierung des Strahlungsantriebs im Jahr 2100 bei ca. 850 ppm CO ₂ -Äquivalent. Die globale Oberflächentemperatur wird bis 2081 – 2100 im Vergleich zu 1986 – 2005 wahrscheinlich im 5 bis 95. Perzentil der CMIP-Modelle um 1,4 °C bis 3,1 °C ansteigen (IPCC (2013)).
RCP4.5	Moderate Entwicklung. Anstieg des CO ₂ -Äquivalents auf 650 ppm bis 2100. Das Modell MPI-ESM berechnet einen globalen Anstieg der Lufttemperatur um etwa 2,6 °C gegenüber 1986 – 2005. Die globale Oberflächentemperatur wird bis 2081 – 2100 im Vergleich zu 1986 – 2005 wahrscheinlich im 5 bis 95. Perzentil der CMIP-Modelle um 1,1 °C bis 2,6 °C ansteigen (IPCC (2013)).
RCP2.6	„Peak-Szenario“, d.h. Anstieg der Treibhausgasemissionen bis 2020 auf ca. 490 ppm, danach konstanter Treibhausgasemission- und Strahlungsantriebsrückgang auf etwa 2,6 W/m ² im Jahr 2100. Die globale Oberflächentemperatur wird bis 2081 – 2100 im Vergleich zu 1986 – 2005 wahrscheinlich im 5 bis 95. Perzentil der CMIP-Modelle um 0,3 °C bis 1,7 °C ansteigen (IPCC (2013)). Durch den drastischen Rückgang der Emissionen wird eine globale Erwärmung um mehr als 2 °C im Jahr 2100 sehr wahrscheinlich nicht überschritten (IPCC (2013)). Das Szenario entspricht einem Ziel des Übereinkommens von Paris.

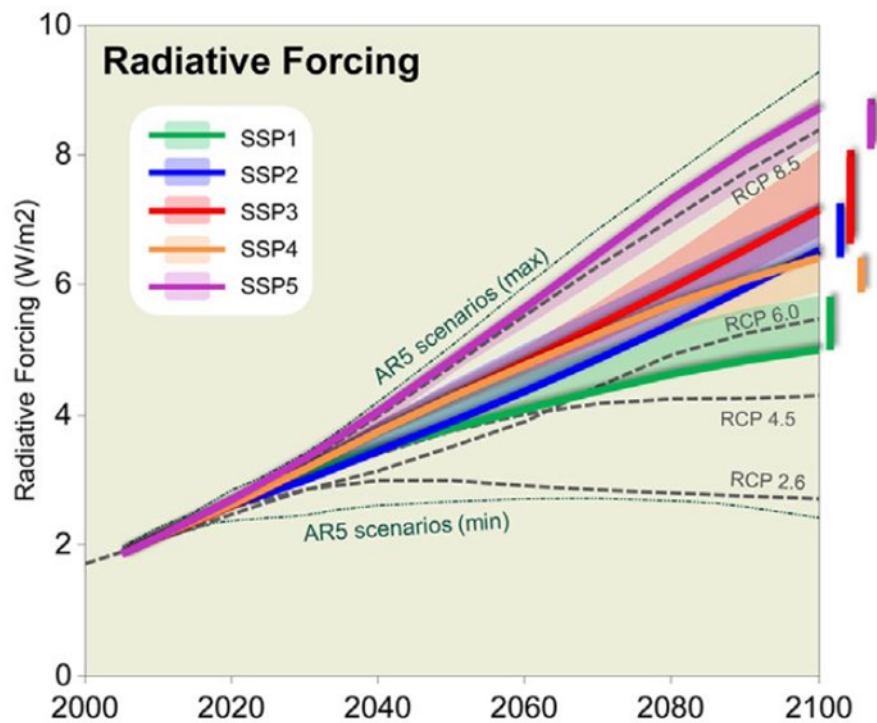


Abbildung 3-4: Zeitreihe des anthropogenen Strahlungsantriebs (W/m^2) für Basis-Szenarien SSP1 bis SSP5 im Vergleich zu verschiedene Emissionsszenarien (RCP; Quelle: Riahi et al. (2017)).

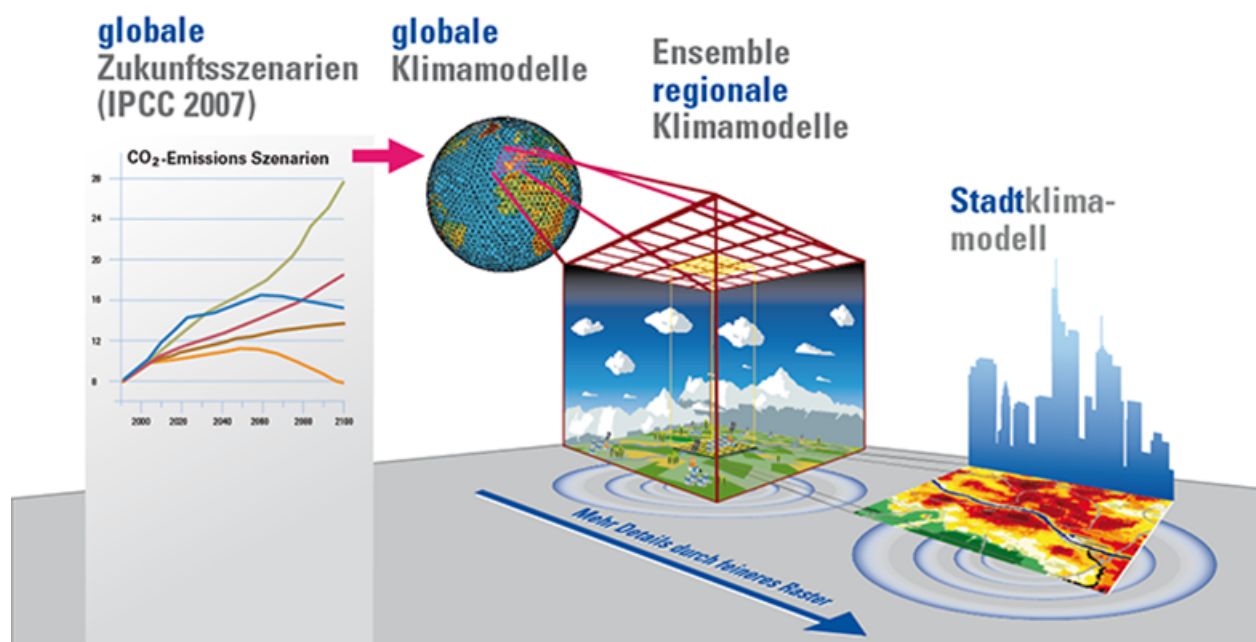


Abbildung 3-5: Schematische Darstellung der räumlichen Verfeinerung (Downscaling) der Klimasimulationsrechnungen von der globalen Skala zur städtischen Skala. Die auf IPCC-Emissions-szenarien basierenden globalen Klimasimulationen dienen als Antrieb für ein Ensemble höher auflösender regionaler Klimamodelle. Die Ergebnisse der regionalen Klimamodelle dienen wiederum als Eingabedaten des Stadtklimamodells (Grafik: Koßmann, Noppel & Fröh (2014)).

Aus der Vielzahl an Ergebnissen unterschiedlicher Regionalmodelle und Szenarien werden Ensemble-Datensätze erstellt, sogenannte Multi-Modell-Multi-Szenario-Ensemblemodelle. Diese bündeln die Ergebnisse der Regionalen Klimamodelle für verschiedene Regionen, z. B. Europa,

und ermöglichen somit eine Abschätzung der Unsicherheiten in den Klimamodellen und deren Parametrisierungen (Hewitt (2004); Murphy et al. (2004)).

Konkrete, zeitlich eindeutig zuordenbare Vorhersagen sind mithilfe der Klimaprojektionen nicht möglich. Die hohe Unsicherheit in der Entwicklung lässt lediglich eine Aussage über die statistisch betrachtete wahrscheinliche Klimaentwicklung zu.

Im sechsten Sachstandsbericht (IPCC (2021)), welcher Jahr 2021/2022 veröffentlicht wurde, werden die Zukunftsszenarien aktualisiert. Die Entwicklung des anthropogenen Strahlungsantriebs ist vergleichbar mit denen der RCP-Szenarien des fünften Sachstandsberichts, wobei das Szenario RCP2.6 als unwahrscheinlich eingestuft und nicht mehr betrachtet wird. Die verwendeten Daten regionaler Klimamodelle beziehen sich auf den 5. Sachstandsbericht des IPCC, da bislang die Ergebnisse regionaler Klimamodelle des 6. Sachstandsberichtes noch nicht vorliegen. Daher gilt weiterhin die Empfehlung, in den kommenden Jahren noch die auf CMIP5 basierten regionalisierten Datensätze (z.B. DWD-Referenz-/Kernensembles) zu nutzen².

Die Unterschiede in den betrachteten Szenarien zwischen dem fünften und sechsten Sachstandsbericht sind allerdings nur gering. Daher werden für die Stadtklimaanalyse weiterhin die RCP-Szenarien des fünften Sachstandsberichts verwendet.

Für die Auswertung wurden die Zukunftsprojektionen RCP4.5 und RCP8.5 verwendet. Diese stellen die beste mögliche Entwicklung (RCP4.5) und die schlechteste mögliche Entwicklung (RCP8.5) dar. Dadurch kann die gesamte Bandbreite der möglichen Entwicklung des zukünftigen Klimas in den Städten Schwetzingen und Plankstadt dargestellt werden.

3.2 Methodik

3.2.1 Stadtklimasimulationen

Zur Erfassung des Stadtklimas mittels computergestützter, numerischer Simulationen wurde eine Kombination aus meso- und mikroskaliger Simulation gewählt. Das detaillierte Stadtklima wurde mit dem mikroskaligen Stadtklimamodell PALM-4U (Kapitel 3.2.1.2) mit einer räumlichen Auflösung von 5 m berechnet. Bedingt durch die hohe Auflösung und dem damit verbundenen sehr hohen Bedarf an Computerressourcen wurde mit PALM-4U nur der städtische Bereich der Städte Schwetzingen und Plankstadt simuliert. Um die lokalklimatischen Einflussfaktoren des Umlands wie die Kaltluftabflüsse aus dem Odenwald und dem Pfälzer Wald sowie im Oberrheingraben erfassen zu können, wurde zusätzlich ein größeres Gebiet mit dem mesoskaligen Modell FITNAH in einer räumlichen Auflösung von 50 m betrachtet.

Für die Simulationen 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 überregionale Strömung. Lokalklimatische Besonderheiten im Untersuchungsgebiet können sich unter diesen Bedingungen am besten ausbilden. Die Ergebnisse der Simulation repräsentieren damit typische hochsommerliche Verhältnisse.

Die verwendeten Modelle rechnen mit einer feinen zeitlichen Auflösung im Sekundenbereich. Aus dem berechneten Tagesgang werden folgende Zeiträume ausgewertet:

² https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimaprojektionen/newsletter/dez_2022.pdf, Stand: 08.04.2026

- Abend-/Nachtstunden (2 Stunden nach Sonnenuntergang, 22:00 Uhr und 4:00 Uhr wahre Ortszeit*),
- Thermische Bedingungen (Wärmebelastung) tagsüber (14:00 Uhr wahre Ortszeit).

Als Ergebnis liefern die Simulationen flächendeckend die Strömungsverhältnisse (Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Volumenstromdichte*), die Lufttemperatur sowie die Physiologisch Äquivalente Temperatur.

Zur Evaluierung 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.

3.2.1.1 Das prognostische Modell FITNAH

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

Als sogenanntes „nicht-hydrostatisches, prognostisches“ Modell beruht es auf einem voll-dynamischen Strömungskern auf Basis der Gleichungen für alle drei Windkomponenten (Navier-Stokes-Gleichungen für die Komponenten des Windvektors im 3D-Raum, x-, y- und z-Richtung) sowie auf den Bilanzgleichungen für Temperatur, Feuchte und Turbulenzenergie. Diese (miteinander gekoppelten) Gleichungen werden auf einem numerischen dreidimensionalen Gitter in kleinen Zeitschritten gelöst, so dass sich die vielfältigen nicht-linearen Wechselwirkungen zwischen den unterschiedlichen Topographiebereichen, vergleichbar der Natur, sukzessive einstellen und der von der Natur erzielte Gleichgewichtszustand zwischen den unterschiedlichen strömungsbeeinflussenden Effekten realistisch berechnet wird.

Ein großer Vorteil des Modells FITNAH ist die Berücksichtigung der Landnutzung. Die Daten gehen, differenziert nach Bewuchs- 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.

3.2.1.2 Das Stadtklimamodell PALM-4U

Das mikroskalige Stadtklimamodell PALM-4U ist Teil des PALM Modellsystems, das von der Universität Hannover entwickelt wurde und laufend aktualisiert wird (Raasch & Schröter (2001); Maronga et al. (2015), (2020)).

PALM wurde über die Jahre mehrfach evaluiert und mit verschiedenen Modellen verglichen. Die jüngsten Evaluierungen und Validierungen speziell für die Anwendung im städtischen Umfeld sind dokumentiert in den Arbeiten von Gehrke, Sühling & Maronga (2021), Gronemeier et al. (2021), Resler et al. (2021), sowie in Erbertseder et al. (2024) und Scherer et al. (2024). Ferner erfüllt

PALM die Ansprüche nach COST Action 732 (Schatzmann, Olesen & Franke (2010)) für die Anwendung von Strömungssimulationen im urbanen Kontext und wurde gemäß VDI-Richtlinie 3783, Blatt 9 (2017) validiert (Weniger (2019)).

Als sogenanntes Large-Eddy Simulation (LES) Modell ist PALM in der Lage turbulente atmosphärische Strömungen mit einer hohen räumlichen Auflösung von wenigen Metern bis in den Sub-Meter-Bereich ($< 1\text{ m}$) zu simulieren. Atmosphärische Turbulenz wird explizit berechnet und ermöglicht eine hohe Genauigkeit bei der Simulation der Wind-, Temperatur- und Feuchteverteilung.

Die typische Auflösung für eine stadtklimatische Untersuchung liegt zwischen 1 m und 10 m. In diesem Gitterweitenbereich können Hindernisse wie Gebäude und Bäume bereits direkt berücksichtigt werden, wodurch eine präzise Analyse der Strömungsverhältnisse einzelner Straßenschluchten und somit der Belüftung von Stadtquartieren, Stadtvierteln und sogar ganzer Städte ermittelt werden kann.

Neben der sehr detaillierten Strömungssimulation wird auch die Temperatur und die Strahlung mit der gleichen Genauigkeit berechnet. In Zusammenhang mit der direkten Berücksichtigung von Gebäuden und weiteren Hindernissen (z.B. Bäume und Sträucher) können somit realistische Schattenwürfe und schließlich auch die Effekte des Schattenwurfs auf die Temperatur und die Human-Biometeorologie berechnet werden.

Die Oberflächenbeschaffenheiten (versiegelte Oberflächen, Vegetationsflächen, Wasserflächen, etc.) werden über verschiedene Bodenmodelle realitätsnah berücksichtigt. In Kombination mit der feinen Gitterweite ermöglicht dies einen extrem hohen Detailgrad der Betrachtung.

Durch den extrem hohen Detailgrad von PALM entsteht ein hoher Anspruch an die Eingangsdaten. Während bei mesoskaligen Modellen die Nutzungsart eines Baublocks bereits ausreicht, erfordert PALM zusätzliche Informationen (z.B. Gebäudekubaturen, Lage und Höhe der Vegetation).

Neben dem hohen Anspruch an die Eingangsdaten für eine sehr feine Simulation mit PALM steigt auch der Anspruch an die Computerressourcen. Theoretisch können ganze Großstädte oder Landkreise mit PALM simuliert werden, wenn die entsprechenden Computerressourcen vorhanden sind (Beispiel: ein Modellgebiet von 10 km^2 und einer Gitterweite von 2 m benötigt bereits > 3 Milliarden Gitterzellen; eine solch hohe Anzahl ist derzeit nur auf Hoch- und Höchstleistungsrechnern im Forschungsbetrieb handhabbar). Kleinere Gebiete oder eine gröbere Gitterweite können hingegen bereits sinnvoll in Stadtklimaanalysen betrachtet werden.

Um die Limitierung der Gebietsgröße aufgrund der verfügbaren Computerressourcen in PALM zu umgehen kann PALM gekoppelt mit Mesoskalenmodellen betrieben werden. Bei diesen sogenannten Nesting-Verfahren (Kadasch et al. (2021)) simuliert das Mesoskalenmodell FITNAH auf einem groben Gitter einen größeren Umkreis. PALM verfeinert diese Ergebnisse anschließend auf einem detaillierten Gitter. Auf diese Weise können auch Einflussfaktoren, welche außerhalb des mikroskaligen Modellgebiets liegen, berücksichtigt werden.

3.2.2 Human-Biometeorologie

Thermische Indizes, wie die Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET, Mayer & Höppe (1987)), berücksichtigen den integralen Effekt der meteorologischen Größen: Lufttemperatur (T_a), Luft-

feuchte (VP), Windgeschwindigkeit (v) sowie der Strahlungsflüsse (T_{mrt}) auf die menschliche Energiebilanz (Abbildung 3-6). Die physiologischen Parameter Aktivität, Kleidung sowie weitere physische Faktoren werden dabei konstant gehalten.

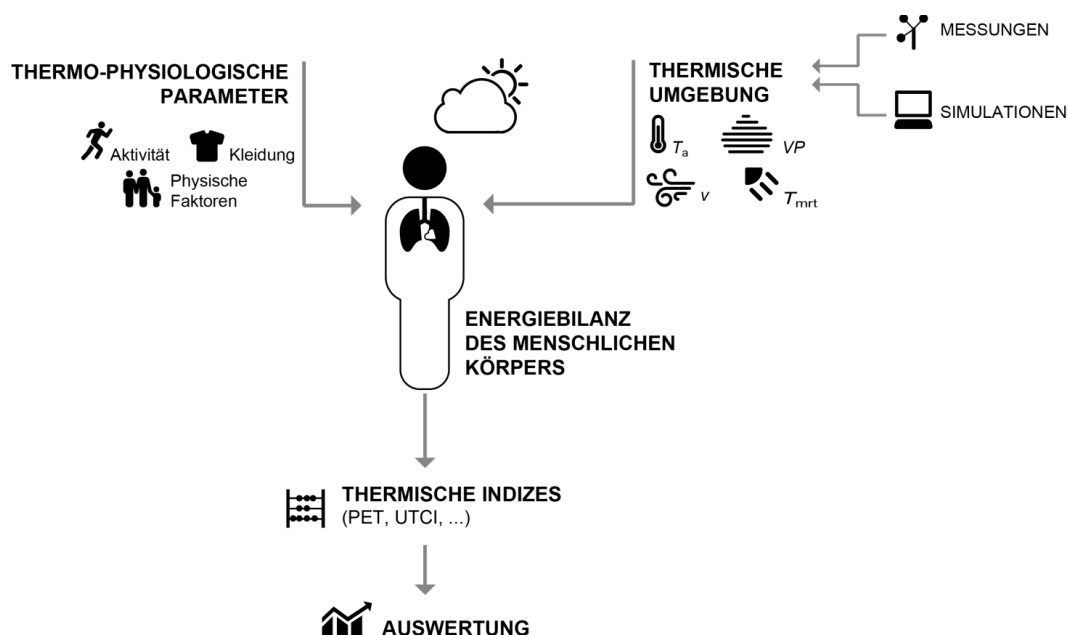


Abbildung 3-6: Flussdiagramm zur Veranschaulichung der Berechnung thermischer Indizes.

Zur Klassifizierung von Hitze- und Kältestress sowie zur Differenzierung des thermischen Komforts für den mitteleuropäischen Raum wurde die PET-Bewertungsskala nach Matzarakis & Mayer (1997) verwendet (Tabelle 3-6).

Die Physiologisch Äquivalente Temperatur ist konform mit der VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 (2022) und eignet sich aufgrund ihrer Definition besonders für die (Stadt-)Planung, wird aber auch im Bereich der Kurort-Zertifizierung (VDI-Richtlinie 3787, Blatt 10 (2010)) und im Bereich Tourismus angewandt.

Tabelle 3-6: Bewertungsskala von PET zur Quantifizierung der thermischen Verhältnisse und des Physiologischen Stresses bei Kälte- und Hitzebelastung (Matzarakis & Mayer (1997); VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 (2022)).

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	leichte Wärmebelastung
29,1 – 35,0	warm	moderate Wärmebelastung
35,1 – 41,0	heiß	starke Wärmebelastung/Hitzestress
> 41,0	sehr heiß	extrem starke Wärmebelastung/Hitzestress

3.2.3 Analyse der Klimavielfalt

Die Klimavielfalt der Umgebung einer Wohnbebauung ergibt sich aus dem Bedarf nach einer städtischen, öffentlichen Grünfläche mit Aufenthaltsqualität sowie der fußläufigen Erreichbarkeit der Grünflächen. Grünflächen sowie Naherholungsgebiete müssen für die Menschen erreichbar sein, um als Erholungsorte wirken zu können. Für die Bewertung der Klimavielfalt wurde die Entfernung auf dem Straßen- und Wegenetz zwischen den jeweiligen Wohngebieten und den nächstgelegenen multifunktionalen Parkanlagen und Naherholungsgebieten ermittelt.

Die in die Analyse eingehenden Grünflächen wurden anhand folgender Kriterien ausgewählt:

1. Grünflächen und Spielplätze im öffentlichen Eigentum (Stadt / Land),
2. mit Aufenthaltsqualität wurden Grünflächen mit einer mittlere PET unter 35 °C ausgewiesen, aber auch die weiteren vorhandenen Grünflächen und Spielplätze wurden berücksichtigt,
3. große zusammenhängende Waldflächen (inkl. Privatwald).

Auf Grünflächen mit einer Größe von mehr als 0,5 ha (World Health Organization Regional Office for Europe (2017)) kann sich an heißen Sommertagen ein eigenes Kleinklima ausbilden. Ihr Erholungswert und ihre Aufenthaltsqualität können einen Beitrag zur Entlastung an heißen Sommertagen leisten. In der Analyse wurden aber aufgrund der Größe der betrachteten Kommunen Schwetzingen und Plankstadt kleinere Grünflächen und Spielplätze berücksichtigt.

Eine Entfernung zu diesen Flächen von weniger als 300 m (das entspricht etwa 5 min Fußweg) wird als „sehr gute Klimavielfalt“ und von weniger als 500 m (bis zu 10 min Fußweg) als „Klimavielfalt vorhanden“ gewertet (vgl. Nieuwenhuijsen et al. (2022); Richter, Grunewald & Meinel (2016); Schumacher, Lehmann & Behnisch (2016); Mayer (1989)) (s. Tabelle 3-7).

Tabelle 3-7: Bewertung der Klimavielfalt – Entfernung zu einer öffentlichen Grünfläche. Die Klassen wurden nach den gängigen Literaturwerten eingeteilt (z.B. Mayer (1989); Nieuwenhuijsen et al. (2022); Richter, Grunewald & Meinel (2016); Schumacher, Lehmann & Behnisch (2016)).

Distanz zu einer klimarelevanten Grünfläche	Beschreibung
< 300 m	sehr gute Klimavielfalt vorhanden
300 m – 500 m	Klimavielfalt vorhanden
> 500 m	Klimavielfalt erschwert erreichbar

Der Bedarf nach einer städtischen Grünfläche berechnet sich aus der verfügbaren Freifläche (Flurstück abzüglich Gebäudegrundfläche) pro Einwohnerin oder Einwohner. Grundstücke mit einer großen Freifläche und geringen Einwohnerdichte bieten ihren Bewohnenden in der Regel die Möglichkeit, einen Garten mit Baumbestand und damit eine gute Erholungsmöglichkeit einzurichten. Deshalb ist davon auszugehen, dass in Stadtbezirken mit relativ großen privaten Freiflächen pro Einwohner ein geringerer Bedarf an öffentlich zugänglichen Grünflächen anzunehmen ist. Wenn die verfügbare Freifläche pro Einwohnerin oder Einwohner 100 m² unterschreitet liegt ein Bedarf nach weiteren (öffentlichen) Grünflächen vor. Industrie- und Gewerbeflächen wurden von dieser Analyse ausgenommen.

3.2.4 Berechnung der thermischen Empfindlichkeit

Die thermische Empfindlichkeit der Bevölkerung wird aus der Bevölkerungsdichte unter Berücksichtigung hitzesensibler Nutzung (z.B. Krankenhäuser, Seniorenheime, Pflegeeinrichtungen, Schulen und Kindertagesstätten) berechnet. Die Bewertung der Bevölkerungsdichte erfolgt relativ durch Berechnung der Perzentile bezogen auf die Bevölkerungsdichte im gesamten Stadtgebiet (Tabelle 3-8).

Für die in die Betrachtung einbezogenen Bebauungsplangebiete wurde die zu erwartende Einwohnerzahl gutachterlich abgeschätzt, sofern keine Angaben vorlagen. Grundlage hierfür bildete zunächst eine Ermittlung der voraussichtlichen Wohnfläche je Gebäude auf Basis der planungsrechtlichen Festsetzungen und typologischen Annahmen. Die daraus resultierende Wohnfläche wurde anschließend in eine prognostische Einwohnerzahl je Gebäude überführt. Hierbei wurde unter Zugrundelegung des bundesdeutschen Durchschnittswertes des Jahres 2024 eine Pro-Kopf-Wohnfläche von 49 m² angesetzt. Durch Division der jeweiligen Gesamtwohnfläche eines Gebäudes durch diesen Kennwert ergab sich die rechnerische Abschätzung der zu erwartenden Bewohnerzahl.

Für die Schwetzingen Höfe wurden nach Angaben der Stadt für 665 Wohneinheiten je 1,75 Bewohner und für die geplanten 160 Seniorenwohnungen je 1,4 Bewohner berücksichtigt.

In Plankstadts "Kultur- und Sportquartier Westend" wurden 650 Einwohnern angesetzt.

Tabelle 3-8: Bewertung der Bevölkerungsdichte und der hitzesensiblen Nutzung.

Einstufung der Bevölkerungsdichte bzw. der hitzesensiblen Nutzung	Bevölkerung je ha	Bewertung
≤ 75. Perzentil	≤ 114	sehr geringe Empfindlichkeit
> 75. – 90. Perzentil	> 114 – 195	geringe Empfindlichkeit
> 90. – 95. Perzentil	> 195 – 243	mittlere Empfindlichkeit
> 95. – 98,5. Perzentil	> 243 – 334	hohe Empfindlichkeit
> 98,5. Perzentil	> 334	sehr hohe Empfindlichkeit
Hitze sensible Nutzung (auf Gebäudeebene)		sehr hohe Empfindlichkeit

Die unterschiedlichen hitzesensiblen Nutzungstypen werden teilweise tageszeitabhängig genutzt. Während sich in Krankenhäusern oder Seniorenheimen rund um die Uhr vulnerable Personen aufhalten, werden Schulen und Kindertagesstätten in der Regel nur tagsüber genutzt. Daher werden Schulen und Kindertagesstätten nur bei der Betrachtung der Tagstunden in der thermischen Empfindlichkeit berücksichtigt.

3.2.5 Berechnung der thermischen Belastung

Die thermische Belastung (Wärmebelastung) wurde für den Tag und die Nacht analysiert: Dabei wurden folgende meteorologische Parameter und Größen analysiert;

- tagsüber: Physiologisch Äquivalente Temperatur (Tabelle 3-9),
- nachts: Urbane Wärmeinsel (Tabelle 3-10),

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 wird anhand der Lufttemperatur in Form der urbanen Wärmeinsel bewertet.

Die Bestimmung der thermischen Belastung am Tag erfolgt anhand der in Tabelle 3-9 und Tabelle 3-10 aufgeführten Klassifizierung.

Tabelle 3-9: Bewertung der Physiologisch Äquivalenten Temperatur (PET) angelehnt an die VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 (2022) und daraus abgeleiteten Bewertung der thermischen Belastung.

PET (°C)	Belastungskategorie	Thermische Belastung
≤ 29,0	leichte Wärmebelastung	sehr gering
> 29,0 – 35,0	moderate Wärmebelastung	gering
> 35,0 – 41,0	starke Wärmebelastung	mittel
> 41,0 – 44,2 (90. Perzentil innerorts)	sehr starke Wärmebelastung	hoch
> 44,2 (>90. Perzentil innerorts)	extrem starke Wärmebelastung	sehr hoch

Tabelle 3-10: Bewertung der nächtlichen urbanen Wärmeinsel (UHI – abendliche Lufttemperaturunterschiede zwischen Stadt und Umland in K) und daraus abgeleiteten Bewertung der thermischen Belastung.

Perzentil	UHI (K)	Bewertung	Thermische Belastung
≤ 60.	≤ 0,7	keine Überwärmung	sehr gering
> 60. – 75.	> 0,7 – 1,2	geringe Überwärmung	gering
> 75. – 90.	> 1,1 – 2,2	mäßige Überwärmung	mittel
> 90. – 99.	> 2,1 – 3,5	mittlere Überwärmung	hoch
> 99.	> 3,5	starke Überwärmung	sehr hoch

3.2.6 Berechnung der thermischen Betroffenheit

Die Betroffenheit der Bevölkerung wird aus der Zusammenschau der Empfindlichkeit mit der thermischen Belastung ermittelt (Tabelle 3-11, Tabelle 3-12. Die eingehenden Parameter zur Bestimmung der Betroffenheit sind

- **Empfindlichkeit** (Tabelle 3-8), bestehend aus
 - Bevölkerungsdichte,
 - Hitzesensible Nutzung;
- **Thermische Belastung** (Wärmebelastung), bestehend aus
 - tagsüber: Physiologisch Äquivalente Temperatur (Tabelle 3-9),
 - nachts: Urbane Wärmeinsel (Tabelle 3-10),

Tabelle 3-11: Ermittlung der thermischen Betroffenheit tagsüber anhand der Parameter „Empfindlichkeit der Bevölkerung“ und „Thermische Belastung tagsüber“.

Thermische Betroffenheit (bioklimatische Belastung) der Bevölkerung tagsüber						
		Thermische Belastung tagsüber (Tabelle 3-9)				
		sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch
Empfindlichkeit der Bevölkerung (Tabelle 3-8)	sehr gering	sehr gering	sehr gering	gering	mittel	hoch
	gering	sehr gering	gering	gering	mittel	hoch
	mittel	gering	gering	mittel	hoch	hoch
	hoch	gering	mittel	hoch	hoch	sehr hoch
	sehr hoch	mittel	hoch	hoch	sehr hoch	sehr hoch

Tabelle 3-12: Ermittlung der thermischen Betroffenheit nachts anhand der Parameter „Empfindlichkeit der Bevölkerung“ und „Thermische Belastung nachts“.

Thermische Betroffenheit (bioklimatische Belastung) der Bevölkerung nachts						
		Thermische Belastung nachts (Tabelle 3-10)				
		sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch
Empfindlichkeit der Bevölkerung (Tabelle 3-8)	sehr gering	sehr gering	sehr gering	gering	mittel	hoch
	gering	sehr gering	gering	gering	mittel	hoch
	mittel	sehr gering	gering	mittel	hoch	hoch
	hoch	gering	mittel	mittel	hoch	sehr hoch
	sehr hoch	gering	mittel	hoch	hoch	sehr hoch

3.2.7 Berechnung der Hotspots

Als Hotspots bzw. extreme Hotspots tagsüber wurden größere zusammenhängende Flächen mit einer PET, welche größtenteils Werte von 36,5 °C bzw. 41 °C überschreiten, identifiziert und ausgewiesen.

Als Hotspots bzw. extreme Hotspots nachts wurden größere zusammenhängende Flächen mit einer UHI, welche eine starke Überwärmung von über 3,0 K aufweist, als „Hotspot“ und von über 3,5 K als „extremer Hotspot“ ausgewiesen.

3.2.8 Erstellung der Klimaanalysekarte

Die erweiterten Klimaanalysekarten zeigen eine bewertungsfreie, flächendeckende, detaillierte Darstellung der thermischen und dynamischen Verhältnisse des klimatischen Ist-Zustandes. Die Klimaanalysen werden für die Tag- und für die Nacht-Situation separat erstellt und ausgewertet, da unterschiedliche physikalische Prozesse eine räumlich differenzierte Auswirkung auf die meteorologischen Bedingungen und damit auf die thermische Belastung und das thermische Empfinden bewirken. Dabei gibt sie in erster Linie die Verhältnisse während autochthonen Wetterlagen wieder. Die Klimaanalysekarten wurden in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 3787, Blatt 1 (2015) erstellt.

3.2.9 Bewertung der Freiräume und Grünflächen – Identifikation des Ausgleichs-Wirkungsraumgefüges

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

In Abbildung 3-7 ist eine idealisierte Situation skizziert. Die Grafik zeigt unterschiedlich belastete Wirkräume (hier charakterisiert durch die rot abgestufte Bebauungsdichte) und einen Kaltluftstrom, der die Tallage von Westen her belüftet. In dieser idealisierten Darstellung ist ersichtlich, dass der Kaltluftstrom, der auf den belasteten Siedlungsraum (dunkelrot) trifft, eine höhere Ausgleichsrelevanz besitzt, als der identische Kaltluftstrom, der nur die mäßig belasteten Siedlungsgebiete (hellrot) oder das Umland (grau) belüftet.

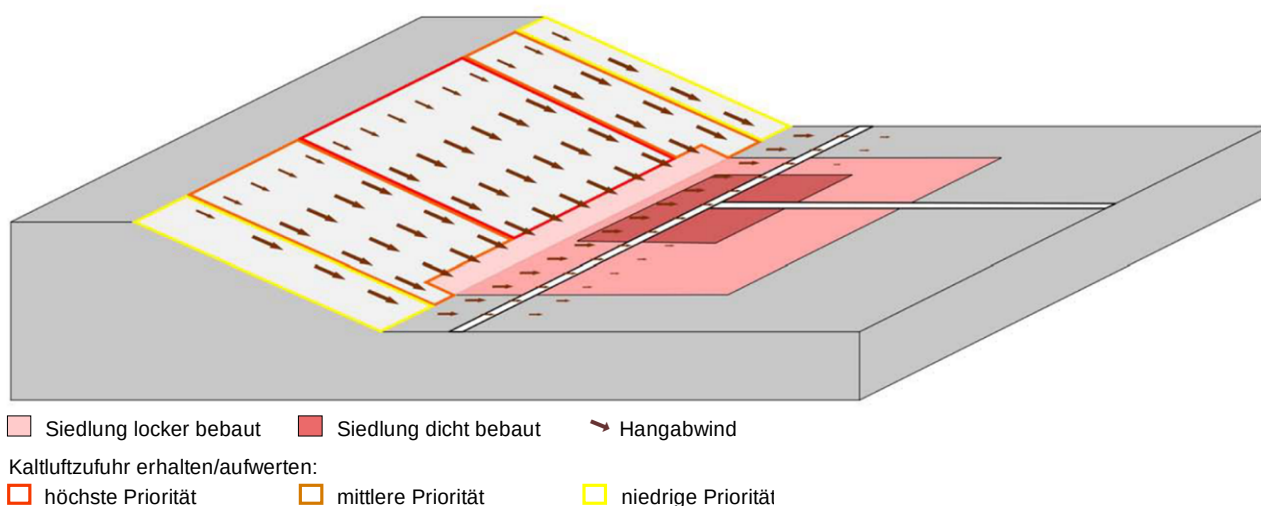


Abbildung 3-7: Skizze zur Veranschaulichung der Abgrenzung der relevanten Strömungssysteme (Schwab & Zachenbacher (2009)).

In der Realität sind sowohl die Kaltluftabflussverhältnisse wie auch die Belastungssituation deutlich heterogener. Die Kaltluft kann aus unterschiedlichen Bereichen dem Siedlungsgebiet zuströmen, sie kann unterschiedliche Intensitäten aufweisen und auf unterschiedlich belastete Siedlungsbereiche treffen. Die lokal sehr differenzierten Kaltluftabflüsse werden aus den FITNAH- und PALM-4U-Simulationen entnommen.

Die Bewertung der Siedlungsbereiche geschieht anhand der thermischen Betroffenheit. Um die Kaltluftströmungen zu detektieren, welche in den Wirkräumen zu einer Verbesserung der thermischen Situation beitragen, wird ein automatisierter, allgemein gültiger, objektiver Algorithmus angewandt.

Im ersten Schritt wird ein numerisch-physikalisches Analysemodell auf die simulierten Kaltluftabflüsse angewandt. Mit diesem Modell kann die Identifikation und Abgrenzung der komplexen Kaltluftströmungssysteme unter Berücksichtigung der Distanz zum Zielort durchgeführt werden. So ist eine erste Eingrenzung der für einen Wirkungsraum zu betrachtenden Bereiche möglich.

Im zweiten Schritt werden Vorwärtstrajektorien auf Basis der Kaltluftströmungsfelder berechnet. Den Windfeldern werden mit dem Verlauf der Vorwärtstrajektorien die thermische Betroffenheit derer Flächen zugeordnet, die sie überstreichen. 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 3-8).

Die beispielhafte Berechnung von Vorwärtstrajektorien zur Ermittlung der Bedeutung der Kaltluftströmung bK wird in Abbildung 3-8 dargestellt. Die blauen Kästchen markieren die Position eines Windpfeils, der bewertet werden soll. Die Betroffenheit der Siedlungen (S1 bis S3) wurde in der Stadtklimaanalyse Schwetzingen und Plankstadt in 5 m x 5 m Rasterzellen ermittelt (rote Begrenzungen unterhalb der Siedlungen, z.B. Betroffenheitswert 2 in Siedlung S1). Die Bewertung richtet sich nach der möglichen Belüftungswirkung der Strömung. Eine Strömung die mehrere oder stärker betroffene (empfindlichere) Siedlungsbereiche belüftet, erhält eine höhere 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 z.B. $2 + 3 + 5 + 6$).

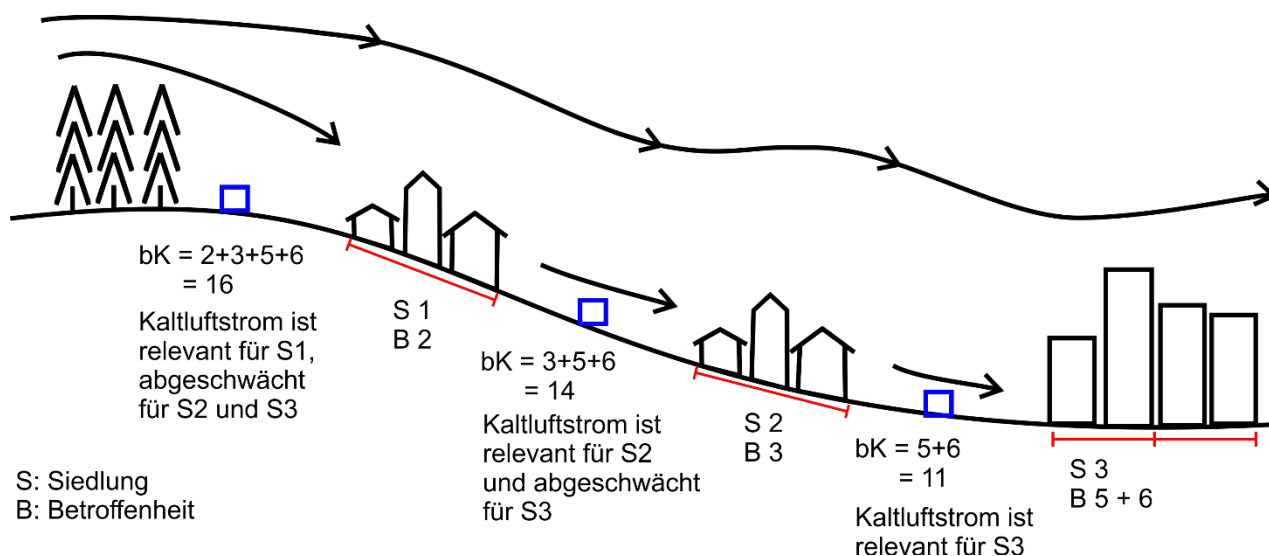


Abbildung 3-8: Beispielhafte Bewertung der Kaltluftströmung (bK) durch Vorwärtstrajektorien.

3.2.10 Erstellung der Planungshinweiskarte

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

Um den unterschiedlichen klimatischen Situationen am Tag und in der Nacht gerecht zu werden, wird in der Planungshinweiskarte ebenfalls zwischen Tag und Nacht unterschieden. Thermische Belastungen am Tag oder in der Nacht ergeben sich aus unterschiedlichen Gründen, weshalb hier zwischen diesen Situationen unterschieden werden sollte, um effektive Planungshinweise geben zu können.

4 Bestandsbeschreibung

4.1 Örtliche Verhältnisse

Die große Kreisstadt Schwetzingen mit der Funktion eines Mittelzentrums und die Gemeinde Plankstadt liegen in der Oberrheinischen Tiefebene westlich des Odenwalds im westlichen Teil des Rhein-Neckar-Kreises. Schwetzingen und Plankstadt befinden sich ca. 8 km südwestlich von Heidelberg und ca. 13 km südöstlich der Mannheimer Innenstadt. Naturräumlich gehört das Gebiet zur übergreifenden Einheit der Neckar-Rheinebene und der Hardtebenen im Süden.

Das Stadtgebiet von Schwetzingen erstreckt sich in der Oberrheinebene auf den Sand- und Dünenfeldern der Niederterrasse und hat im Nordosten noch Anteil am Neckarschwemmfächer, auf welchem sich auch das Gemeindegebiet von Plankstadt erstreckt. Abgetrennt durch die Gemarkung Brühl liegt in der Rheinaue das Schwetzinger Ried. Durch die Stadt Schwetzingen fließt der Leimbach, der westlich von Schwetzingen in den Rhein mündet. Die Stadt Schwetzingen hat Anteil an den Naturschutzgebieten Hirschacker und Dossenwald und Schwetzinger Wiesen-Riedwiesen.

Der höchste Punkt der Stadt Schwetzingen bildet die Sanddüne „Wingertsbuckel“ mit 111,9 m ü. NHN an der nördlichen Stadtgrenze, der tiefste Punkt liegt auf ca. 90 m ü. NHN im Westen nahe des Rheins (Abbildung 4-2).

Schwetzingen bildet mit den Gemeinden Plankstadt im Osten und Oftersheim im Süden durch Siedlungserweiterungen in den letzten Jahrzehnten ein durchgängig bebautes Siedlungsgebiet. Plankstadt und Schwetzingen liegen durch Anschlüsse an die BAB5 und 6, B36/B535 und B291 verkehrsgünstig. Während Schwetzingen an das Nahverkehrsnetz der deutschen Bahn angebunden ist, erfolgt die Anbindung von Plankstadt durch Buslinien.

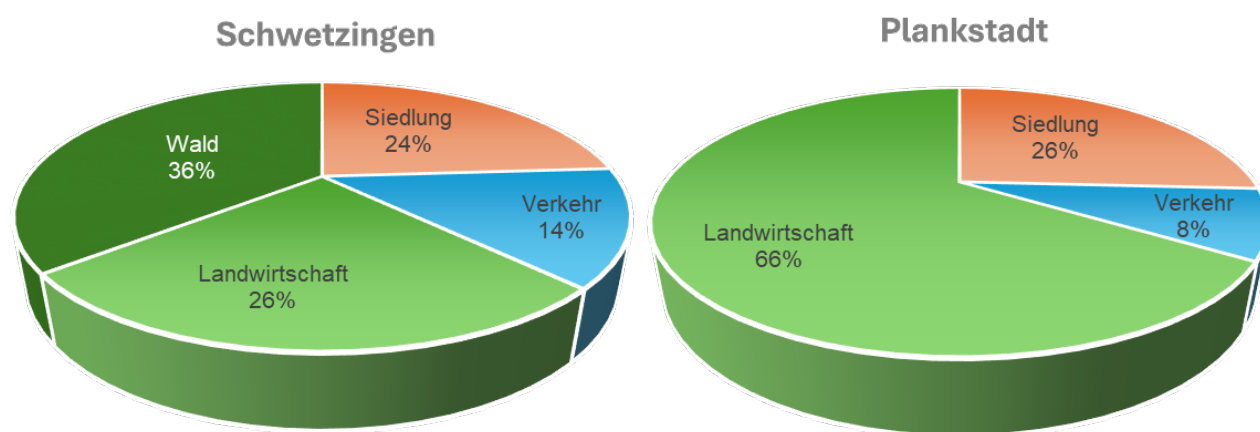


Abbildung 4-1: Anteile der Landnutzung in Schwetzingen und Plankstadt (Quelle: www.statistik-bw.de).

Aufgrund des fruchtbaren Bodens wurden auf den Gemarkungen von Plankstadt der Wald zugunsten einer landwirtschaftlichen Nutzung vollständig abgeholzt (Abbildung 4-1). Die Siedlungsfläche beträgt anteilig etwa ein Viertel der Gesamtfläche in beiden Kommunen. Der Verkehr nimmt in Plankstadt 8 %, in Schwetzingen 14 % der Fläche ein. In Schwetzingen beträgt der Waldanteil immerhin 36 %.

Es leben 21.767 Personen in Schwetzingen, in Plankstadt sind es 10.644 Personen (Stand: 31.12.2024, www.statistik-bw.de). Die große Kreisstadt Schwetzingen teilt sich in die Kernstadt und

die Stadtteile Süd-, Ost- und Nordstadt, Hirschacker, Kleines Feld und Schälzig. Die Stadtfläche von Schwetzingen umfasst ca. 2.149 ha, die von Plankstadt ca. 850 ha.

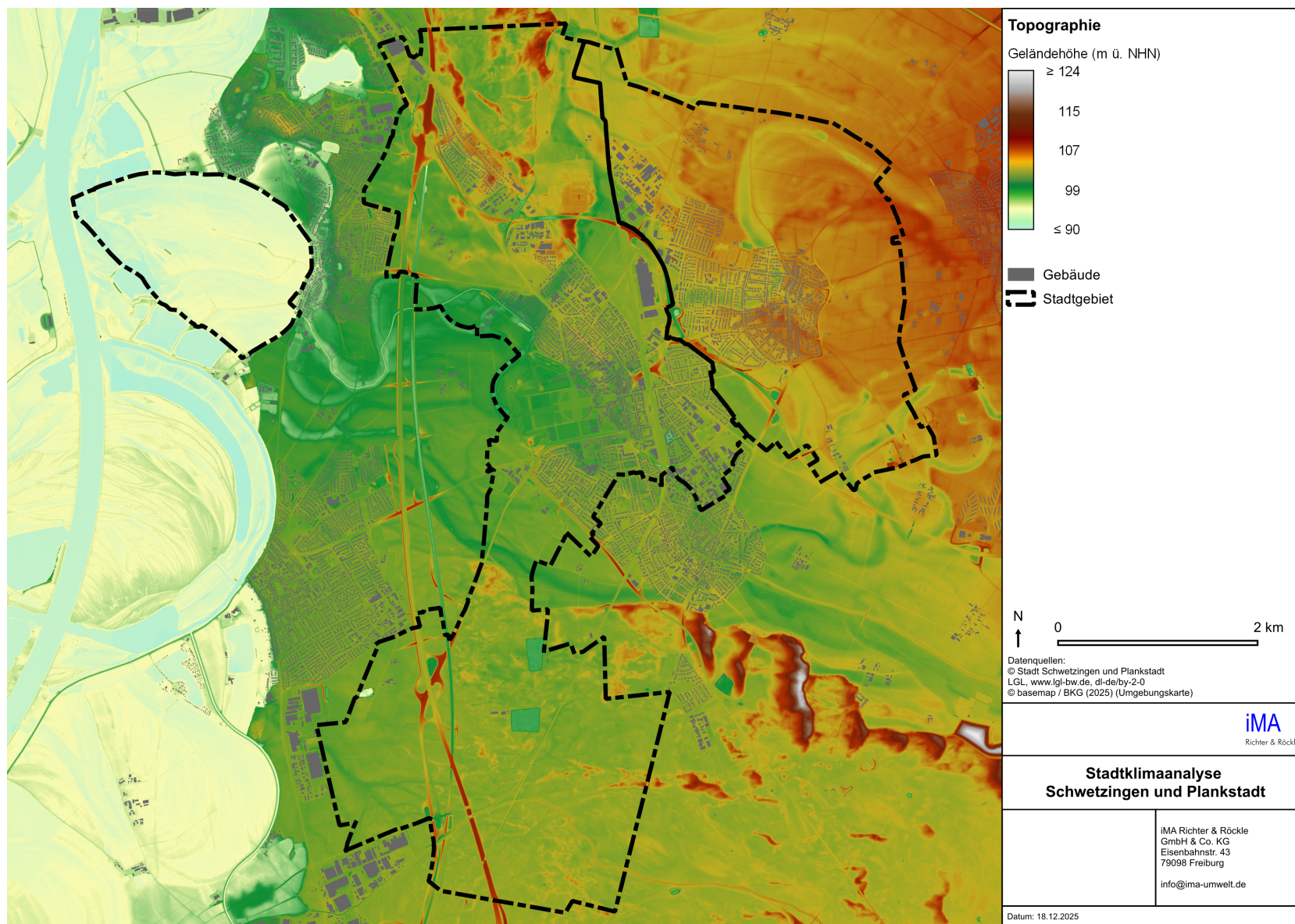


Abbildung 4-2: Topographie der Städte Schwetzingen - Plankstadt und der näheren Umgebung.

4.2 Klimatische Einordnung der Städte Schwetzingen und Plankstadt

Schwetzingen und Plankstadt lassen sich dem Klima der gemäßigten Breiten unter maritimem Einfluss zuordnen, das sich durch ganzjährige Niederschläge und milde Temperaturen auszeichnet (Cfb nach Köppen und Geiger (Köppen (1936)). Durch die Entfernung ist eine gewisse Kontinentalität des Klimas gegeben.

Die Lage im Oberrheingraben zwischen den Höhenzügen des Odenwalds im Osten und des Pfälzer Walds im Westen bedingt im Vergleich zu den mittleren Verhältnissen in Baden-Württemberg eher trockenere Verhältnisse und relativ warme Temperaturen, aber auch heiße Sommer.

Tabelle 4-1: Jahresmittelwerte verschiedener Indikatoren für die Umgebung von Schwetzingen und Plankstadt und für ausgewählte Orte in Deutschland in den Zeiträumen 1961 – 1990 und 1991 – 2020. Datengrundlage: Messdaten und [†]Rasterdaten des DWD aus dem Climate Data Center (CDC).

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

Ort/Messstation	Stationshöhe (m)	Eistage (d)	Frosttage (d)	Sommertage (d)	Heiße Tage (d)	Niederschlag (mm)	Lufttemperatur (°C)	Sonnenscheindauer (h)
1961 – 1990								
Schwetzingen und Plankstadt	99	12 [†]	68 [†]	49 [†]	10 [†]	698	10,4 [†]	1.589 [†]
Mannheim	98	14	60	51	11	668	10,3	1.673
Heidelberg	110	12	47	48	10	727	10,8	1.551
Echterdingen	378	21	94	33	5	719	8,7	1.741
Freiburg	236	16	61	49	10	908	10,0	–
Feldberg	1.490	85	163	0	0	1.909	3,3	1.641
Frankfurt/Main	100	17	82	42	9	658	9,7	1.586
Hamburg-Fuhlsbüttel	11	21	77	20	3	770	8,6	1.557
1991 – 2020								
Schwetzingen und Plankstadt	99	8 [†]	55 [†]	64 [†]	18 [†]	671	11,5 [†]	1.716 [†]
Mannheim	98	9	65	68	21	641	11,2	1.734
Heidelberg	-	-	-	-	-	-	-	-
Echterdingen	378	15	82	48	10	681	9,8	1.858
Freiburg	236	12	51	66	19	909	11,1	1.748
Feldberg	1.490	70	145	1	0	1.589	4,3	1.655
Frankfurt/Main	100	10	64	60	16	599	11,0	1.725
Hamburg-Fuhlsbüttel	11	13	65	30	6	771	9,6	1.617

Das Klima eines Ortes wird durch die Angabe statistischer Kennzahlen der Klimatelemente beschrieben, welche in der Regel über einen 30-jährigen Zeitraum (die sog. „Klimanormalperiode“) erfasst werden. Für eine klimatisch feinere Einordnung werden thermische Indikatoren gewählt, wie sie in Tabelle 4-1 für die Klimanormalperiode 1961 – 1990 und 1991 – 2020 aufgeführt sind. Generell spielen die Höhenlage, die geografische Lage und lokale Nutzungsstruktur eine entscheidende Rolle für die thermischen Indikatoren.

In Tabelle 4-1 sind Klimaindikatoren für Schwetzingen und Plankstadt und zur Einordnung für weitere ausgewählte Orte in Deutschland aufgeführt. Die Messdaten von Mannheim sind hierzu als ausschlaggebend zu bewerten, da bei der Interpolation zur Erstellung der Rasterdaten Unsicherheiten entstehen.

Zwischen 1961 – 1990 und 1991 – 2020 stieg die gemessene Jahresmitteltemperatur in Mannheim um etwa 0,9 K an. In Schwetzingen und Plankstadt lag die Zunahme der Jahresmitteltemperatur (ermittelt aus den Rasterdaten) bei 1,1 K. Die unterschiedliche Entwicklung der Lufttemperatur ist auf die unterschiedliche Datengrundlage sowie auf die Rundung auf eine Nachkommastelle zurückzuführen.

Auch die Häufigkeit der Wärmebelastung erhöhte sich im selben Zeitraum. So stieg die in Schwetzingen und Plankstadt berechnete Anzahl an Sommertagen um 15 Tage an. Geringere Wärmebelastungen finden sich im Norden Deutschlands (z. B. Hamburg mit 20 Sommertagen und 3 Heißen Tagen) oder in den Höhenlagen des Schwarzwaldes (z. B. Feldberg ohne Sommertage oder Heiße Tage).

In Schwetzingen und Plankstadt wurden im Mittel 12 Eistage* und 68 Frosttage* im Bezugszeitraum 1961 – 1990 beobachtet. Auf dem Feldberg im Schwarzwald, auf 1.490 m ü. NHN, liegt die Anzahl an Eistagen bei 85 und an Frosttagen bei 163. Frostereignisse nehmen klimawandelbedingt ab.

Die mittlere jährliche Niederschlagsmenge liegt bei etwa 694 mm/a in Schwetzingen und Plankstadt im Zeitraum 1961 – 1990. Der Jahresniederschlag liegt somit im Bereich des deutschlandweiten Mittelwerts von 681 mm. Der mittlere Jahresniederschlag ging in Schwetzingen und Plankstadt zwischen 1961 – 1990 und 1991 – 2020 um 34 mm zurück (Tabelle 4-1).

Die Sonnenscheindauer lag in Schwetzingen und Plankstadt zwischen 1961 – 1990 bei etwa 1.589 Stunden und stieg auf 1.716 Stunden im Zeitraum 1991 – 2020 an.

Die Dauer und Intensität sommerlicher Wärmebelastung spiegelt sich nicht automatisch in hohen Jahresmittelwerten der Lufttemperatur. Diese sind nicht nur auf heiße Sommer zurückzuführen, sondern können sich auch durch warme Wintermonate ergeben. So sticht z. B. das Jahr 2003 trotz des sehr heißen Sommers bei den Jahresmittelwerten nicht hervor, da es gleichzeitig im Winter relativ kalt war.

4.3 Strömungsverhältnisse

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

Die LUBW hat in Mannheim Süd eine Messstation von 01.01.1997 bis 31.12.2006 betrieben. Die Koordinaten der Messstation betrugen im UTM32N-Koordinatensystem:

Rechtswert: 465598
Hochwert: 5475624
Höhe ü. NHN.: 95 m

Das primäre Maximum bilden Südwestwinde, das sekundäre Maximum Westnordwestwinde (Abbildung 4-3). Ein drittes Maximum bilden Winde aus südöstlicher Windrichtung. Die mittlere gemessene Windgeschwindigkeit betrug ca. 1,5 m/s.

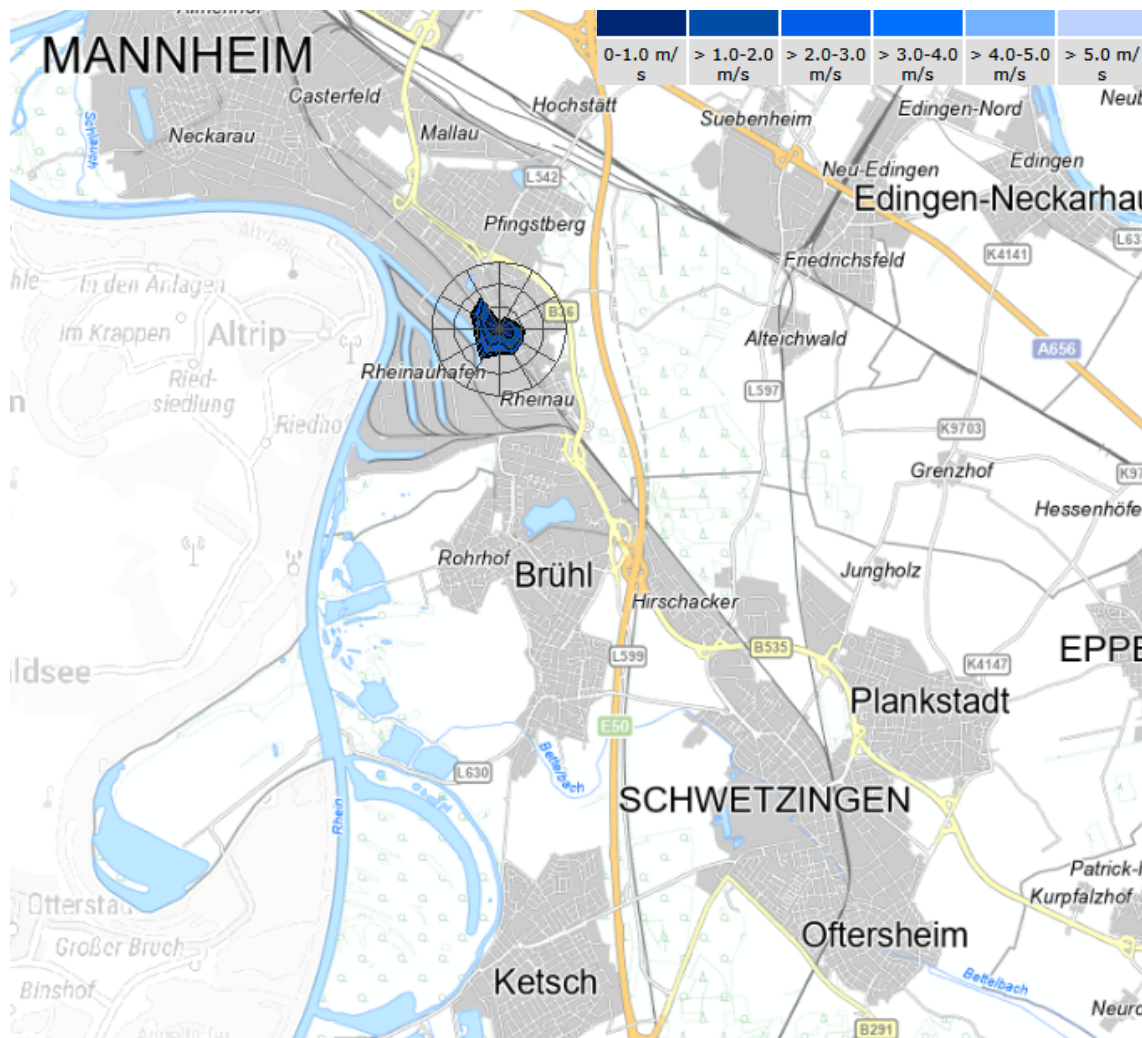
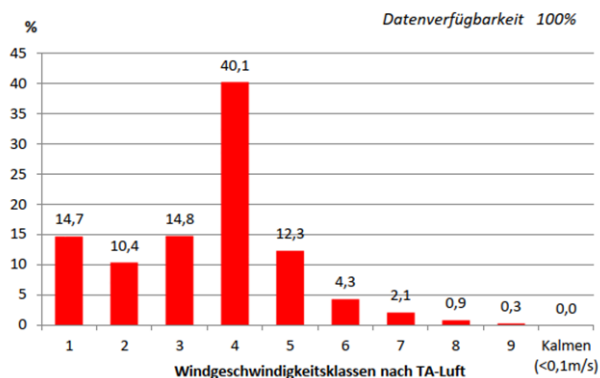


Abbildung 4-3: Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit und Windrichtung gemessen von der LUBW vom 01.01.1997 bis 31.12.2006 in Mannheim Süd.

Die Verteilungen der Windgeschwindigkeit und Ausbreitungs-kategorie in Plankstadt (Ostwert: 3469000, Nordwert: 5474000), wie sie in den synthetischen Winddaten der LUBW (2022) dargestellt werden, sind in der Abbildung 4-4 aufgeführt. Kaltluftabflüsse kommen in der Ausbreitungs-kategorie I und II vor, wobei sie in Ausbreitungs-kategorie II von übergeordneter Strömung beeinflusst sein können. Dies bedeutet, dass in Schwetzingen und Plankstadt zu 34,7 % der Jahresstunden Kaltluftabflüsse auftreten können.

In Abbildung 4-5 ist zu sehen, dass bei geringen Windgeschwindigkeiten der Ausbreitungs-kategorie 1 der Wind meist entsprechend der Ausrichtung des Oberrheingraben aus Süden oder Norden kommt, wobei auch die Kaltluftabflüsse aus östlichen Richtungen eingezeichnet sind.

Häufigkeit der Windgeschwindigkeitsklassen in %



Häufigkeit der Ausbreitungsklassen in %

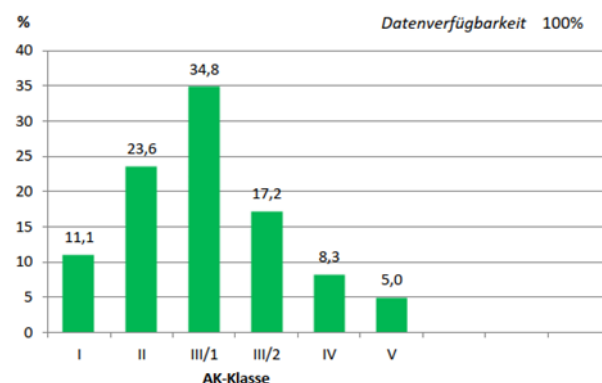


Abbildung 4-4: Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeits- und Ausbreitungsklassen der synthetischen Ausbreitungsklassenstatistik an den Standortkoordinaten (EPSG: 4647) 3469000, 5474000 bereitgestellt von der LUBW.



Abbildung 4-5: Verteilung der Windrichtung und -geschwindigkeit der synthetischen Ausbreitungsklassenstatistik bereitgestellt von der LUBW.

4.4 Bisherige Untersuchungen

4.4.1 Landesweite Klimaanalyse

In der landesweiten Klimaanalyse wurde eine schwache Kaltluftströmung vom östlich gelegenen Odenwald simuliert, welche Schwetzingen und Plankstadt belüftet.

In der Kernstadt von Schwetzingen, sowie in den Gewerbegebieten von Plankstadt und Schwetzingen wurde eine Überwärmung von etwa 4 K berechnet (Abbildung 4-6). In Abbildung 4-7 wurde ein hoher bis sehr hoher Handlungsbedarf im Siedlungsbereich und auch eine hohe Bedeutung der südöstlichen Freiflächen von Plankstadt und Schwetzingen festgelegt. Den Gewerbegebieten und dem Stadtkern von Schwetzingen wurde ein sehr hoher Handlungsbedarf zugewiesen, den restlichen Siedlungsteilen ein hoher Handlungsbedarf.

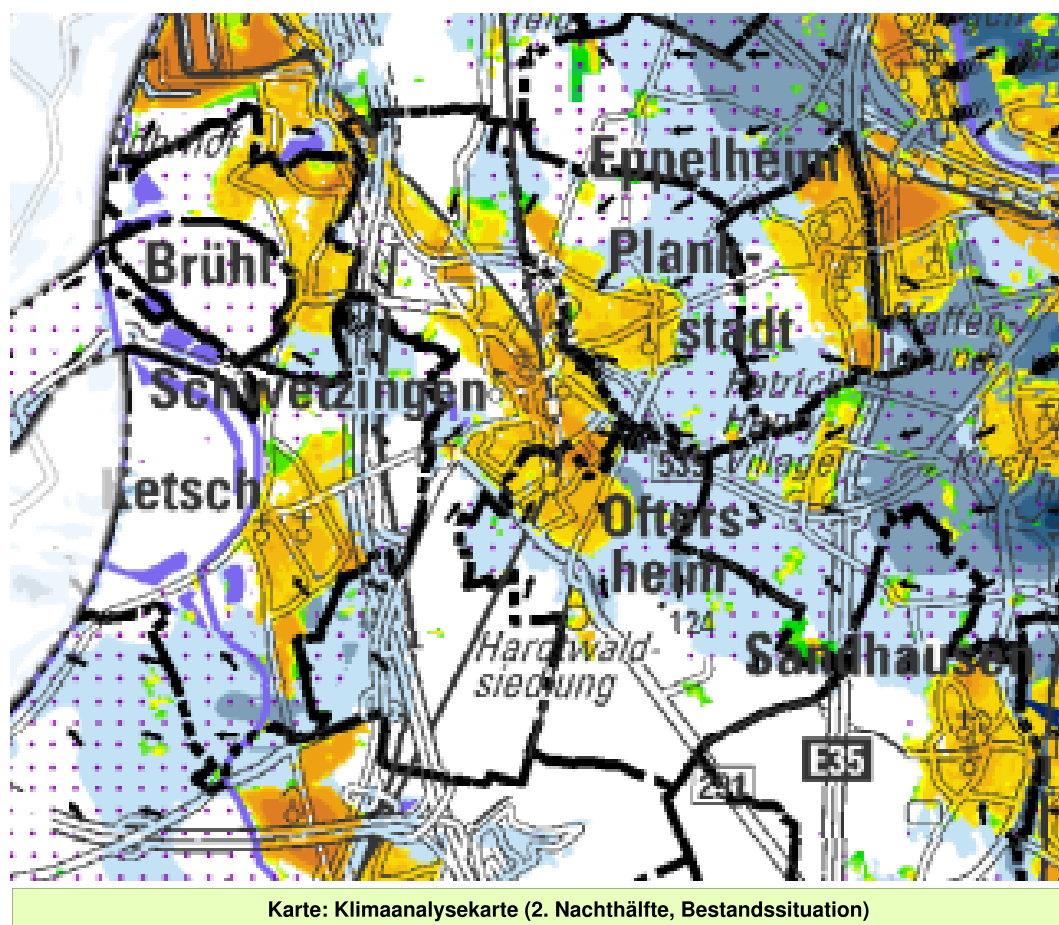


Abbildung 4-6: Klimaanalysekarte (2. Nachthälfte) aus der landesweiten Klimaanalyse.

Thermische Belastung im Siedungsbereich

Bewertungsgegenstand ist die thermische Belastungssituation im Sommer
alle Flächen im Siedungsraum in der Nacht.

Handlungsbedarf

	sehr hoch	6 Wochen pro Jahr
	hoch	5 Wochen pro Jahr
	erhöht	4 Wochen pro Jahr
	mittel	3 Wochen pro Jahr
	gering	2 Wochen pro Jahr
	Vorsorgebereich	1 Woche pro Jahr

²Erwärmung der Sommermitteltemperatur in Baden-Württemberg gegenüber 1971-2000.
Klimaatlas BW: www.klimaatlas-bw.de
Abschlussbericht: <https://pd.lubw.de/10677>

Luftqualität

 **Hohe verkehrsbedingte Zusatzbelastung**
Bewertungsgegenstand sind die lufthygienischen Zusatzbelastungen durch den Straßenverkehr. Hier besteht Handlungsbedarf zur Emissionsreduktion.

Ausgleichsraum (Nachtsituation)

Bewertungsgegenstand ist die sommerliche kaltaufhaushaltliche Bedeutung der Grün-/Freiflächen für die Entlastung des Wirkraums in der Nacht. Je höher die Bedeutung, desto höher ist die Empfindlichkeit der Flächen gegenüber - vor allem baulichen - Nutzungsintensivierungen und damit ihre Schutzbedürftigkeit

	Sehr hohe Bedeutung
Flächen, die die Kernbereiche der wirkungsbezogenen Katalufteitbahnen bilden	
	Hohe Bedeutung
Flächen, die die Kernbereiche des flächenhaften Luftaustausches im Bereich der höchsten Handlungsriorität oder den Rand-/Quellbereich der Katalufteitbahnen darstellen	
	Erhöhte Bedeutung
Flächen, die die Kernbereiche des flächenhaften Luftaustausches im Bereich der übrigen Handlungsrioritäten oder den Rand-/Quellbereich des flächenhaften Luftaustausches im Bereich der höchsten Handlungsriorität darstellen	
	Geringe Bedeutung
Alle übrigen Flächen des Ausgleichsraums	

Grünflächen mit Sonderfunktionen

Linien Wäldern und siedlungsnahen Grünflächen kommen aufgrund ihrer Wirkung als Kühlinsel am Tage auch dann eine besondere klimakologische Bedeutung zu, wenn Sie nicht Bestandteil eines Erholungsraumbezogenen nächtlichen Kaltluftsystems sind. Weitere wichtige Funktionen von Erholungswäldern und deren Erreichbarkeit wurden über die Walfunktionkartierung der FVA mit einbezogen, weshalb diese hier nachrichtlich übernommen wurde. (Datengrundlage: FVA, www.fva-bw.de)

-  Stufe 1a: Wald mit sehr großer Bedeutung für die Erholung im urbanen Umfeld
  Stufe 2: Wald mit relativ großer Bedeutung für die Erholung
-  Stufe 1b: Wald mit großer Bedeutung für die Erholung
-  siedlungsnahen Grünflächen mit Entlastungsfunktion

Kaltluftprozessgeschehen

Bewertungsgegenstand ist der räumliche Wirkungszusammenhang in Verbindung mit der lufthygienischen Qualität des Kaltluftprozesses. Als "lufthygienisch belastend" gilt dementsprechend Kaltluft, die auf ihrem Strömungsweg Schadstoffe in den Raum hineintransportiert. Dies bedeutet nicht unbedingt, dass die Belastung bereits an der Signaturposition auftritt; die Peile repräsentieren exemplarisch das gesamte lokale Prozessgeschehen. Alle dargestellten Prozesselemente sollten in ihrer Funktion erhalten bleiben. Leitbahnen weisen tendenziell eine höhere Empfindlichkeit gegenüber strömungsrelevanten Eingriffen auf als der flächenhafte Abfluss.

↑ Fließrichtung der Kaltluft

- Lineare Kaltluftleitbahn Richtung Wirkraum (Handlungspriorität 1); lufthygienisch nicht belastend / belastend
-  Lineare Kaltluftleitbahn Richtung Wirkraum (Handlungspriorität 2-7); lufthygienisch nicht belastend / belastend
-  Flächenhafter Kaltluftabfluss Richtung Wirkraum (Handlungspriorität 1); lufthygienisch nicht belastend / belastend
-  Flächenhafter Kaltluftabfluss Richtung Wirkraum (Handlungspriorität 2-7); lufthygienisch nicht belastend / belastend

Flächen mit Zugehörigkeit zu einem regionalen Kaltluftströmungssystem

Die Klimadologischen Auswirkungen raumbedeutsamer Planungen (insbesondere Siedlungs- und Infrastrukturentwicklung) sollten im Planungsfall summarisch für das gesamte System analysiert und bewertet werden.

Die zur Verdeutlichung des Strömungszusammenhangs zusätzlich dargestellten Vorwärtstrajektorien zeichnen den Weg der Horizontalströmung zwischen 22 und 5 Uhr in 20m über Grund nach.

Hinweis: Die Darstellung der Pfeile und Schraffuren in der Legende ist gegenüber dem Kartenbild aus Maßstabsgründen stark vergrößert

Bearbeitung

GEO-NET Umweltco
Große Pfahstraße 5 a
30161 Hannover
info@geo-net.de
www.geo-net.de
21.01.2025

Auftraggeber

Kompetenzzentrum Klimawandel - LUBW
Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg
Griesbachstr. 1
76185 Karlsruhe
klimawandel@lubw.bwl.de
www.lubw.baden-wuerttemberg.de



Projekt-Nr. 24-05-05-FR
Stadtklimaanalyse Schwetzingen/Plankstadt

4.4.2 Messfahrten des Deutschen Wetterdienstes

Am 28.08. und 29.08.2024 wurden durch den DWD Messfahrten in Schwetzingen durchgeführt. Eine Messfahrt dauerte ca. eine Stunde, so dass sich die Temperatur im Laufe des Durchgangs generell abgekühlt hat. In Abbildung 4-8 sind die trendbereinigten Lufttemperaturen am Nachmittag dargestellt.

Die gemessene Temperaturspanne (15:13 – 16:08 Sommerzeit) lag zwischen 29,0 und 33,0 °C. Die höchste Lufttemperatur wurde auf der Carl-Theodor-Straße und dem Schlossplatz gemessen. Im Ketscher Wald hingegen wurde die geringste Lufttemperatur verzeichnet.

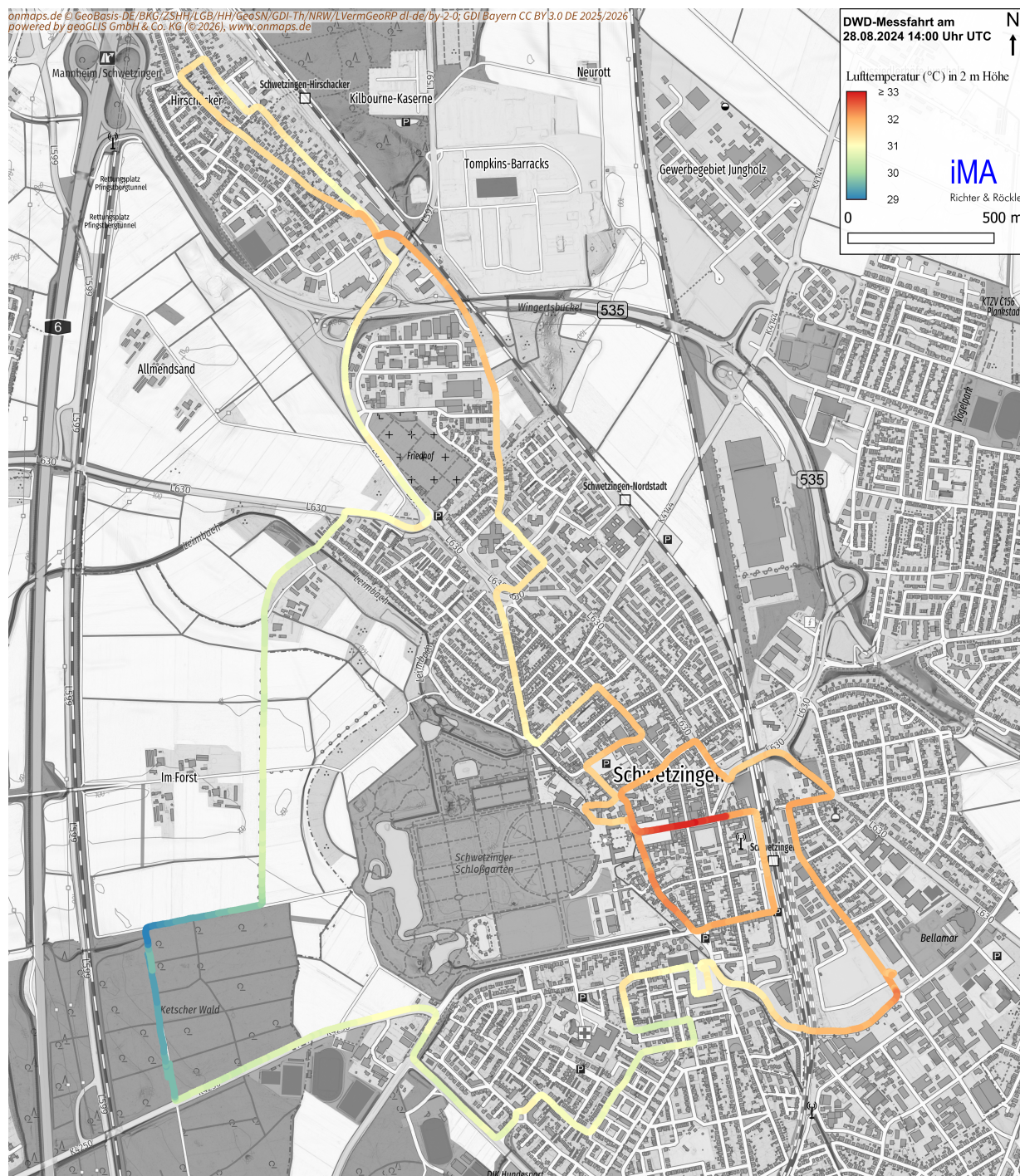


Abbildung 4-8: Ergebnisse der Messfahrten des DWD, durchgeführt am 28.08.2024 um 14:00 Uhr UTC.

Die Messung in der zweiten Nachthälfte zwischen 5:21 und 6:11 Sommerzeit (UTC+2) lagen zwischen 16,5 °C und 20,2 °C. Die kühlssten Temperaturen stellen sich auf der Freifläche nördlich des Ketscher Waldes ein. Die höchsten Nachttemperaturen im Bereich der Kernstadt.

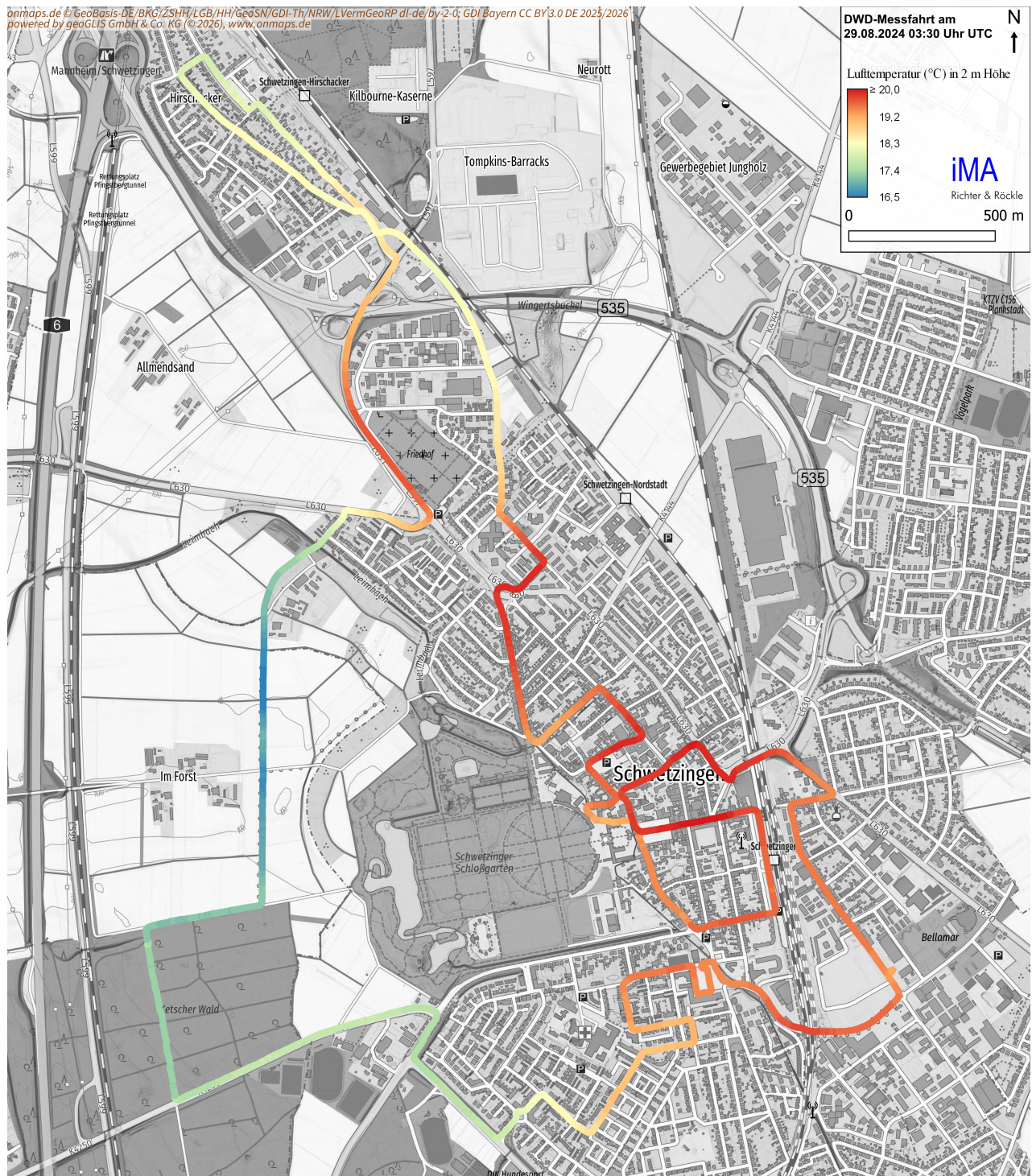


Abbildung 4-9: Ergebnisse der Messfahrten des DWD, durchgeführt am 29.08.2024 um 3:30 Uhr.

Prinzipiell zeigen die Modellsimulationen ähnliche Muster. Die gemessene Lufttemperatur mittags ist im Mittel ca. 2,5 K wärmer als die Simulationsergebnisse von PALM. Dabei stellen die Lufttemperaturwerte von PALM einen Mittelwert über einen einstündigen Zeitraum dar.

5 Auswirkungen des Klimawandels

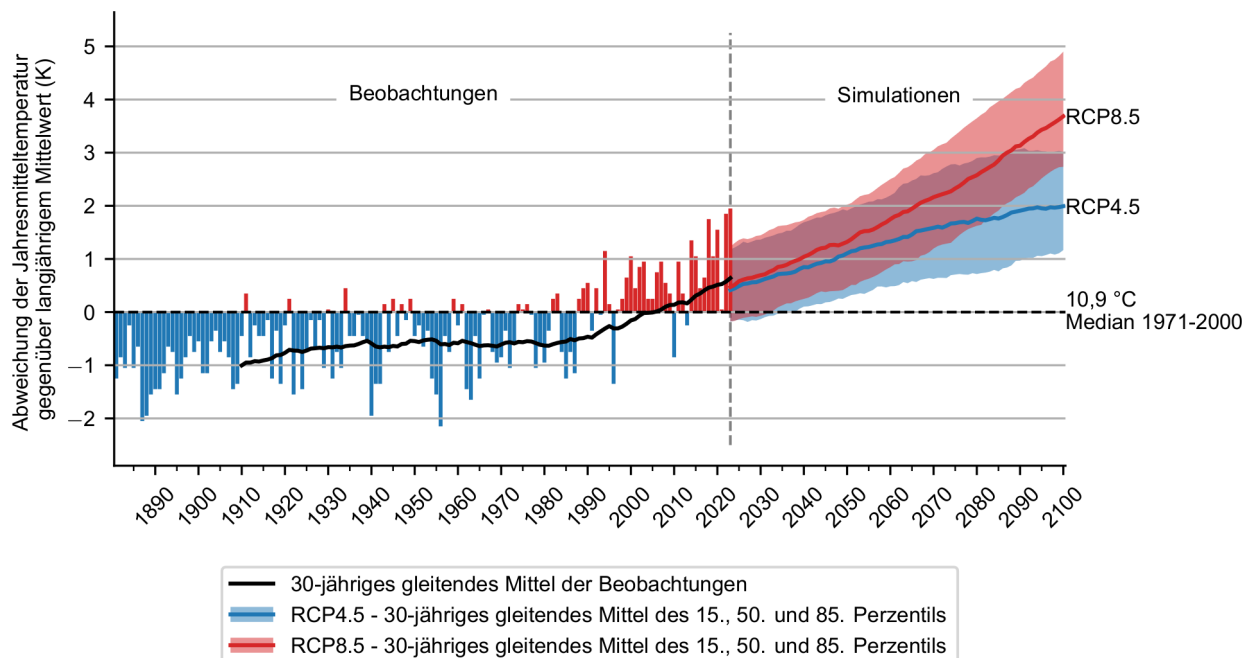
5.1 Klimamodellierung

Das Klima unterliegt ständigen Schwankungen und Veränderungen, da die Witterungsabläufe während einzelner Jahre sehr unterschiedlich sein können. Zusätzlich zu den natürlichen Klimaschwankungen tragen anthropogene Einflüsse zu Klimaveränderungen bei. So ist seit etwa der Mitte des 20. Jahrhunderts eine Zunahme der globalen Lufttemperatur zu beobachten, welche mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Folge der anthropogen bedingten Freisetzung von Treibhausgasen ist (Deutsches Klima-Konsortium et al. (2023); Revi et al. (2014)).

Eine wichtige Grundlage zur Projektion des Klimas spielt die Konzentration von Treibhausgasen und Aerosolen in der Atmosphäre und deren mögliche Entwicklung. Für die Betrachtung der zukünftigen Entwicklung des Klimas wurden die Klimaprojektionen auf Basis der ReKliES-De-Daten und der Daten der LUBW Klimaleitplanken 3.0 ausgewertet (siehe Kapitel 3.1.3). **Im Folgenden werden die Ergebnisse der Analyse für Schwetzingen und Plankstadt ausgewertet und dargestellt.** Dabei werden zunächst die Klimaelemente Lufttemperatur und Niederschlag und anschließend klimatologische Kenntage betrachtet.

5.2 Lufttemperatur

Die Lufttemperatur (T_a in °C) ist die Temperatur der bodennahen Atmosphäre. Deren Messung soll nicht von der Sonnenstrahlung oder anderen Wärmeströmen beeinflusst werden. Klassischerweise wird die Lufttemperatur in einer Höhe von 2 m über Grund gemessen. Sie ist ein wesentlicher Parameter bei der Bestimmung der Wärmebelastung für den Menschen.



Datengrundlage: Beobachtungen: Deutscher Wetterdienst, Simulation: ReKliES-De

Abbildung 5-1: Beobachtete und simulierte Änderung der Lufttemperatur für den Zeitraum 1881 – 2100 in Schwetzingen und Plankstadt. Die Simulationsdaten entsprechen den Szenarien RCP4.5 und RCP8.5 und werden ab dem Jahr 2024 dargestellt (Daten: Climate Center des DWDs, ReKliES-De).

Der Anstieg der Lufttemperatur seit Beginn des Industriezeitalters zeigt sich in der jährlichen Betrachtung der Lufttemperatur von 1881 – 2100 (Abbildung 5-1).

Die Lufttemperatur nimmt insbesondere seit Beginn der 1990er Jahre rasch zu. Die Zeitreihe des Medians der Lufttemperatur in Abbildung 5-1 verdeutlicht nochmals die prognostizierte Zunahme der Lufttemperatur bis 2100. Im Jahr 2024 lag das beobachtete 30-jährige gleitende Mittel (das Mittel über die vergangenen 30 Jahre) über dem 30-jährigen gleitenden Mittel der RCP8.5 Simulationen. Es ist daher mit einer erhöhten Eintrittswahrscheinlichkeit von RCP8.5 verglichen mit RCP4.5 zu rechnen. Der farblich hervorgehobene Unsicherheitsbereich, definiert als Wertebereich zwischen dem 15. und 85. Perzentil*, zeigt, dass die Prognose zwischen den verschiedenen Regionalen Klimamodellen um bis zu 1,3 K (RCP4.5) bzw. 1,8 K (RCP8.5) schwankt. Dabei ist die Eintrittswahrscheinlichkeit des Medians genauso hoch, wie die des 15. und 85. Perzentils.

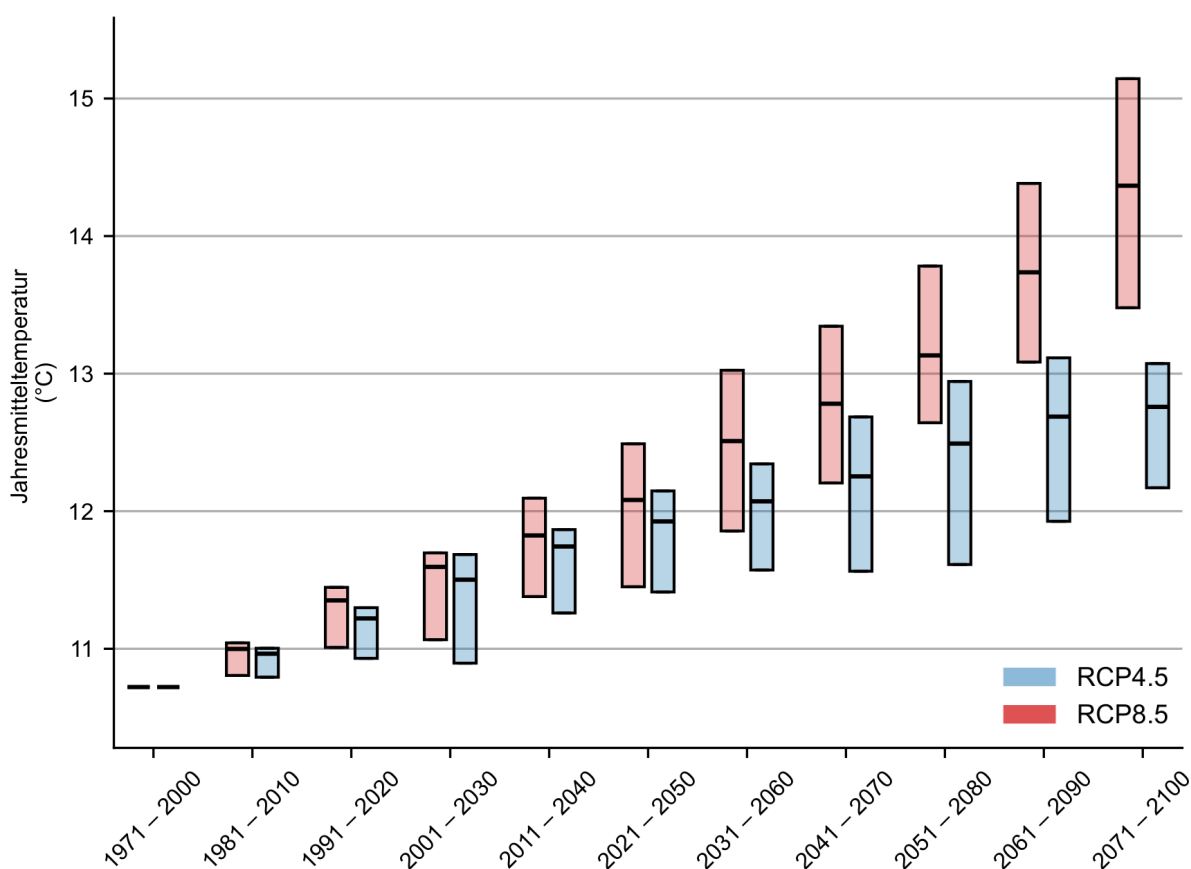


Abbildung 5-2: Absolute Entwicklung der 30-jährigen Jahresmitteltemperatur (Median) bis Mitte und Ende des 21. Jahrhunderts gegenüber der Klimanormalperiode 1971 – 2000 unter Berücksichtigung von RCP4.5 und RCP8.5 (Datengrundlage: Klimaleitplanken 3.0 der LUBW).

In Abbildung 5-2 ist die berechnete Entwicklung der absoluten Lufttemperatur für die Klimanormalperioden 1981 – 2010 bis 2071 – 2100 dargestellt. In dem Szenario RCP8.5 tritt eine deutliche Temperaturerhöhung auf. Diese äußert sich bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts in einer Zunahme um 1,8 K. Zum Ende des 21. Jahrhunderts wird eine deutliche Zunahme von 3,6 K prognostiziert. Der Median im Szenario RCP4.5 zeigt eine Temperaturerhöhung bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts um +1,3 K und bis zum Ende um 2,0 K. Die Spannweite der Lufttemperatur ergibt sich aus dem zugrundeliegenden Modelensemble von ReKliEs-De. Die grundsätzlich in Schwetzingen und

Plankstadt festgestellte Temperaturerhöhung in der Vergangenheit sowie in der Zukunft wirkt sich auf die in den folgenden Kapiteln betrachteten Parameter aus.

5.3 Niederschlag

Niederschlag ist das in flüssiger oder fester Form aus Wolken auf die Erde fallende Wasser. Die gefallene Menge an Niederschlag kann über die einzelnen Monate zusammengefasst werden, so dass sich eine durchschnittliche monatliche Niederschlagsverteilung ergibt.

Innerhalb des Zeitraums von Januar bis März wurden im Frühjahr (1961 – 1990) die geringsten Niederschlagsmengen verzeichnet. Die höchsten Niederschlagsmengen wurden im Zeitraum von 1961 bis 1990 in den Monaten Mai bis einschließlich August verzeichnet (Abbildung 5-3). In den Herbst- und Wintermonaten wurde ein ähnliches Niederschlagsniveau wie im Frühjahr registriert.

Im 30-jährigen Zeitraum von 1991 – 2000 zeigte sich eine ähnliche Verteilung der Niederschlagsmenge wie im Zeitraum von 1961 – 1990 (Abbildung 5-3). Lediglich die Monate April und Juni wiesen eine Verringerung der Niederschlagsmenge auf. Generell hat sich die monatliche Niederschlagsverteilung dieser beiden Zeiträume nur geringfügig geändert.

Für das 21. Jahrhundert wird keine eindeutige Änderung des Jahresniederschlags prognostiziert. Zwar wird im Mittel eine geringe Zunahme von etwa 8 % bis zum Ende des Jahrhunderts berechnet, allerdings lässt sich durch die hohe Variabilität der Niederschlagsverteilung keine gesicherte Aussage über die Entwicklung treffen (Abbildung 5-4).

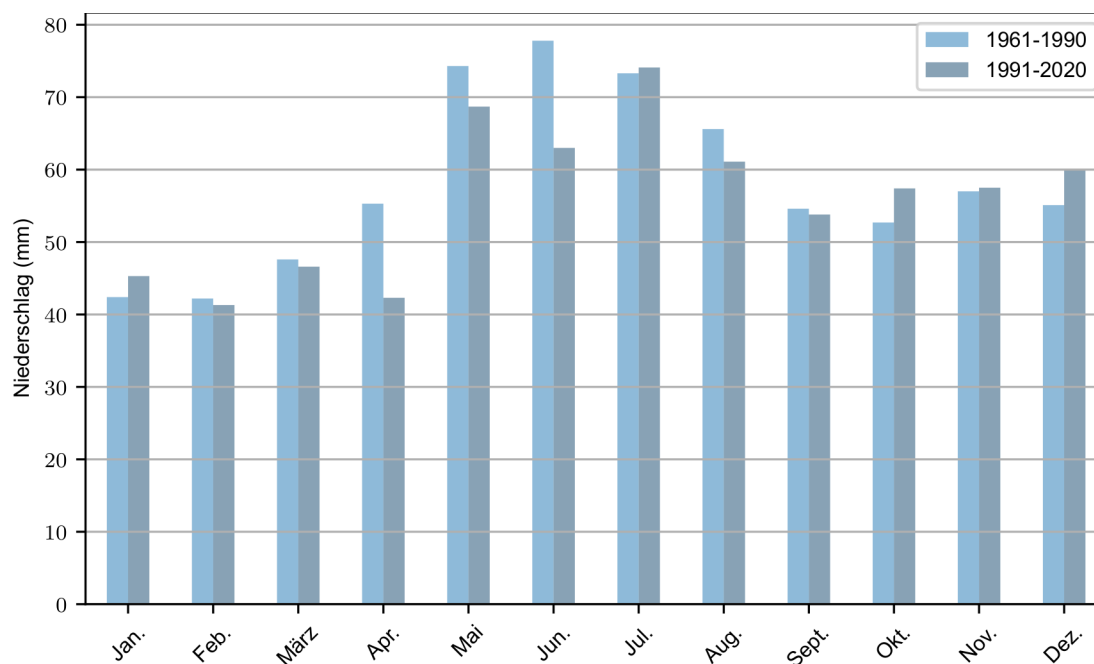


Abbildung 5-3: Mittlere monatliche Niederschlagsverteilung von 1961 bis 1990 und 1991 bis 2020, gemessen in Schwetzingen und Plankstadt (Daten: DWD).

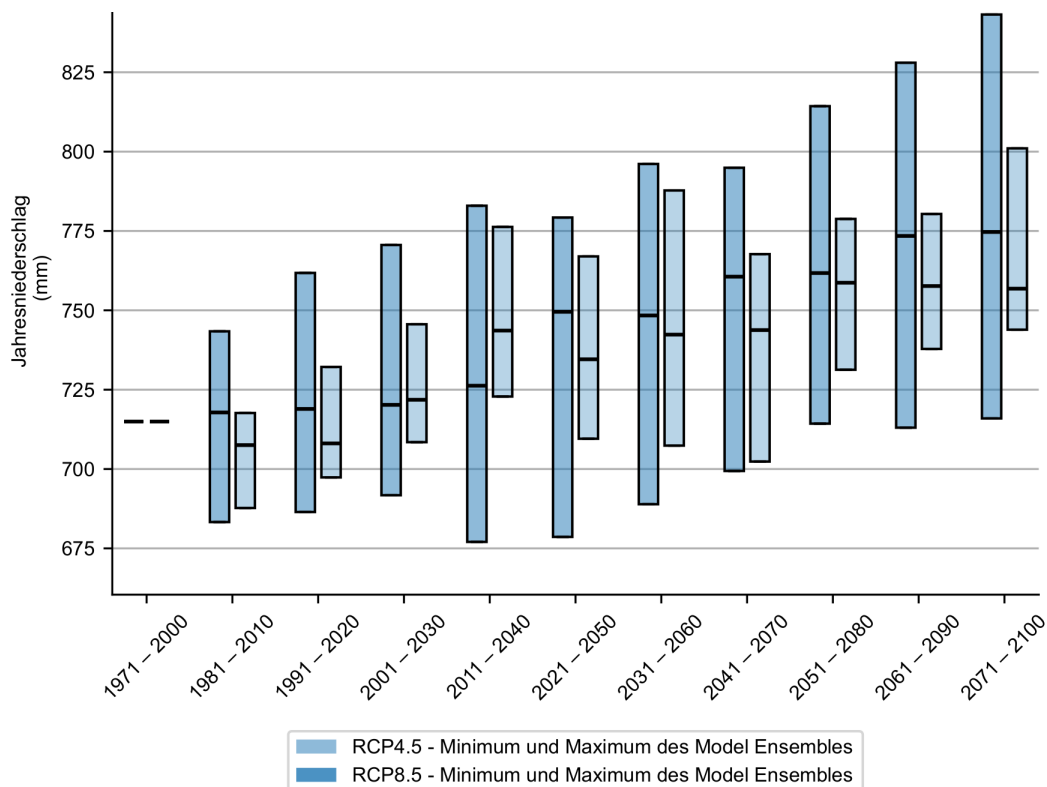


Abbildung 5-4: Prognostizierte Veränderung des mittleren Jahresniederschlags im 30-jährigen Mittel bis Ende des 21. Jhds. gegenüber der Klimanormalperiode 1971 – 2000. Die Fehlerbalken stellen den Bereich zwischen dem Minimum und dem Maximum des Modellensembles dar.

Bei der saisonalen Betrachtung des Niederschlags (Winter, Frühling, Sommer, Herbst) ist von einer Verschiebung der Niederschlagsmenge vom Sommer in den Winter auszugehen (Abbildung 5-5). Während die Niederschlagsmengen unter Berücksichtigung des RCP8.5 im Winter eher zunehmen, wird mit einer gleichbleibenden Niederschlagsmenge im Sommer bis Ende des Jhd. ausgegangen. Jedoch sollen während der Vegetationsperiode Starkniederschlagsereignisse und Trockenperioden häufiger vorkommen. Während in den Modelldaten eine Zunahme der Niederschlagsmengen im Frühjahr berechnet wird, wurde hier eher eine Abnahme des Niederschlags gemessen (Abbildung 5-3). Zu beachten sind die hohen Unsicherheiten, wie auch bereits bei der Betrachtung der Jahresniederschläge. Allerdings ist die Tendenz der Verschiebung vom Sommer-niederschlag zum Winterniederschlag besonders gegen Ende des Jahrhunderts durchaus zu erkennen.

Für die Vorsorge einer Stadt gegenüber Trockenheit und Starkregen ist die Veränderung des Jahresniederschlags nicht so bedeutsam. Wichtiger ist die Beurteilung der Intensität und die Häufigkeit der Starkregenereignisse bzw. der Anzahl der Tage mit starkem und extremem Starkregen (Tage mit Niederschlag ≥ 20 mm bzw. ≥ 30 mm). Es ist zu erwarten, dass die Tage mit Niederschlag ≥ 25 mm um ein Tag bis Mitte und um 1,5 Tage bis Ende des Jhds. zunehmen werden. Jedoch ist gerade die Vorhersage von extremem Starkregen besonders schwierig, da diese Ereignisse sehr selten eintreten. Auch die Intensität der Starkniederschlagsereignisse wird zunehmen, da mit einem Anstieg der Lufttemperatur pro Kelvin die Atmosphäre 7 % mehr Wasserdampf aufnehmen kann (Clausius-Clapeyron-Effekt).

Gleichzeitig nimmt die mittlere Anzahl an Trockentagen in der Vegetationsperiode um im Mittel 3,5 Tage bis Mitte des 21. Jhds. und 11 Tage bis Ende des 21. Jhds. zu.

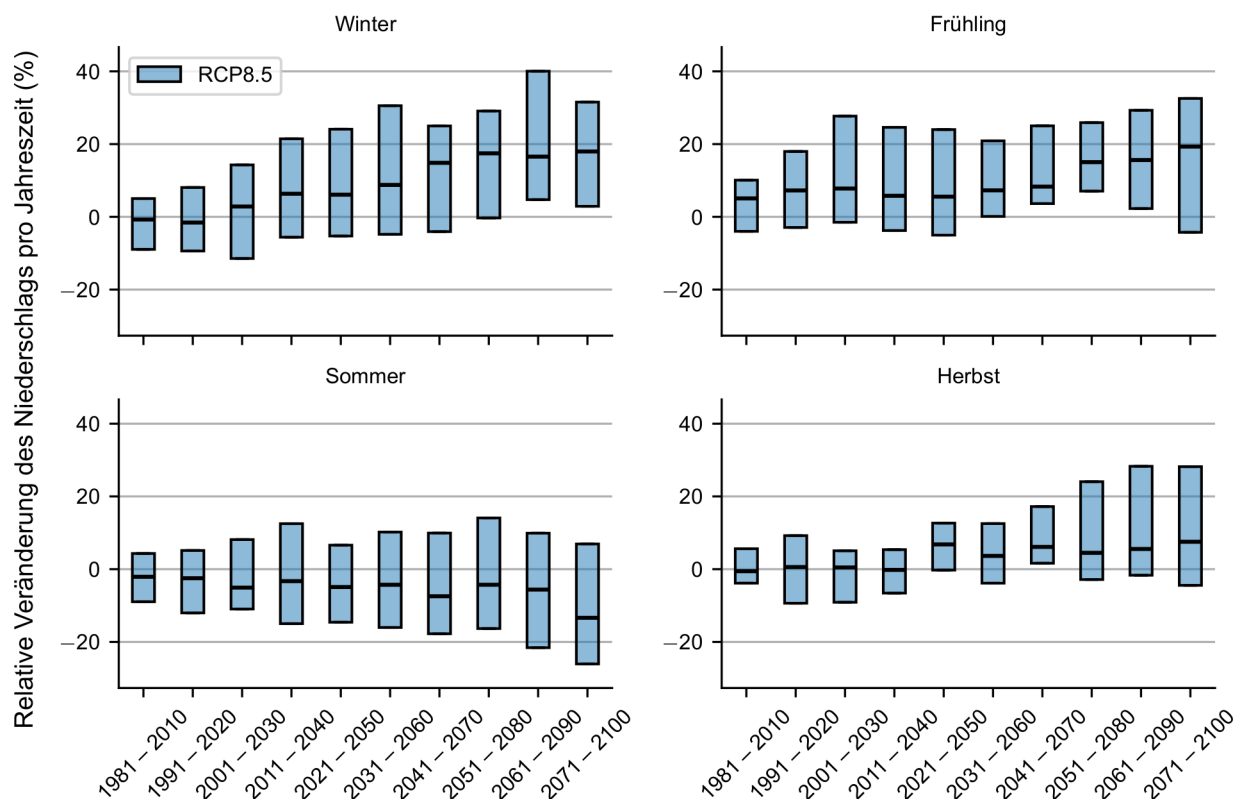


Abbildung 5-5: Saisonale Niederschlagsänderung für die Klimanormalperioden 1981 – 2010 bis 2071 – 2100 gegenüber dem Referenzzeitraum 1971 – 2000. Die Fehlerbalken stellen den Bereich zwischen dem 15. und 85. Perzentil dar.

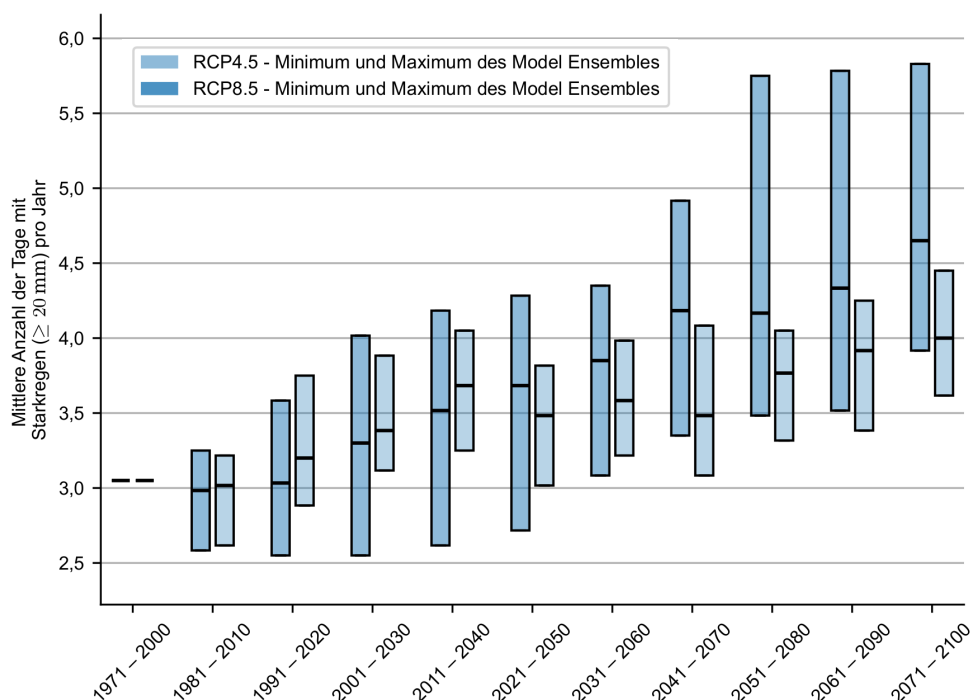


Abbildung 5-6: Prognostizierte Entwicklung der Anzahl an Starkregentagen im 30-jährigen Mittel bis Ende des 21. Jhds. gegenüber der Klimanormalperiode 1971 – 2000 basierend auf RCP4.5 und RCP8.5. Die Fehlerbalken stellen den Bereich zwischen dem Minimum und dem Maximum des Modellensembles dar.

Bis Ende des Jahrhunderts können Tage mit Niederschlag ≥ 20 mm von 3 auf 4,5 ansteigen (RCP8.5) (Abbildung 5-6).

Die Änderungen im Niederschlag werden im Szenario RCP4.5 gemäßiger ausfallen, die Anzahl, Häufigkeit und Intensität an Starkniederschlägen und Trockenperioden werden deutlich geringer ausfallen als im Szenario RCP8.5.

5.4 Klimatologische Kenntage

In Tabelle 5-1 sind die klimatologischen Kenntage aufgeführt, die sowohl für den obligatorischen Referenzzeitraum der Regionalen Klimamodelle 1971 – 2010, als auch für die 30-jährigen Zeiträume (Klimanormalperioden) 1971 – 2000, 2021 – 2050, 2031 – 2060 und 2071 – 2100 ermittelt wurden. Die hier untersuchten klimatologischen Kenntage beziehen sich (bis auf die Hageltage) direkt auf Schwetzungen und Plankstadt.

Tabelle 5-1: Klimatologische Kenntage für verschiedene Klimanormalperioden für zukünftige 30-jährige Klimanormalperioden für Mitte und Ende des 21. Jhd. basierend auf RCP4.5 und RCP8.5.

Klimatologischer Kenntag	1971 – 2000	2021 – 2050		2031 – 2060		2071 – 2100	
		RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
Frosttage	61	49	41	46	37	36	22
Eistage	11	6	5	6	4	3	1
Sommertage	52	66	67	69	72	75	96
Heiße Tage	12	20	20	22	25	26	42

5.4.1 Heiße Tage, Sommertage und tropische Nächte

Die Anzahl an heißen Tagen entspricht in erster Linie einem Gütekriterium für den Sommer, was durch die Anzahl an Sommertagen ergänzt wird³.

Bis Mitte des 21. Jahrhunderts wird prognostiziert, dass die Anzahl der heißen Tage um etwa 13 Tage (RCP8.5) ansteigt (Abbildung 5-8). Bis 2100 wird ein Anstieg um 30 Tage auf dann 42 Tage jährlich (RCP8.5) erwartet.

Bis Mitte des 21. Jahrhunderts könnte die Anzahl der Sommertage um etwa 20 Tage (RCP8.5) ansteigen (Abbildung 5-7). Bis 2100 könnten es letztlich etwa 34 Tage (RCP8.5) mehr sein als im Zeitraum 1971 – 2000, sodass hier insgesamt im Mittel 96 Sommertage zu erwarten sind.

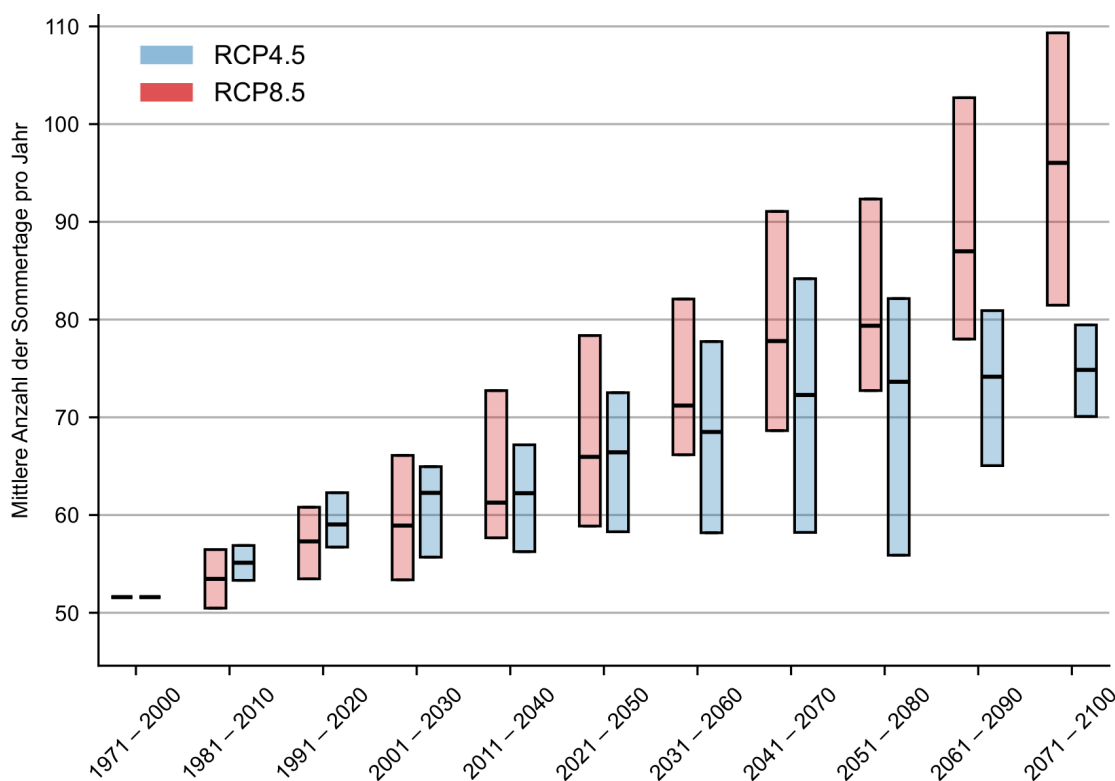


Abbildung 5-7: Anzahl der Sommertage (ST) für den Referenzzeitraum 1971 – 2000 und für die Prognosezeiträume bis Ende des 21. Jahrhunderts basierend auf RCP4.5 und RCP8.5.

³<https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?lv2=102248&lv3=102522>, Stand: 08.04.2026

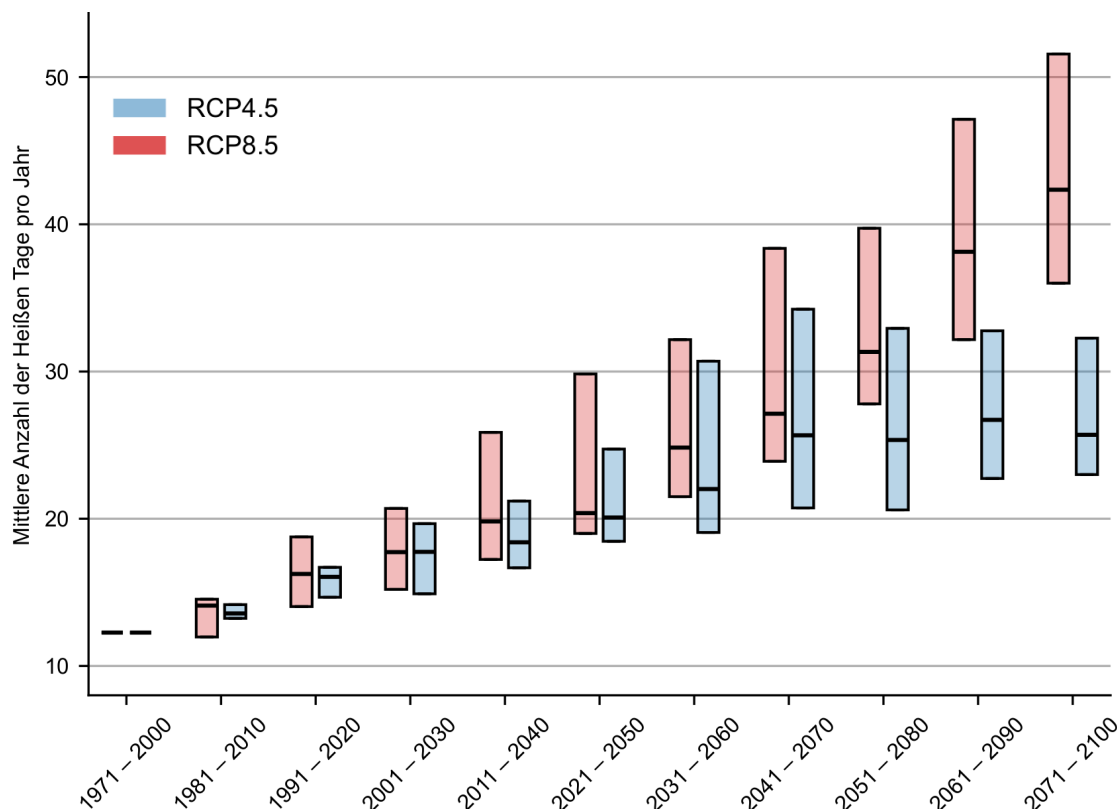


Abbildung 5-8: Anzahl der heißen Tage (HT) für den Referenzzeitraum 1971 – 2000 und für die Prognosezeiträume bis Ende des 21. Jahrhunderts basierend auf RCP4.5 und RCP8.5.

5.4.2 Frost- und Eistage

Die Anzahl an Frosttagen wird tendenziell abnehmen (Abbildung 5-9). Von etwa 61 Frosttagen im Jahr des Referenzzeitraums 1971 – 2000, wird sich deren Anzahl bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts um etwa 24 Tage (RCP8.5) verringern. Bis zum Ende des Jahrhunderts sinkt die Anzahl um bis zu 39 Tage (RCP8.5) im Vergleich zum Zeitraum 1971 – 2000 auf dann lediglich 22 Frosttage jährlich.

Die Anzahl der Eistage wird im Vergleich zum Referenzzeitraum 1971 – 2000 mit damals etwa 11 Eistagen ebenfalls abnehmen (Abbildung 5-10). Bis Mitte des 21. Jahrhunderts wird eine Abnahme um etwa 7 Tage und bis Ende des Jahrhunderts um bis zu 10 Tage erwartet. Sodass gegen Ende des 21. Jahrhunderts im Mittel noch 1 Eistag pro Jahr auftreten wird.

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

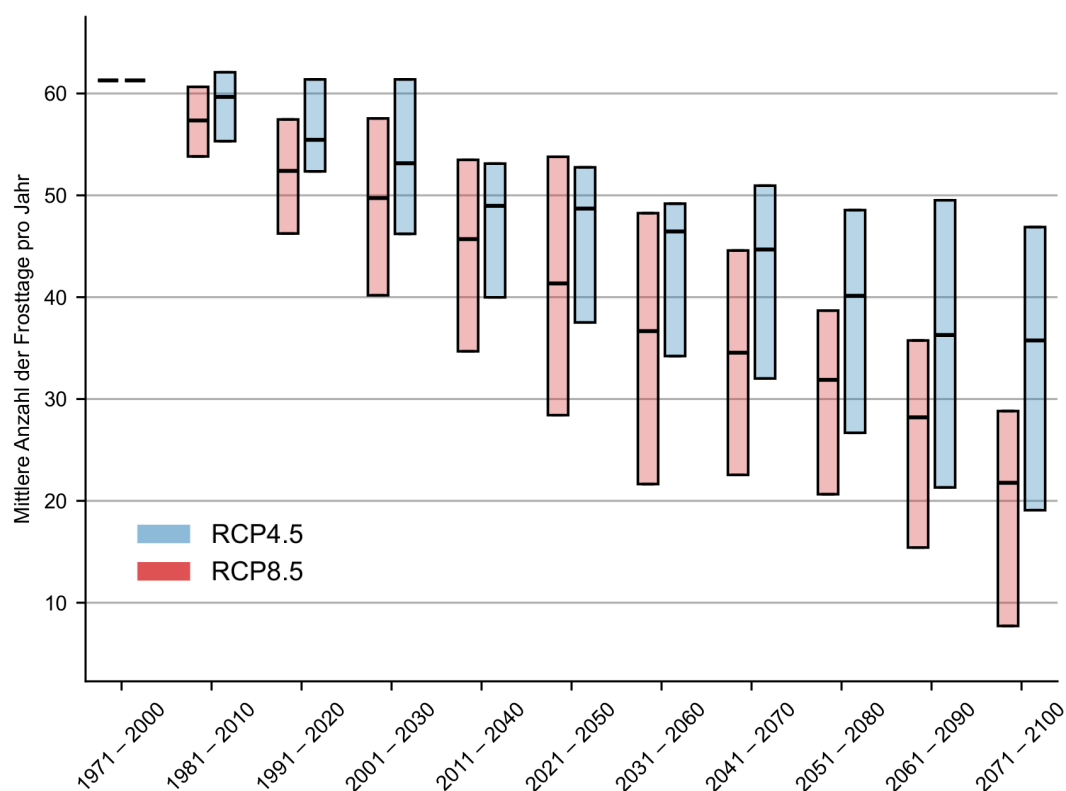


Abbildung 5-9: Anzahl der Frosttage für den Zeitraum 1971 – 2000 und für die Prognosezeiträume bis Mitte und Ende des 21. Jahrhunderts basierend auf RCP4.5 und RCP8.5.

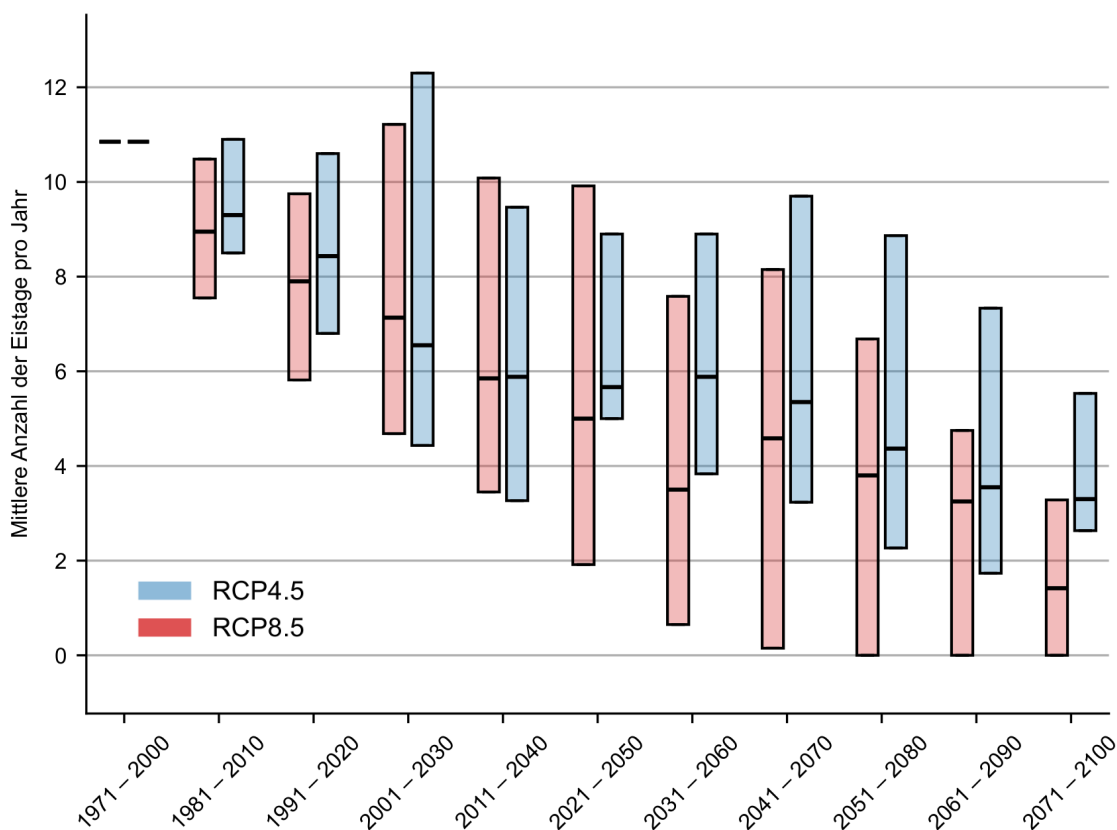


Abbildung 5-10: Anzahl der Eistage (ET) für den Zeitraum 1971 – 2000 und für die Prognosezeiträume bis Ende des 21. Jahrhunderts basierend RCP4.5 und RCP8.5.

5.4.3 Hageltage

Hagel ist insbesondere für die Landwirtschaft von größerer Bedeutung, da Hagelschäden zu wirtschaftlichem Schaden durch Ertragsverluste führen können. Es ist jedoch schwierig, eine ortsspezifische Aussage über die Häufigkeit von Hageltagen* 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.⁴

Vom DWD wurden die Hagelbeobachtungen von 10 Stationen für eine Statistik der mittleren jährlichen Anzahl an Hageltagen in Tabelle 5-2 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 wie am Feldberg bis zu 5 Hageltage vor.

Tabelle 5-2: Häufigkeit der Tage mit Hagel für den Zeitraum: 1981 – 2010. Inseln: kursiv, Berggipfel: GROSSBUCHSTABEN (Quelle: DWD-CDC).

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

Für Schwetzingen und Plankstadt ist mit ihrer Lage in Südwestdeutschland mit einer Hagelwahrscheinlichkeit von über 2 Hageltagen pro Jahr auszugehen, wobei eine jahreszeitliche Variabilität zu berücksichtigen ist (vgl. Abbildung 5-11). Daher treten mit höherer Wahrscheinlichkeit Hagelereignisse in den Sommermonaten auf, wenn die Wahrscheinlichkeit für Gewitter hoch ist.

Eine Analyse der Münchener Rückversicherung geht von 0,5 bis 0,75 Tagen mit Hagel in der Region Schwetzingen und Plankstadt aus (Abbildung 5-12)⁵.

⁴ <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?lv2=101094&lv3=101150>, Stand 08.04.2026

⁵ Diese Zahlen basieren auf einer Studie von Rädler et al. (2018). Die geringere Anzahl an Hageltagen ist unter anderem auf die Verwendung von Reanalysedaten mit einer räumlichen Auflösung von 0,75° und einer zeitlichen Auflösung von 6 Stunden zurückzuführen. Diese Auflösungen sind relativ grob im Vergleich zur räumlichen und zeitlichen Skala eines Gewitter- und Hagelereignisses.

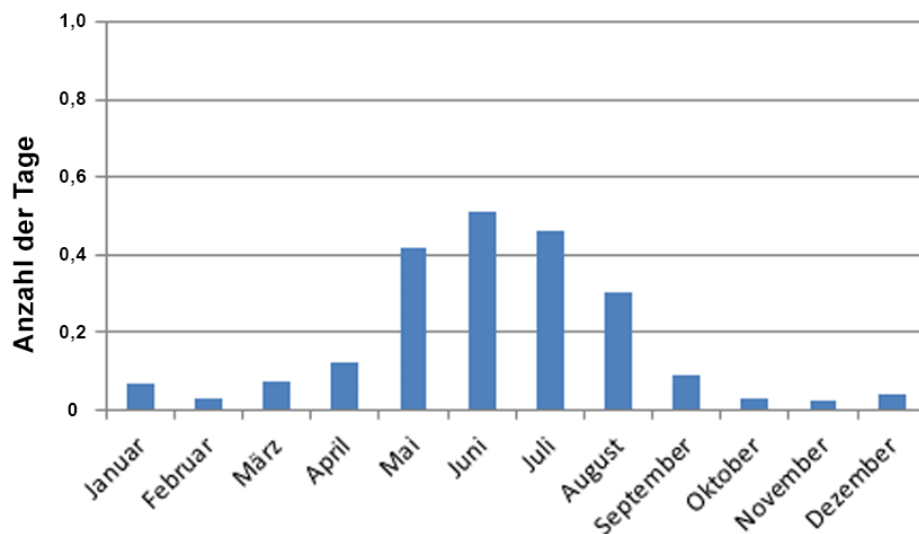


Abbildung 5-11: Mittlere Anzahl an Hageltagen pro Monat für die Klimanormalperiode 1981 – 2010. Als Datengrundlage wurden die in Tabelle 5-2 gelisteten Stationen ohne Inselstationen verwendet.

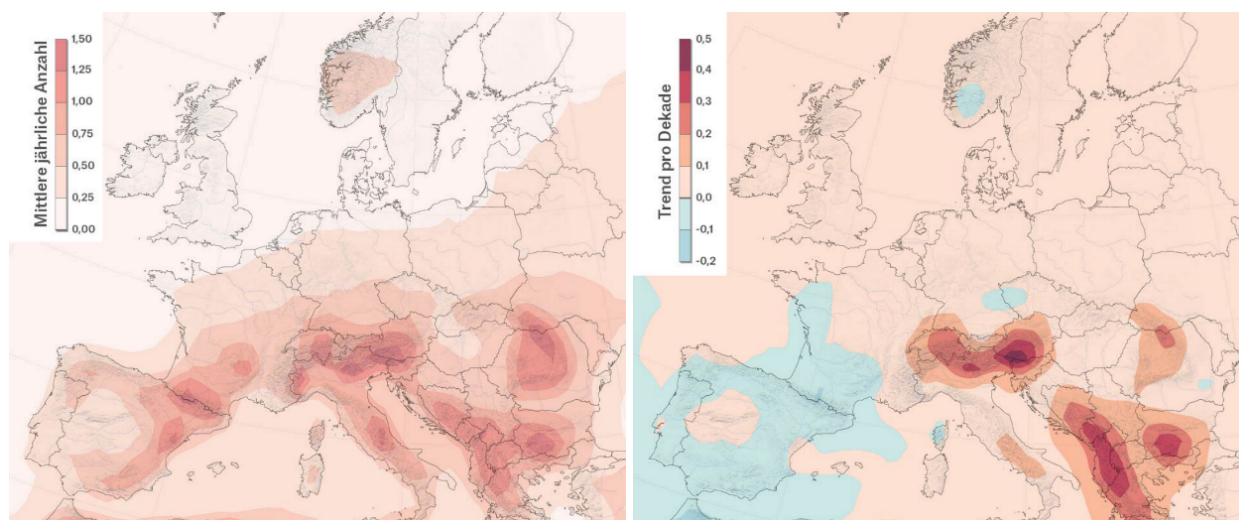


Abbildung 5-12: Mittlere jährliche Anzahl an Hagelereignissen (links) und der Trend pro Dekade in den 37 Jahren von 1979 bis 2015 (rechts; Quelle: Münchener Rückversicherung 2019⁶).

Aufgrund höherer Temperaturen erwärmen sich die 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, Sander & Kottmeier (2009) fanden heraus, dass die jährliche Anzahl an Gewittern in Baden-Württemberg zwischen 1974 und 2003 im Mittel nicht angestiegen ist, sehr wohl aber der Hagelschaden und die Tage mit Hagel in den letzten drei Dekaden. Auch das Hagelpotenzial, abgeleitet aus Stabilitätsmaßen und Großwetterlagen, ist in Baden-Württemberg angestiegen (Brasseur, Jacob & Schuck-Zöller (2023)). Die Münchener Rückversicherung weist einen Trend von etwa +0,1 Hageltagen pro Jahr im Raum Schwetzingen und Plankstadt aus (Abbildung 5-12). Im 21. Jahrhundert könnte die Anzahl an Hageltagen im Raum Schwetzingen und Plankstadt weiter zunehmen (Brasseur, Jacob & Schuck-Zöller (2023)).

⁶ <https://www.munichre.com/de/insights/natural-disaster-and-climate-change/hail.html>, Stand 08.04.2026

Fazit Klimawandel

In den letzten 30 Jahren ist die Jahresmitteltemperatur in Schwetzingen und Plankstadt um 1,1 K angestiegen. Die Jahresmitteltemperatur wird bis Mitte des Jahrhunderts um 1,3 K (RCP4.5) bzw. 1,8 K (RCP8.5) ansteigen. Bis Ende des Jahrhunderts kann der Lufttemperaturanstieg bis zu +3,6 K (RCP8.5) betragen.

Mit der Zunahme der Lufttemperatur nimmt die Anzahl an Frost- und Eistagen ab. Aufgrund des früheren Wachstumsstarts steigt das Frostrisiko hingegen erst einmal an, um gegen Ende des Jahrhunderts wieder abzunehmen. Die Anzahl an Sommertagen mit einer Tageshöchsttemperatur über 25°C, welche auch mit einer Hitzebelastung für die Bevölkerung einhergehen, soll sich von 1971 – 2000 bis Ende des 21. Jahrhunderts auf ca. 96 Tage verdoppeln.

Zukünftig soll der Jahresniederschlag um ca. 8 % zunehmen, wobei sich die Zunahme auf das Winterhalbjahr bezieht, da im Sommerhalbjahr die Niederschlagsmenge relativ konstant bleiben soll. Allerdings wird es im Sommer zu einer Zunahme der Anzahl und Dauer von Trockenperioden und einer Zunahme von Starkniederschlagsereignissen kommen.

Eine gesicherte Aussage zur Entwicklung von Hageltagen lässt sich aufgrund der geringen Datenlage nicht tätigen. Verschiedene Quellen gehen von einer geringen Zunahme an Hageltagen im Jahr aus.

6 Ergebnisse der Stadtklimaanalyse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der untersuchten meteorologischen Größen und Parameter beschrieben (vgl. Abbildung 2-1).

6.1 Kaltluftströmung

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

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

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

Die Siedlungsgebiete von Schwetzingen und Plankstadt selbst weisen nur eine sehr schwache orographische Gliederung auf. Die Höhenunterschiede im Relief der Rheinebene sind nur sehr gering, so dass dadurch kein Antrieb für Kaltluftströmungen zu erwarten ist. An den Hängen des Odenwalds, die etwa 6 km östlich von Plankstadt liegen, steigt das Gelände dagegen rasch an. Dies ermöglicht die Entstehung von Kaltluftabflüssen, welche für die Belüftung von Siedlungsgebieten von hoher Bedeutung sind. Kaltluftabflüsse transportieren in den Abend- und Nachtstunden kühlere und meist frischere Luft in die Siedlungsbereiche, wodurch thermische und lufthygienische Belastungen spürbar reduziert werden.

Zur Wahrung gesunder Wohn- und Arbeitsverhältnisse ist deshalb der Erhalt und die Verbesserung dieser Strömungssysteme relevant.

6.1.1 Entstehung von Kaltluftabflüssen

In klaren, windschwachen Nächten ist die Energieabgabe der Boden- und Pflanzenoberflächen aufgrund der Wärmeausstrahlung größer als die atmosphärische Gegenstrahlung*. Dieser Energieverlust verursacht eine Abkühlung der Boden- und Pflanzenoberfläche, sodass 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 Dichte- und Temperaturunterschied 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 Geschwindigkeit hängen im Wesentlichen von der Fläche des Einzugsgebiets, der Kaltluftproduktionsrate*, dem Talgefälle und den Rauigkeiten, d.h. den Strömungshindernissen und der Bodenbeschaffenheit, im Talbereich ab. Die Fließrichtung wird durch die Geländeform bestimmt. Talwärts führende Einsenkungen des Geländes, wie z.B. Seitentäler, Schluchten und Rinnen, beeinflussen einen Kaltluftabfluss.

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

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

- meteorologische Verhältnisse
- Flächennutzung
- Geländeform und -exposition.

6.1.2 Zeitlicher Verlauf von Kaltluftabflüssen

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

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

6.1.3 Häufigkeit von Kaltluftabflüssen

Kaltluftabflüsse treten bei autochthonen 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 Schwetzingen und Plankstadt laut LUBW in etwa 18 % der Jahresstunden vorkommt. Auch bei Ausbreitungsklasse II, die in etwa 26 % der Jahresstunden auftritt, können noch Kaltluftabflüsse auftreten, die aber stärker von den übergeordneten Windrichtungen beeinflusst werden.

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

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

Trifft die Kaltluft auf die Bebauung, dringt diese bodennah in die Bebauungsschicht ein (vgl. Abbildung 6-1, links). Der größere Teil der Kaltluft überströmt jedoch die Bebauung und wird durch die gebäudeinduzierte Turbulenz in die Bebauung herabgemischt (vgl. Abbildung 6-1, rechts). Für die innerstädtische Belüftung ist deshalb die Überdachströmung die relevante Größe.

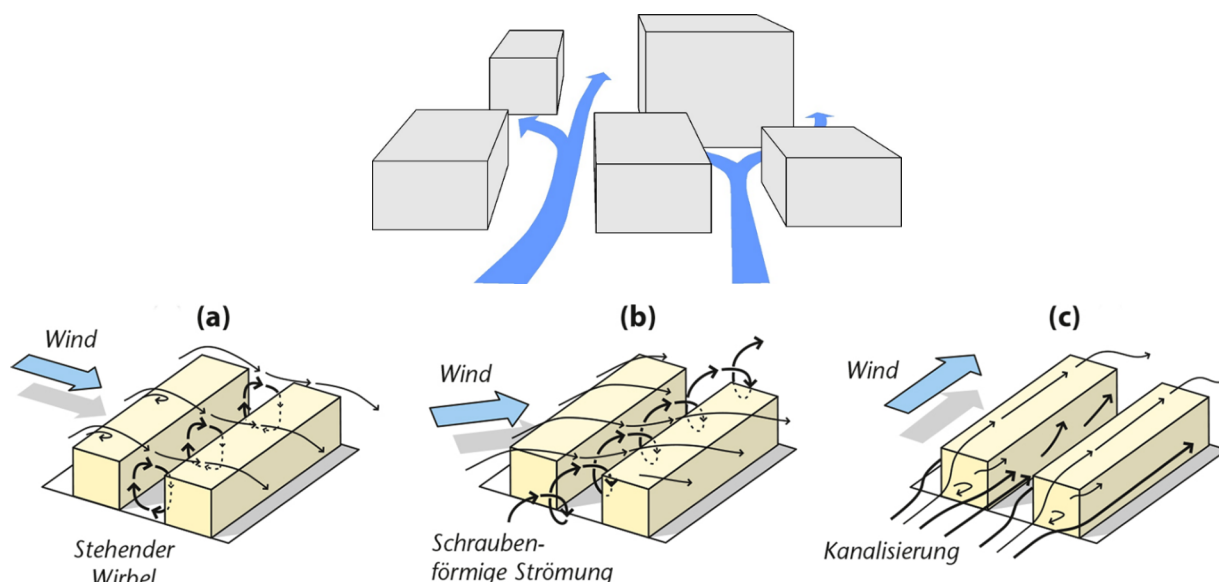


Abbildung 6-1: Bodennahe Belüftung in den peripheren Bereichen (oben, eigene Abbildung) und Herabmischung der mittleren Strömung in einer Straßenschlucht ((a) bis (c), Christen (2019) modifiziert nach Oke et al. (2017)).

6.1.4 Strömungsprofile in der Kaltluft

Bei Kaltluftabflüssen handelt es sich um Dichteströmungen, d.h. der Antrieb erfolgt nicht durch großräumige Luftdruckunterschiede, sondern durch die kühlere und damit schwerere Luft, die sich geländefolgend in Bewegung setzt. Mit zunehmender Höhe geht die Windgeschwindigkeit zurück, da dort der Antrieb nicht mehr wirkt. Bodennah wird die Strömung infolge der Reibung abgebremst, so dass ein typisches bauchiges Profil entsteht (vgl. Abbildung 6-2). Das Geschwindigkeitsmaximum verlagert sich zunehmend in größere Höhe, insbesondere über größeren Rauigkeiten wie Siedlungsflächen (Verdrängungseffekt). Bodennah nimmt die Geschwindigkeit durch diesen Effekt sukzessive ab.

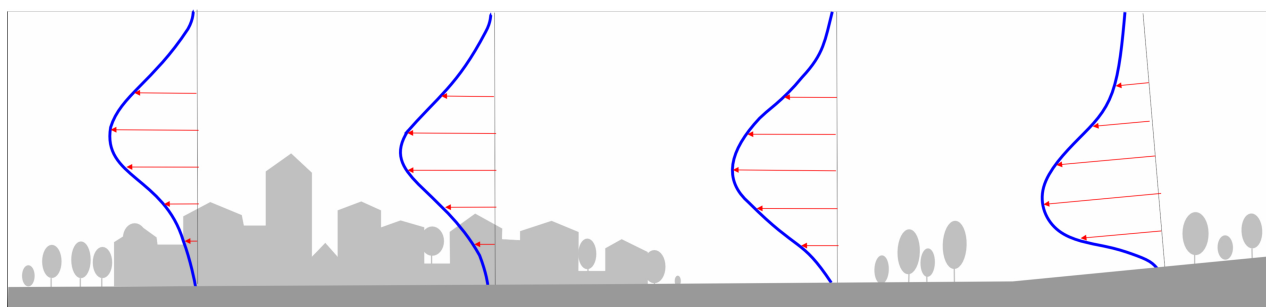


Abbildung 6-2: Idealisierte Vertikalprofile einer Kaltluftströmung.

6.1.5 Ergebnisse der Modellierung

Abbildung 6-3, Abbildung 6-4 und Abbildung 6-7 zeigen die Strömungsverhältnisse im Dachniveau in Schwetzingen und Plankstadt. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind vorrangig die Pfeile bei hoher Volumenstromdichte dargestellt (Algorithmus zur Pfeildarstellung siehe REKLIBO, Schwab & Zachenbacher (2009)).

Markant ist der Unterschied der Strömungsrichtungen zwischen der Situation am Abend und in der späteren Nacht. Zu Beginn der Nacht führen die Hänge und insbesondere Täler des Odenwalds zur Kaltluftströmungen, die trotz der abschwächenden Wirkung durch die urbanen Gebiete von Heidelberg und Leimen bis auf Höhe von Schwetzingen vordringen (Abbildung 6-3).

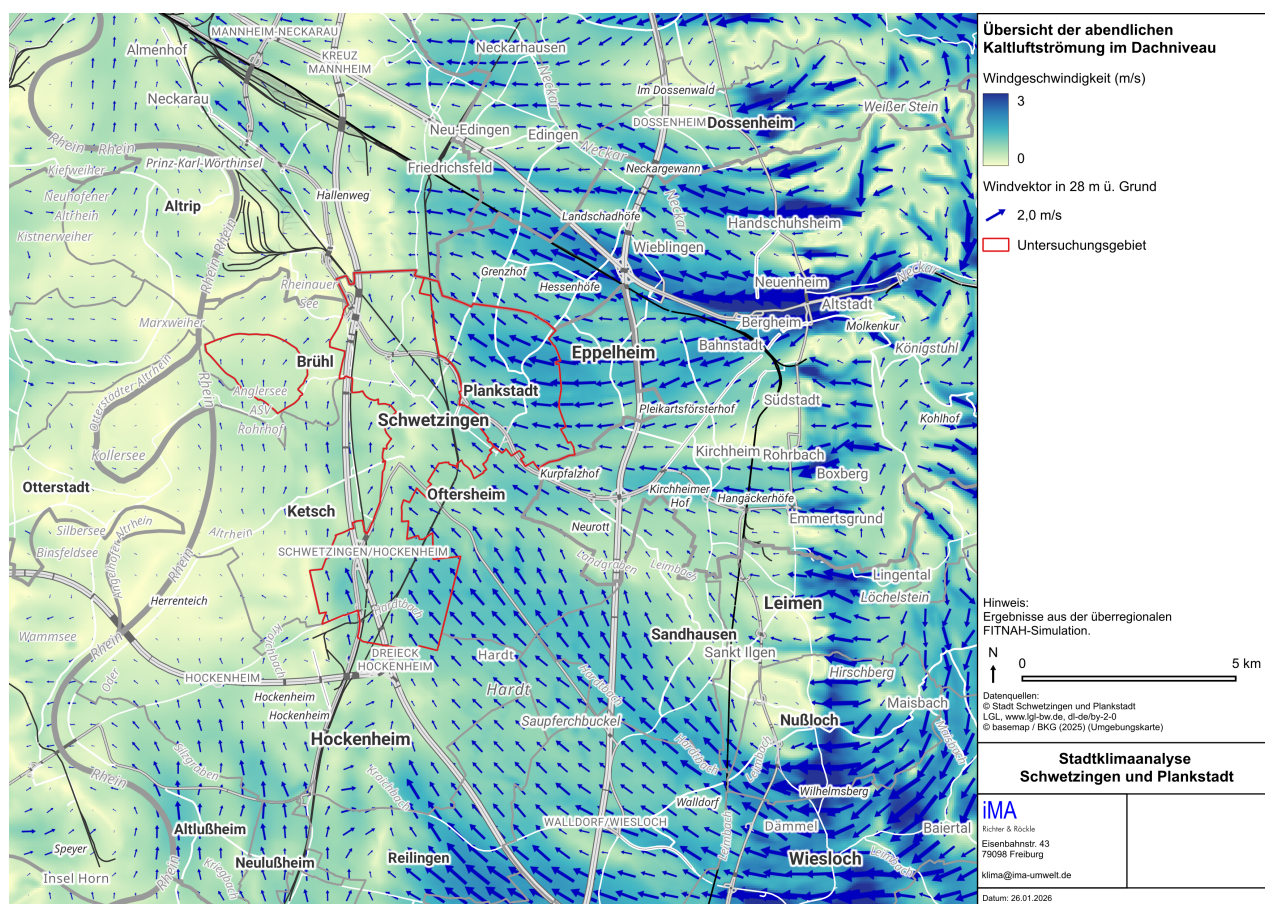


Abbildung 6-3: Übersicht der Kaltluftabflüsse (Windgeschwindigkeit) abends im Überdachniveau.

Integriert man den Kaltluftstrom bis in 50 m Höhe über Grund (Abbildung 6-4), so findet man eine übergeordnete östliche Strömung. Maßgebend sind hier die Verhältnisse oberhalb des Dachniveaus (Bauch der Kaltluftströmung). Grundsätzlich ist damit im gesamten Gebiet von Schwetzingen und Plankstadt eine Anbindung an die übergeordnete Strömung vorhanden.

Die Wirkung der Landnutzung zeigt sich in der bodennahen Strömung (Abbildung 6-5). Die Richtungen unterscheiden sich hier wesentlich von der übergeordneten östlichen Strömung. Grundsätzlich zeigen ausgedehnte Freiflächen meist eine deutliche Kaltluftströmung, wie sie z.B. westlich und südlich von Plankstadt zu finden ist. Vor allem aufgrund der Bebauung außerhalb des Gemeindegebiets kommt die Strömung hier aus südlichen Richtungen.

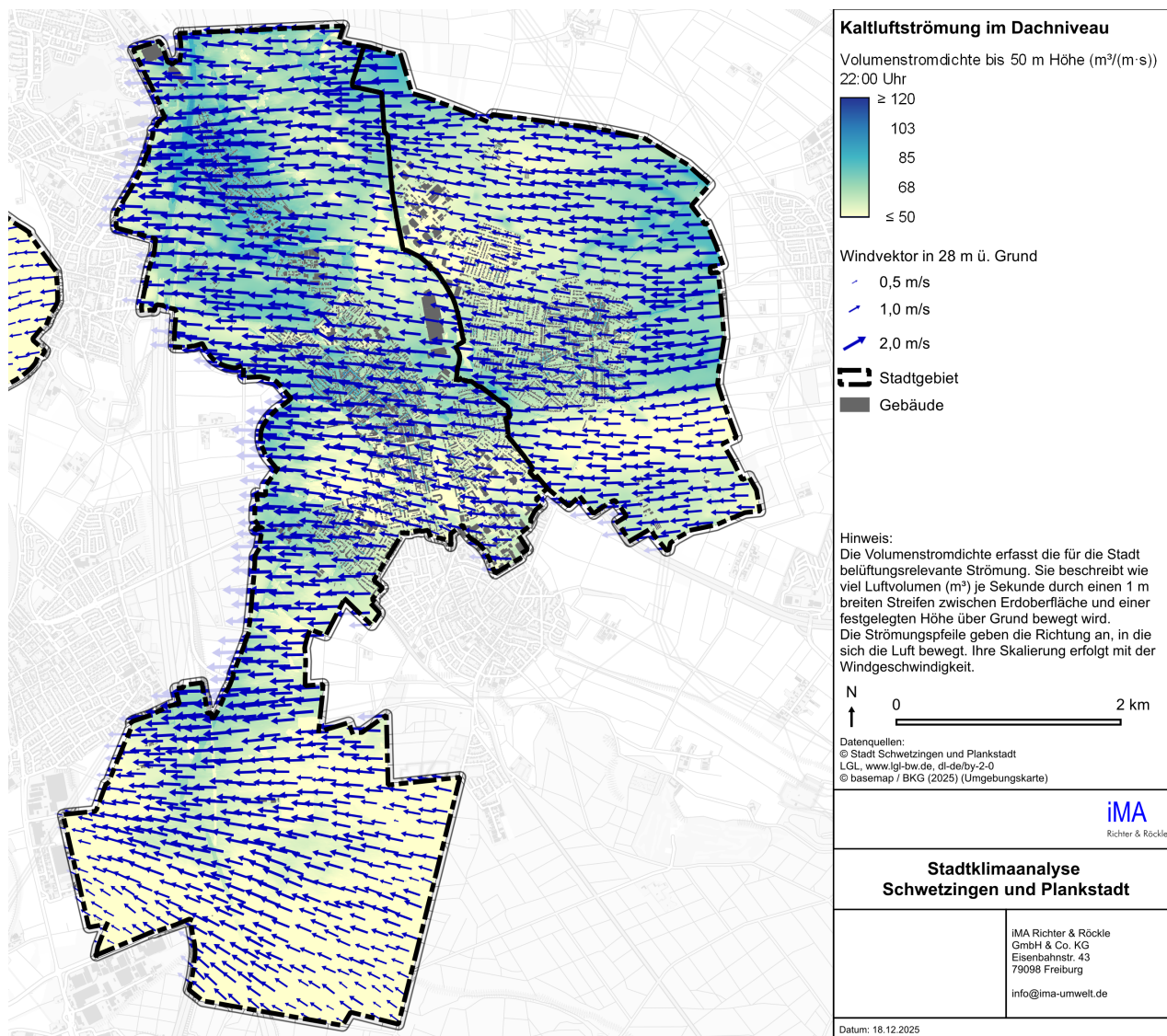


Abbildung 6-4: Abendliche Kaltluftströmung im Dachniveau (28 m ü. Grund) in Schwetzingen und Plankstadt.

Der Siedlungsbereich von Plankstadt und insbesondere sein südlicher und östlicher Rand profitieren von diesem Zustrom an Kaltluft. Die Bebauung schwächt die Strömung bodennah zunehmend ab, so dass die westlich und nördlich gelegenen Wohngebiete bodennah nur sehr schwach belüftet werden.

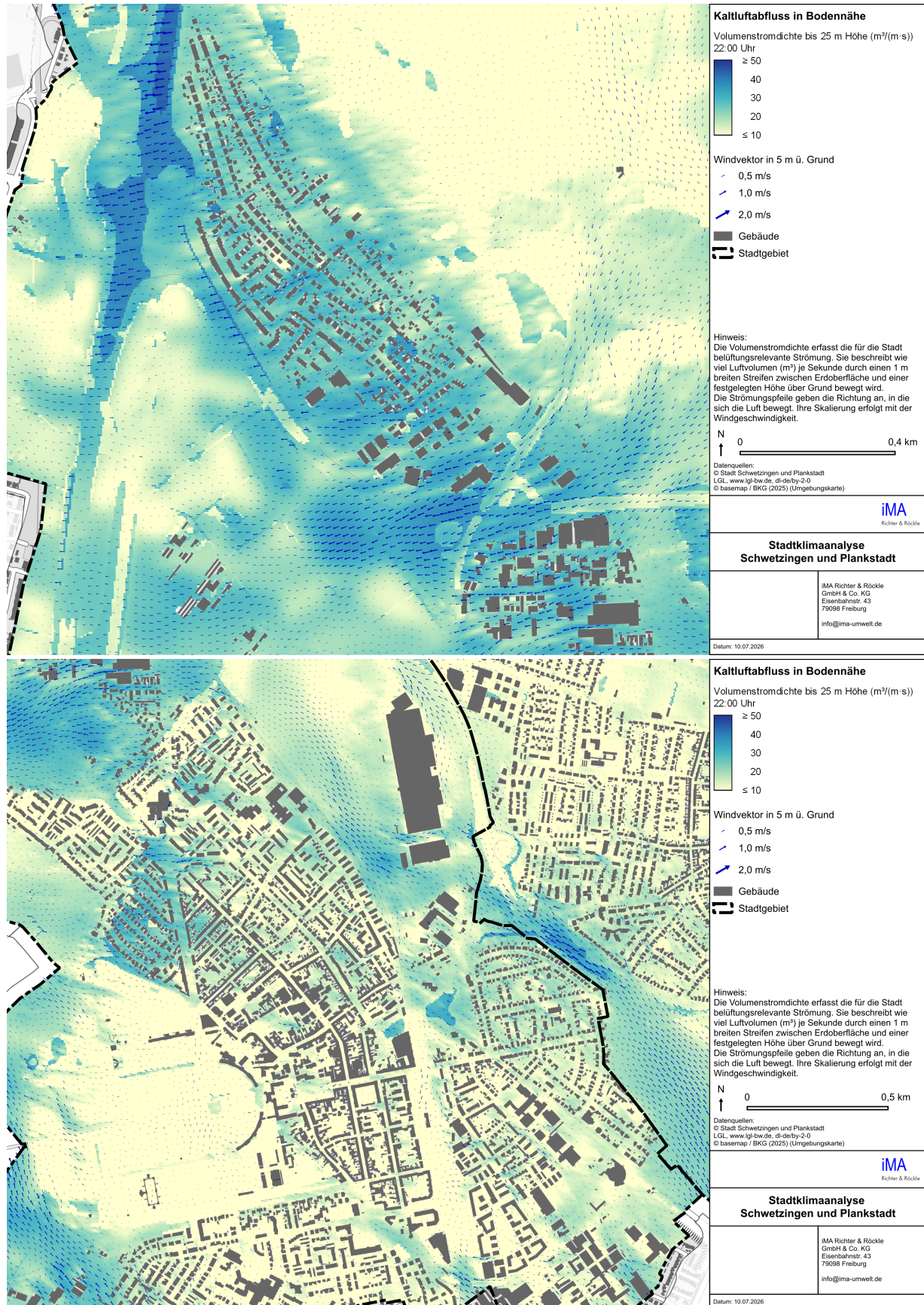


Abbildung 6-5: Kaltluftströmung in Bodennähe (5 m ü. Grund) in Hirschacker (oben) und Schwetzingen (unten).

In Schwetzingen reicht der südliche Siedlungsrand bis an die Grenze des Stadtgebiets. Dort schließt sich die Bebauung von Oftersheim nahtlos an. Entsprechend erreicht die bodennahe Strömung nur den südwestlichsten Siedlungsrand, da dort nur wenig vorgelagerte Bebauung vorhanden ist. Dagegen profitiert die Bebauung im südwestlichen Schälzig vom Zustrom über die dort vorgelagerten Freiflächen und Sportanlagen. Im Westen schließt sich der Schlosspark an die Innenstadt an. Aufgrund des alten Baumbestands kann sich der Zustrom aus dem Südwesten hier nicht bis zum Siedlungsrand durchsetzen. Deutlich hervor hebt sich aber der Verlauf der B535 im Osten, wo aufgrund der fehlenden Bebauung die Kaltluft weit nach Norden vordringen kann. Am östlichen Siedlungsrand der Ost- und Nordstadt kann deshalb in großen Teilen ein bodennaher Zustrom beobachtet werden.

Im nördlichen Stadtteil Hirschacker ist dagegen ein deutlich anderes Regime vorherrschend. Die eher lockere und in Ost-West-Richtung nur mit geringer räumlicher Ausdehnung vorhandene Bebauung erlaubt ein Durchgreifen der östlichen Strömung aus dem Überdach-Niveau bis in Bodennähe. Daher ist im Vergleich zum Bereich der Innenstadt eine bessere Durchlüftung durch die Kaltluftströmung zu verzeichnen.

Später in der Nacht dreht die Strömung im Überdach-Niveau auf südliche Richtungen (Abbildung 6-7). Das großräumige Regime des Rheintals hat sich nun durchgesetzt. Auch jetzt ist die Strömung im Untersuchungsgebiet relativ gleichmäßig verteilt.

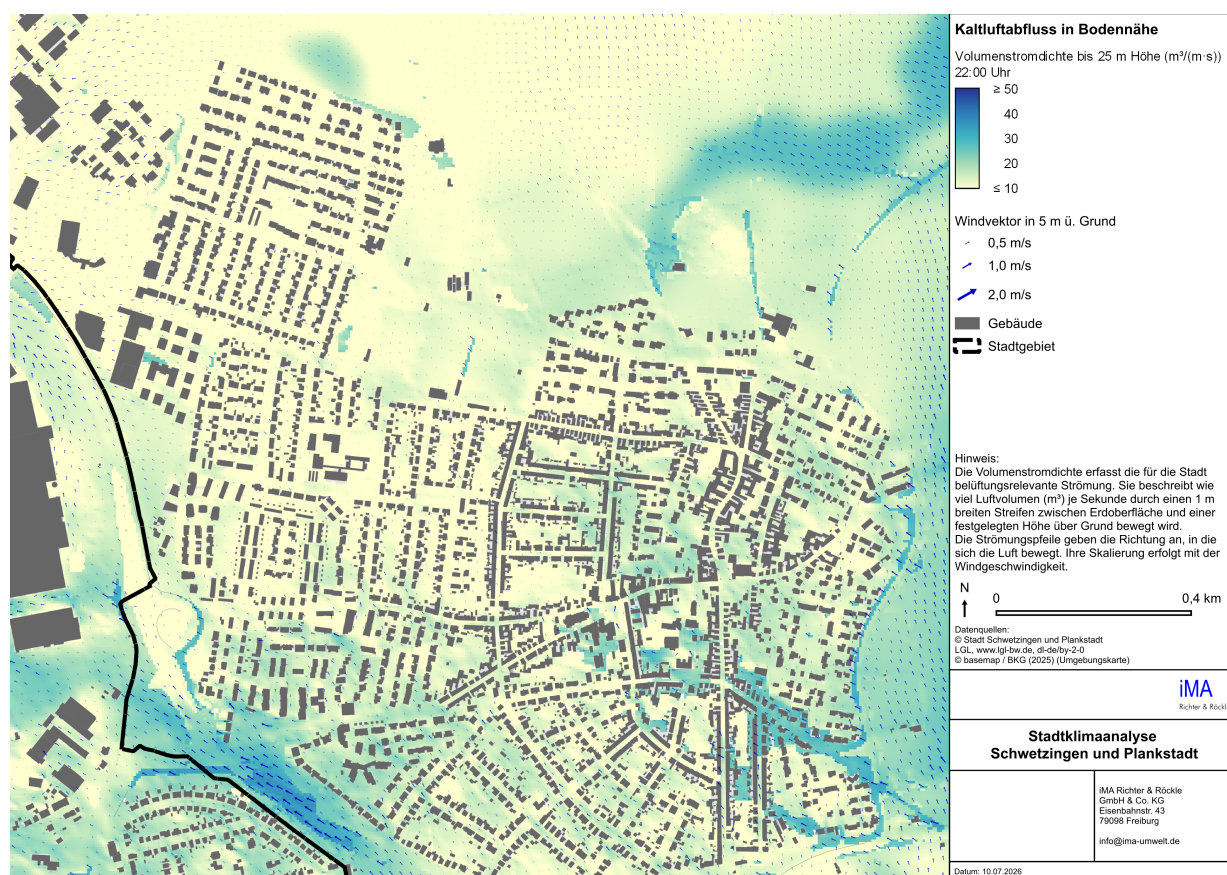


Abbildung 6-6: Kaltluftströmung in Bodennähe (5 m ü. Grund) in Plankstadt.

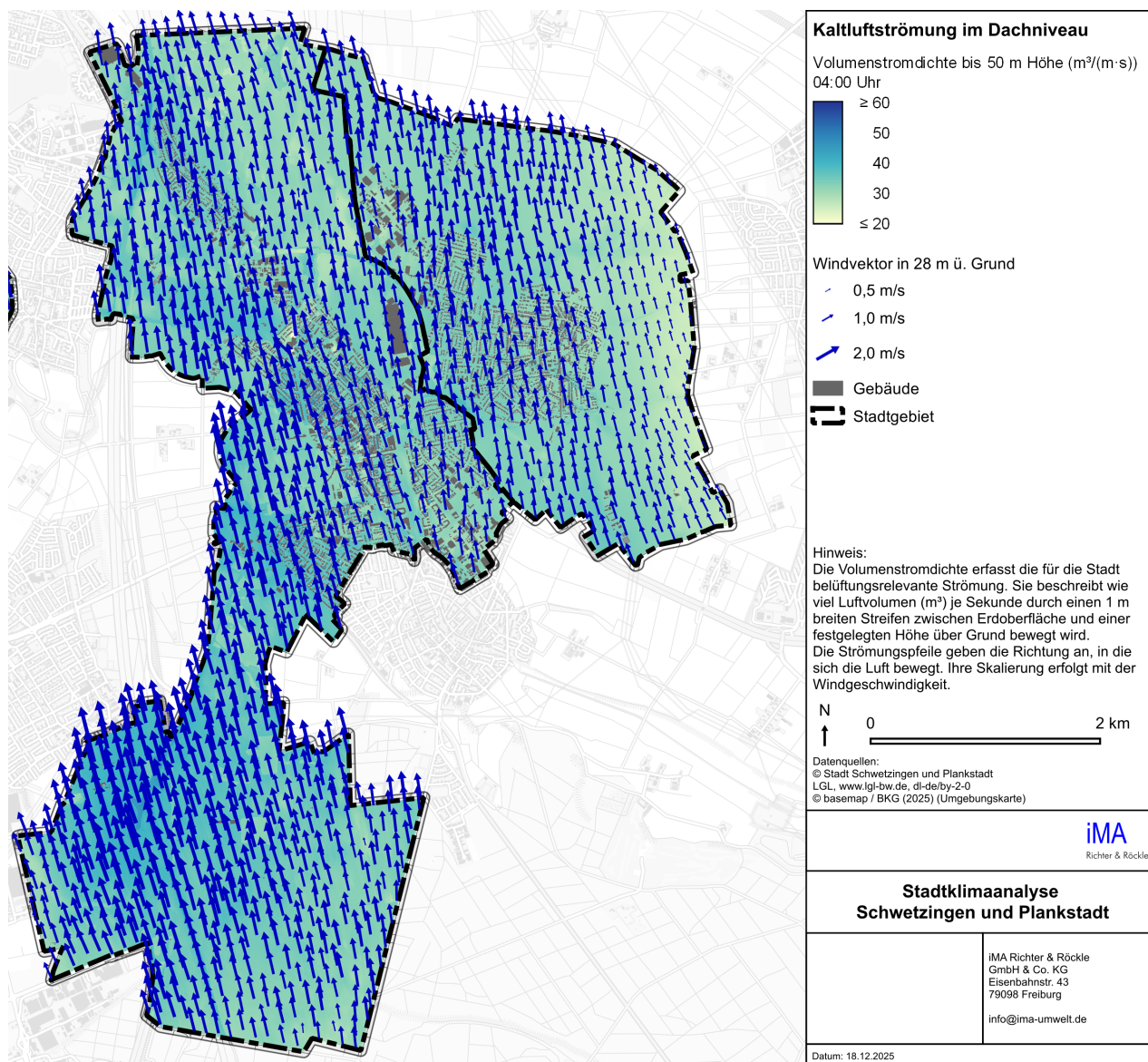


Abbildung 6-7: Nächtliche Kaltluftströmung im Dachniveau (28 m ü. Grund) in Schwetzingen und Plankstadt.

Fazit Kaltluftströmung

Schwetzingen und Plankstadt profitieren abends von schwachen Kaltluftabflüssen aus den Ausläufern des Odenwalds. Nachts setzt sich dann üblicherweise, wie auch in den Messungen zu sehen, die rheintalfolgende Strömung durch. Auch diese sorgt für einen Abtransport der thermischen Belastung aus den beiden Kommunen.

6.2 Thermische und human-biometeorologische Verhältnisse

Für die Bewertung der human-biometeorologischen Verhältnisse tagsüber ist die Betrachtung der Lufttemperatur nur bedingt geeignet, da neben der Temperatur auch die Luftfeuchte, die Windgeschwindigkeit und die Strahlungsflüsse einen erheblichen Einfluss auf das thermische Befinden haben. Als Indikator für die thermische Belastung wird daher die Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET) betrachtet (siehe Kapitel 3.2.2).

Nachts korrelieren die PET und die Lufttemperatur stark, da der Einfluss der Sonnenstrahlung entfällt. Deshalb wird nachts die Lufttemperatur oder genauer die Überwärmung des Stadtgebiets gegenüber dem ländlichen Umland, die sog. urbane Wärmeinsel, betrachtet.

Die Häufigkeit von Wärmebelastungen in der Vergangenheit und bis zum Ende des 21. Jahrhunderts wird über die mittlere Anzahl an Sommertagen im Jahr auf Grundlage von Messdaten und Daten regionaler Klimamodelle (Daten der LUBW), in Kapitel 5.4.1 beschrieben.

6.2.1 Human-biometeorologische Verhältnisse

In der Mittagszeit ist die Wärmebelastung des Menschen stark von der Sonneneinstrahlung abhängig. Besonnte Bereiche, wie z.B. die landwirtschaftlichen Freiflächen, weisen eine deutlich höhere thermische Belastung auf, als die verschatteten Waldgebiete von Schwetzingen oder dem Schlosspark (Abbildung 6-8).

Daher spielen schattenspendende Hindernisse wie Gebäude und Bäume eine wesentliche Rolle für verträgliche Temperaturen. In durch Bäume abgeschatteten Bereichen beträgt die PET weniger als 27 °C, sodass lediglich „leicht warme“ Bedingungen und somit an einem heißen Sommertag nur eine leichte Wärmebelastung vorzufinden ist (Bewertung s. Tabelle 3-6, Seite 29). Ebenso sind Gebiete mit hohem Grünflächen- oder Gewässeranteil weniger stark hitzebelastet (PET ca. 35 °C). Hier wird die Einstrahlung der Sonne in Verdunstungsenergie umgewandelt und die Oberflächen heizen sich im Vergleich zu versiegelten Flächen weniger stark auf.

Die höchsten Belastungen treten in besonnten, windschwachen und stark versiegelten Bereichen auf, wie sie in Industrie- und Gewerbegebieten vorkommen. Typische hohe Werte der PET finden sich z.B. im Bereich des Gewerbegebiets Scheffelstraße oder im Jungholz in Plankstadt, wo hohe thermische Belastungen mit bis zu 50 °C auf den weiträumig versiegelten Flächen auftreten.

Durch die Versiegelung treten auch ausgedehnte Fahrbahnbereiche wie Autobahn und Bundesstraßen hervor. Auch Bahngleise, die in Schwetzingen von Süd nach Nord durch die Innenstadt verlaufen, weisen höhere Werte der PET auf. Im Bereich des Bahnhofs ist der Einfluss des Schattenwurfs durch Stadtbäume oder auch durch hohe Gebäude ersichtlich. So weist der Gleisbereich östlich des Bahnhofs hohe Werte auf, während westlich davon durch den Baumbestand in Bahnhofsvorfeld wesentlich günstigere Verhältnisse vorherrschen.

Generell liegen auf der Südseite von Gebäuden oder in Nord-Süd-Richtung orientierten Straßenzügen durch die mittägliche Sonneneinstrahlung ungünstigere Gegebenheiten vor. In Schwetzingen aber auch in Plankstadt kommt der oft geringe Abstand der Gebäude in engen Straßenschluchten hinzu. Dadurch wird der Austausch von Luft behindert. Auch ein Mangel an straßenbegleitendem Grün führt zu einer Aufheizung und hohen PET-Werten. Solche Straßenräume finden sich verbreitet im Untersuchungsgebiet. Als Beispiel seien der Waldpfad in Plankstadt oder die Karlsruher Straße in Schwetzingen genannt.

Vorteilhaft dagegen wirkt es sich aus, dass in vielen Wohnbereichen auf der straßenabgewandten Seite der Bebauung ausgedehnte grüne Gärten vorhanden sind. Am Beispiel des Waldpfads sieht man den positiven Effekt deutlich. Während im Straßenraum PET Werte bis 50 °C auftreten, sinkt der PET in den Gärten westlich teilweise unter 30 °C.

In Schwetzingen sticht der Schlosspark als ausgedehnte, baumbestandene Naherholungsfläche mit geringen PET-Werten unter 25 °C hervor. Der Effekt der Begrünung zeigt sich in den großen Gegensätzen der PET zwischen den beschatteten Bereichen im Vergleich zu offenen und teils versiegelten Flächen im Park oder am Schlossplatz.

Höhere Belastung befinden sich auch im Bereich einiger sensibler Nutzungen wie Schulen. An der Karl-Friedrich-Schimper-Gemeinschaftsschule in Schwetzingen zeigt sich die noch nicht ausgewachsene Begrünung mit höheren PET-Werten im Bereich des Schulhofs. Auch am Hebel-Gymnasium treten unbegrünte Höfe und Parkierungsflächen hervor.

An der Humboldtschule und dem benachbarten Kindergarten herrscht überwiegend aufgrund des Baumbestands und der Grünflächen eine geringe Wärmebelastung. Eine Ausnahme bildet auch hier der asphaltierte Pausenhof.

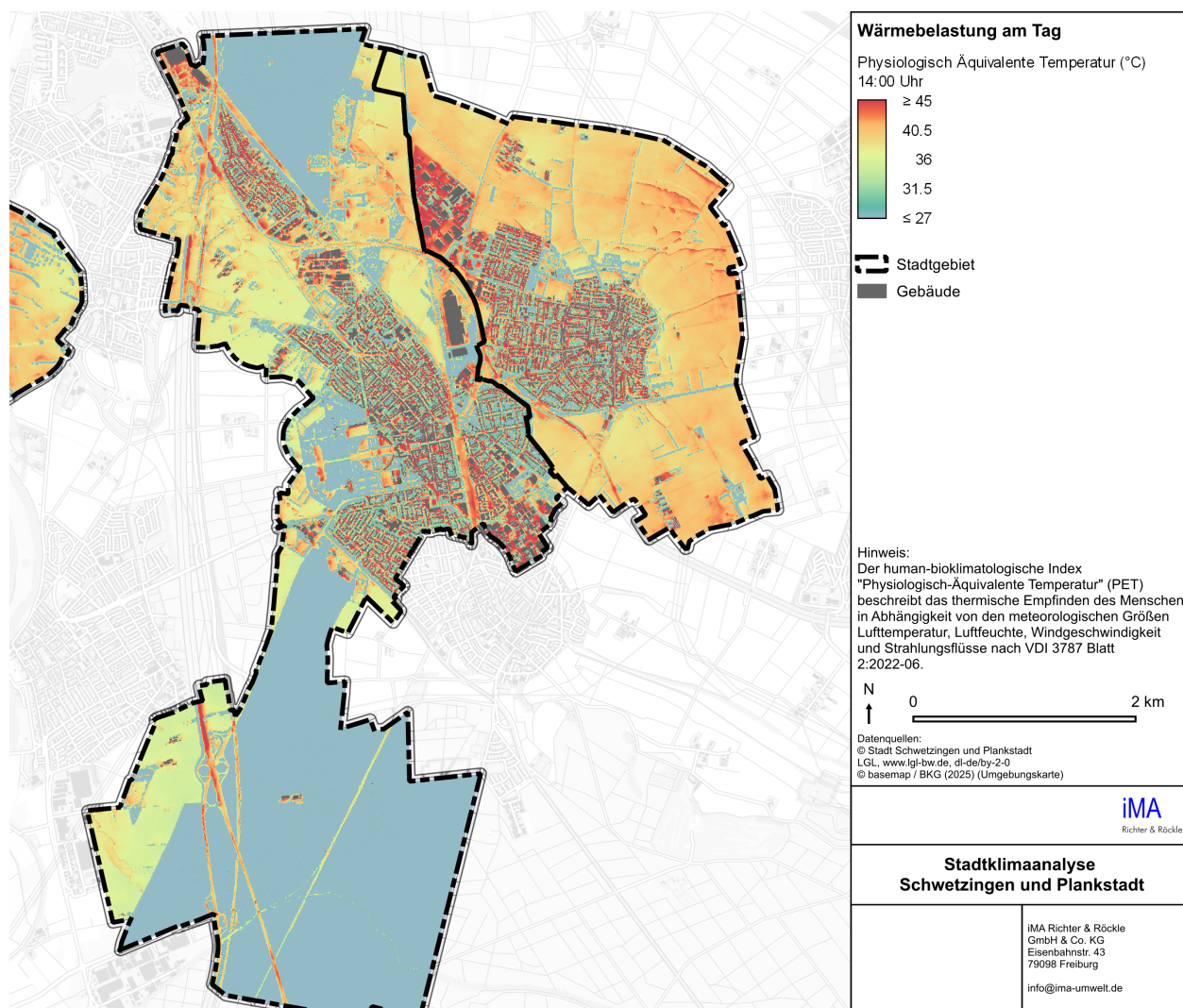


Abbildung 6-8: Räumliche Ausprägung der Physiologisch Äquivalenten Temperatur (PET, in °C) zur Mittagszeit (2 m ü. Grund) in Schwetzingen und Plankstadt.

6.2.2 Urbane Wärmeinsel

Als urbane Wärmeinsel (engl.: „urban heat island“, UHI) wird die Überwärmung des Siedlungsbereichs gegenüber dem Umland bezeichnet. Die UHI ist insbesondere in der frühen Nacht stark ausgeprägt, während sie am Tage nicht oder nur schwach ausgebildet ist. Die Überwärmung des Siedlungsbereichs entsteht durch Unterschiede in der Energieumsetzung der unterschiedlichen Oberflächen zwischen Stadt und Umland. Die überwiegend versiegelten Flächen im Siedlungsgebiet wie Asphaltflächen, gepflasterte Wege und Plätze oder die Bebauung nehmen tagsüber mehr Energie durch die Sonneneinstrahlung auf als Vegetationsflächen. Auch die Wärmespeicherung städtischer Materialien spielt in diesem Zuge eine Rolle. Die gespeicherte Energie wird nach Sonnenuntergang in Form von Wärme an die Atmosphäre abgegeben. Das führt lokal zu höheren Lufttemperaturen im Siedlungsbereich als im Umland.

Neben den unterschiedlichen Oberflächen gibt es weitere Aspekte, die zur Ausprägung der UHI beitragen. Ein zusätzlicher Faktor ist die Abgabe anthropogener Wärme an die Umgebung, d.h. Abwärme aus Kfz-Verkehr, aus Produktionsverfahren oder aus der Innenraumkühlung (Abwärme durch Klimaanlage). Diese Wärme erhöht zusätzlich die Lufttemperatur.

Neben diesen Ursachen ist die Stärke der Horizontüberhöhung (engl.: „sky view factor“, SVF) ein Faktor. Sie gibt den Anteil des sichtbaren Himmelsgewölbes an, der von einer beliebigen Oberfläche aus zu sehen ist. Je mehr Himmelsgewölbe sichtbar ist, desto intensiver kann die nächtliche Ausstrahlung sein. Bei stark eingeschränkter Himmelssicht (geringem SVF) wie in Straßenschluchten oder in verschatteten Bereichen wird weniger Wärme abgestrahlt und es verbleibt mehr Wärme in den bodennahen Luftschichten. Außerdem trägt die verringerte Durchlüftung durch die dichte Bebauung zur Bildung der UHI bei (erwärmte Luft verbleibt im Stadtgebiet). In Tabelle 3-10 sind die Bewertungsstufen aufgeführt.

In Plankstadt ist die UHI in den Abendstunden nur mäßig ausgeprägt und liegt häufig bei unter 2,0 K. Kaltluftströmungen und ein relativ kleines zusammenhängend bebautes Siedlungsgebiet begrenzen die Überwärmung. Im Industrie- und Gewerbegebiet in Plankstadt wird eine Überwärmung von bis zu 3,8 K ermittelt.

In Schwetzingen ist die UHI in den Abendstunden in Teilen der Innenstadt und Nordstadt ausgeprägter und erreicht dort Werte über 4 K (Abbildung 6-9). Im Laufe der Nacht nehmen die Unterschiede zwischen Stadt und Umland ab, die UHI verringert sich dementsprechend um bis zu 1 K in den stark überwärmten Bereichen (Abbildung 6-10).

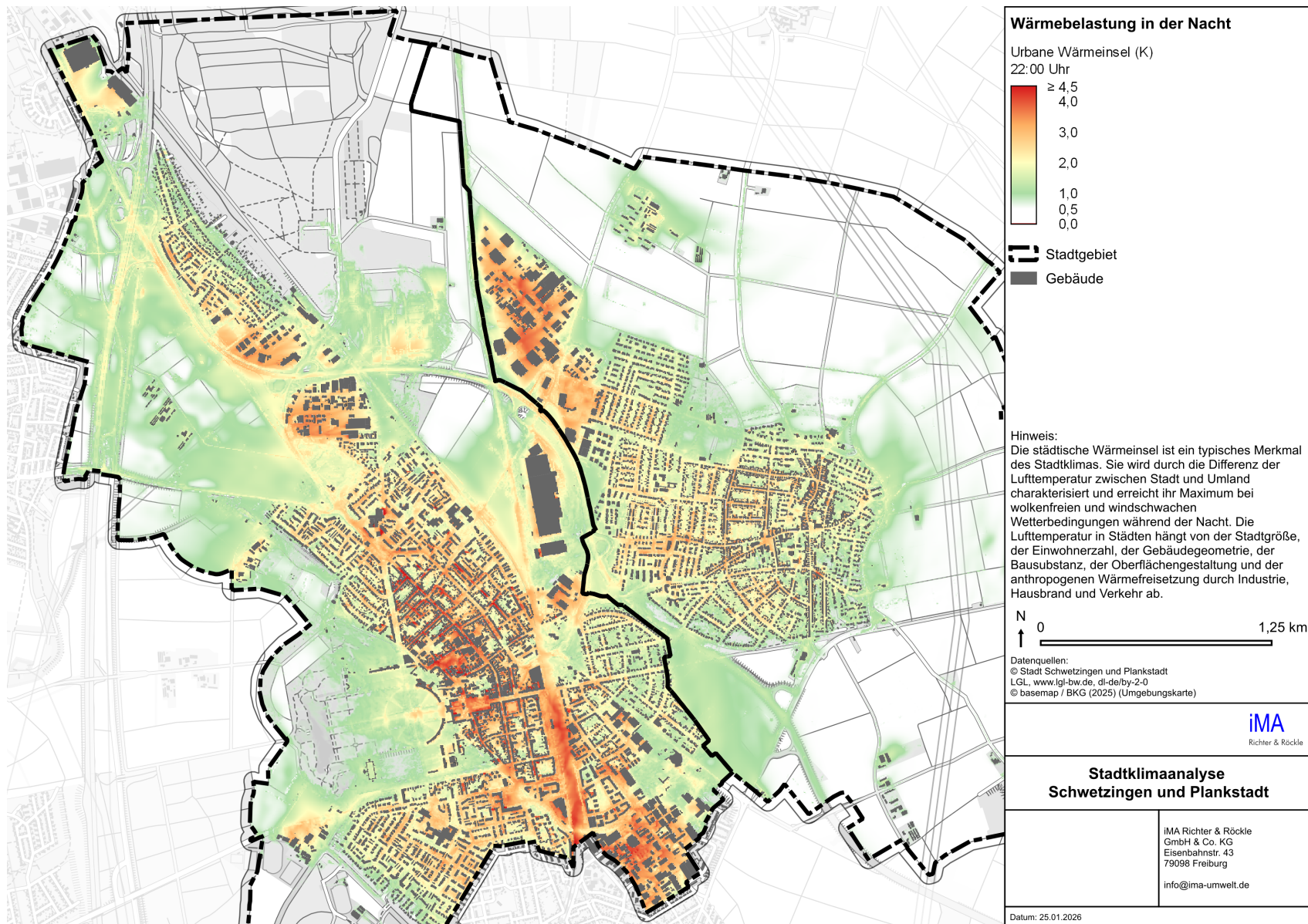


Abbildung 6-9: Räumliche Ausprägung der abendlichen urbanen Wärmeinsel (UHI) in Schwetzingen und Plankstadt.

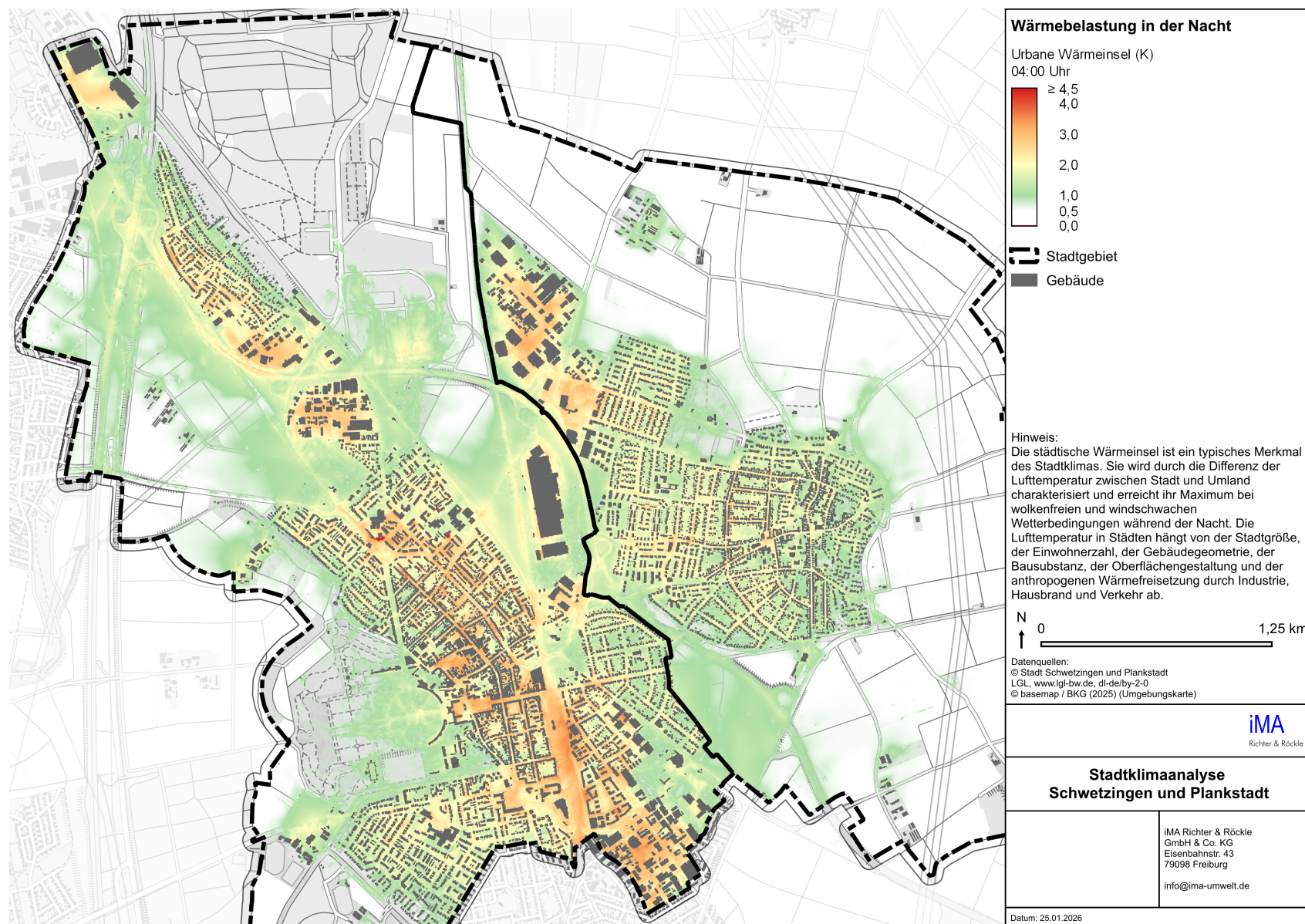


Abbildung 6-10: Räumliche Ausprägung der nächtlichen urbanen Wärmeinsel (UHI) in Schwetzingen und Plankstadt.

Fazit Thermische Verhältnisse

Am Tag treten hohe bis sehr hohe Wärmebelastungen vor allem in den stark versiegelten Gewerbegebieten auf. Bereiche mit fehlender oder nur sehr geringer Verschattung durch Stadtbäume erreichen am Tag sehr hohe PET-Werte. Dazu zählen auch Gewerbegebiete, wie in der Scheffelstraße oder im Jungholz in Plankstadt. Auch in Straßen und auf Plätzen ohne Baumbestand findet sich eine hohe Wärmebelastung, als Beispiel seien der Schlossplatz, der Platz zwischen Kurfürstentube und dem Schloss Schwetzingen, der Marstallhof oder die Karlsruher Straße in Schwetzingen genannt. Auch der versiegelte Bereich um das Rathaus von Plankstadt weist eine hohe Wärmebelastung auf. Neubaugebiete mit noch sehr jungem Baumbestand sind in der Regel ebenfalls wärmebelastet. In engen Straßenzügen wird teils eine geringe Wärmebelastung durch die Abschattung der Gebäude erzielt. Offene Flächen wie Teile des Schlossplatzes, des Marktplatzes im Hirschacker oder Nord-Süd-ausgerichtete Straßen, in die besonders zur Mittagszeit die Sonne hineinscheinen kann, zeigen hingegen sehr hohe thermische Belastungen.

Nachts weisen das Stadtzentrum und die Nordstadt von Schwetzingen eine deutliche Überwärmung (bis über 4,0 K) auf. Auch im Industrie- und Gewerbegebiet in Plankstadt wird eine Überwärmung von bis zu 3,8 K ermittelt. Überwiegend liegt die Überwärmung von Plankstadt häufig bei unter 2 K.

6.3 Stadtgrün und Klimavielfalt

6.3.1 Die verschiedenen Arten des städtischen Grüns

Parkanlagen über Kleingärten, Friedhöfen, den blau-grünen Bändern entlang des Leinbachs, verschattete Spazierwege, Straßengrün oder Fassaden- und Dachbegrünung, bis hin zu Privatgärten werden als „städtisches Grün“ bezeichnet (BMUB (2015) S. 23 ff.). Diese blau-grüne Infrastruktur erfüllt viele Funktionen. Sie dient

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

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

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

Auf Grünflächen mit einer Größe von mehr als 0,5 ha kann sich an heißen Sommertagen ein eigenes Kleinklima ausbilden. Ihr Erholungswert und ihre Aufenthaltsqualität können einen Beitrag zur Entlastung an heißen Sommertagen leisten.

Die in Schwetzingen und Plankstadt anzutreffenden Flächen mit Stadtgrün lassen sich wie folgt gliedern:

Parkanlagen

Beispiel:

- Schlossgarten Schwetzingen

Der Schlossgarten als große Parkanlage in Schwetzingen mit einer Fläche von ca. 72 ha bietet einen großen innerstädtischen Erholungsraum für Anwohner und Touristen. Er ist von stadtweiter Bedeutung und für die Erholung und Regeneration während Hitzeperioden besonders wichtig. In Abhängigkeit der Gestaltung und Beschaffenheit der Flächen wirken sie aufgrund ihrer Größe klimatisch günstig auf die angrenzenden Siedlungsbereiche.



Luftbild: Schlosspark (Datenquelle: LGL, www.lgl-bw.de, dl-de/by-2-0)

Blau-grüne-Bänder entlang von Gewässer, kleine Park- und Grünanlagen, Spazierwege

Beispiele:

- Castelau Le-Lez-Park, Plankstadt
- Park der Freundschaft, Schwetzingen

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



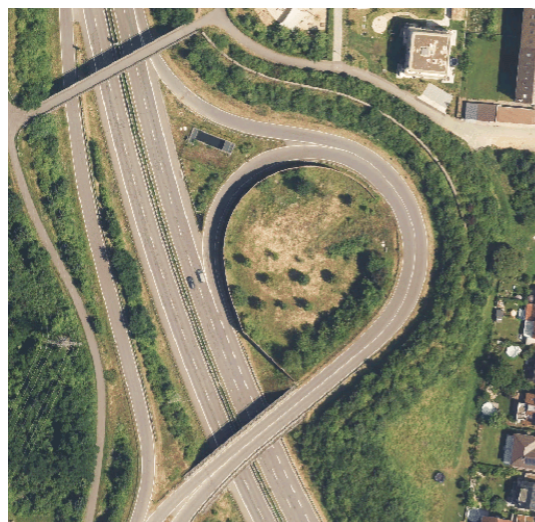
Luftbild: Le-Lez-Park (Datenquelle: LGL, www.lgl-bw.de, dl-de/by-2-0)

Verkehrsbegleitgrün

Beispiele:

- Trasse der B535
- K4147
- Bahnstrecke bei Hirschacker

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



Luftbild: B535 (Datenquelle: LGL, www.lgl-bw.de, dl-de/by-2-0)

Friedhöfe

Beispiele:

- Friedhof Schwetzingen
- Friedhof Plankstadt

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 mit einem Fokus auf Biodiversität als kühle Orten mit Baumbestand entwickelt werden.



Luftbild: Friedhof Schwetzingen (Datenquelle: LGL, www.lgl-bw.de, dl-de/by-2-0)

Außenanlagen an öffentlichen Gebäuden

Beispiele:

- Humboldtschule Plankstadt
- Kurt Waibel Schule, Schwetzingen

Grün- und Freiflächen an öffentlichen Gebäuden, vor allem an Schulen und Kindergärten bzw. Kindertagesstätten, bieten über das gesamte Stadtgebiet verteilte Freiräume. Sie sind heute teilweise bereits wertvolle Grünflächen mit alten Baumbeständen und als solche stadtklimatisch und ökologisch von hoher Bedeutung. Sie sind jedoch häufig nicht oder nur eingeschränkt öffentlich zugänglich.



Luftbild: Humboldtschule (Datenquelle: LGL, www.lgl-bw.de, dl-de/by-2-0)

Freibäder und Badeplätze

Beispiele:

- bellamar Schwetzingen

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



Luftbild: bellamar (Datenquelle: LGL, www.lgl-bw.de, dl-de/by-2-0)

Spielplätze

Beispiele:

- Freizeitgelände alla hopp!, Schwetzingen
- Spielplatz Schönauer Straße, Plankstadt
- Spielplatz Antoniusweg, Plankstadt
- Spielplatz Sternallee, Schwetzingen

Für Familien sind Kinderspielplätze besonders wichtige städtische Freiflächen, welche klimatische, ökologische und erholungsrelevante Funktionen übernehmen können. Auf ausreichende Verschattung und Verfügbarkeit von Aufenthaltsbereichen und Spielzonen ist zu achten.



Luftbild: Freizeitgelände alla hopp! (Datenquelle: LGL, www.lgl-bw.de, dl-de/by-2-0)

Sportflächen

Beispiele:

- Sportanlagen Turnverein, Schwetzingen
- Sportanlagen TSG Eintracht, Plankstadt

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



Luftbild: Freizeitgelände alla hopp! (Datenquelle: LGL, www.lgl-bw.de, dl-de/by-2-0)

Kleingartenanlagen

Beispiele:

- Kleingartenanlage Plankstadt
- Kleingärtnerverein Schwetzingen

Gartenkleinanlagen können der Öffentlichkeit als Naherholungsgrünflächen dienen, auch indem z.B. Gemeinschaftsgärten ermöglicht werden. Meist sind sie nur eingeschränkt zugänglich.



Luftbild: Kleingartenanlage (Datenquelle: LGL, www.lgl-bw.de, dl-de/by-2-0)

Naherholungsgebiete/ stadtnahe Wälder

Neben den innerstädtischen Grünanlagen dienen auch die stadtnahen Wälder als Erholungsgebiete für die Stadtbevölkerung (Ferrini, Konijnendijk & Fini (2019)). Beispiele hierfür sind die Waldflächen Hirschacker/Dossenwald und die Schwetzingener Hardt.

Private Grün- und Freiflächen

Durch eine natur- und artenfreundliche Gestaltung privater Grünflächen kann jeder einen Beitrag zur Reduktion der thermischen Belastung des unmittelbaren Wohnumfeldes leisten und die natürliche Lebensgrundlage stärken. Insbesondere alte, aber vitale Baumbestände sollten sowohl auf öffentlichen als auch auf privaten Grundstücken geschützt werden.

Schottergärten sind kontraproduktiv. Sie heizen sich wie versiegelte Flächen tagsüber stark auf und geben die Wärme abends wieder an die Umgebung ab, tragen somit zu einer höheren nächtlichen Lufttemperatur und einem stärkeren urbanen Wärmeinseleffekt bei. Gleichzeitig ist die Biodiversität von Schottergärten stark reduziert. Deshalb sind Schottergärten in Baden-Württemberg verboten (§ 9 Abs. 1 S. 1 LBO BW).

Grundstücke mit einem großen Gartenanteil (und Baumbestand) bieten ihren Bewohnern in der Regel eine gute Erholungsmöglichkeit, sodass in Stadtbezirken mit hohem privatem Grünanteil nur ein geringer Bedarf an zusätzlichem Stadtgrün anzunehmen ist. Dies wurde in der Analyse der Klimavielfalt berücksichtigt, indem Flurstücke mit über 100 m² private Frei- und Grünfläche je Einwohnerin oder Einwohner entsprechend gegenzeichnet wurde.

6.3.2 Analyse der Klimavielfalt

In Abbildung 6-11 ist der Bestand an öffentlich zugänglichen Grün- und Freiflächen, sowie die Erreichbarkeit dieser Grünflächen auf dem Wegenetz für Fußgänger in Schwetzingen und Plankstadt abgebildet. Dabei wurden auch die Barrieren berücksichtigt. Größere Barrieren bilden in Schwetzingen die Bahnlinie, sowie die Bundesstraße 535. Auch Industrie- und Gewerbegebiete stellen für die Bevölkerung ein Hindernis dar, da die Fußwege oft nicht abgeschattet sind und die Durchquerung somit mit einer hohen Wärmebelastung verbunden ist. Sind Grünflächen nicht frei zugänglich, so wurden diese nicht in der Analyse berücksichtigt. In Schwetzingen sind dies der Schlossgarten und das in der Oststadt gelegene Schwimmbad.

Basierend auf der berechneten Erreichbarkeit kann die Bevölkerung entsprechend eingeteilt werden. Die folgenden Zahlen beziehen sich separat auf Schwetzingen und Plankstadt. Die Bevölkerungszahlen beinhalten die zukünftige Entwicklung der berücksichtigten Bebauungspläne. Privates Grün wurde für diese statistische Auswertung nicht berücksichtigt.

Insgesamt sind Schwetzingen und Plankstadt gut mit Grünflächen versorgt. Eine erschwerte Erreichbarkeit von öffentlich zugänglichen Grünflächen ergeben sich in der Oststadt und im Hirschacker. Auch im südlichen Teil von Plankstadt hat die Bevölkerung teilweise Wegstrecken von über 500 m zurückzulegen, um zur nächsten öffentlich zugänglichen Freifläche zu gelangen. Im Zentrum der Nordstadt muss die Bevölkerung teilweise eine mittlere Distanz von 300 m bis 500 m zurücklegen.

In Schwetzingen können 17.831 Einwohner (77 % der Gesamtbevölkerung) eine Grünfläche in unter 300 m erreichen, weitere 4.563 Einwohner (20 % der Gesamtbevölkerung) haben eine Wegstrecke zwischen 300 und 500 m bis zur nächstgelegenen Grünfläche. 781 Einwohner (3 % der Gesamtbevölkerung) müssen mehr als 500 m bis zur nächstgelegenen Grünfläche zurücklegen.

In Plankstadt erreichen 9.323 Einwohner (81 % der Gesamtbevölkerung) eine Grünfläche in unter 300 m, weitere 1.870 Einwohner (16 % der Gesamtbevölkerung) haben eine Wegstrecke zwischen

300 und 500 m bis zur nächstgelegenen Grünfläche. 380 Einwohner (3 % der Gesamtbevölkerung) müssen mehr als 500 m zurücklegen.

Grün- und Freiflächen dienen als klimatische Ausgleichsräume und haben somit eine wichtige klimatische Funktion innerhalb der Stadt inne. Mit Blick auf den anthropogenen Klimawandel sind der Erhalt und die Weiterentwicklung ihrer Funktionalität auch in Zukunft wichtige Aspekte.

Fazit Klimavielfalt

Grün- und Freiflächen übernehmen eine wichtige Rolle als klimatische Ausgleichsräume innerhalb des Siedlungsgefüges. Vor dem Hintergrund des anthropogenen Klimawandels sind sowohl ihr Erhalt als auch die gezielte Weiterentwicklung ihrer klimatischen Funktionen von hoher Relevanz.

Eine erschwerte Erreichbarkeit von öffentlich zugänglichen Grünflächen ergibt sich in Teilen der Oststadt, im Hirschacker und im südlichen Teil von Plankstadt. Hier hat die Bevölkerung Wegstrecken von über 500 m zurückzulegen, um zur nächsten öffentlich zugänglichen Freifläche zu gelangen.

Bei Nachverdichtung erhöht sich der Bedarf an städtischen Grünflächen, da sich die privaten Frei- und Grünräumen auf den Grundstücken reduzieren, sodass die Bevölkerung auf öffentliche Grünflächen angewiesen ist.

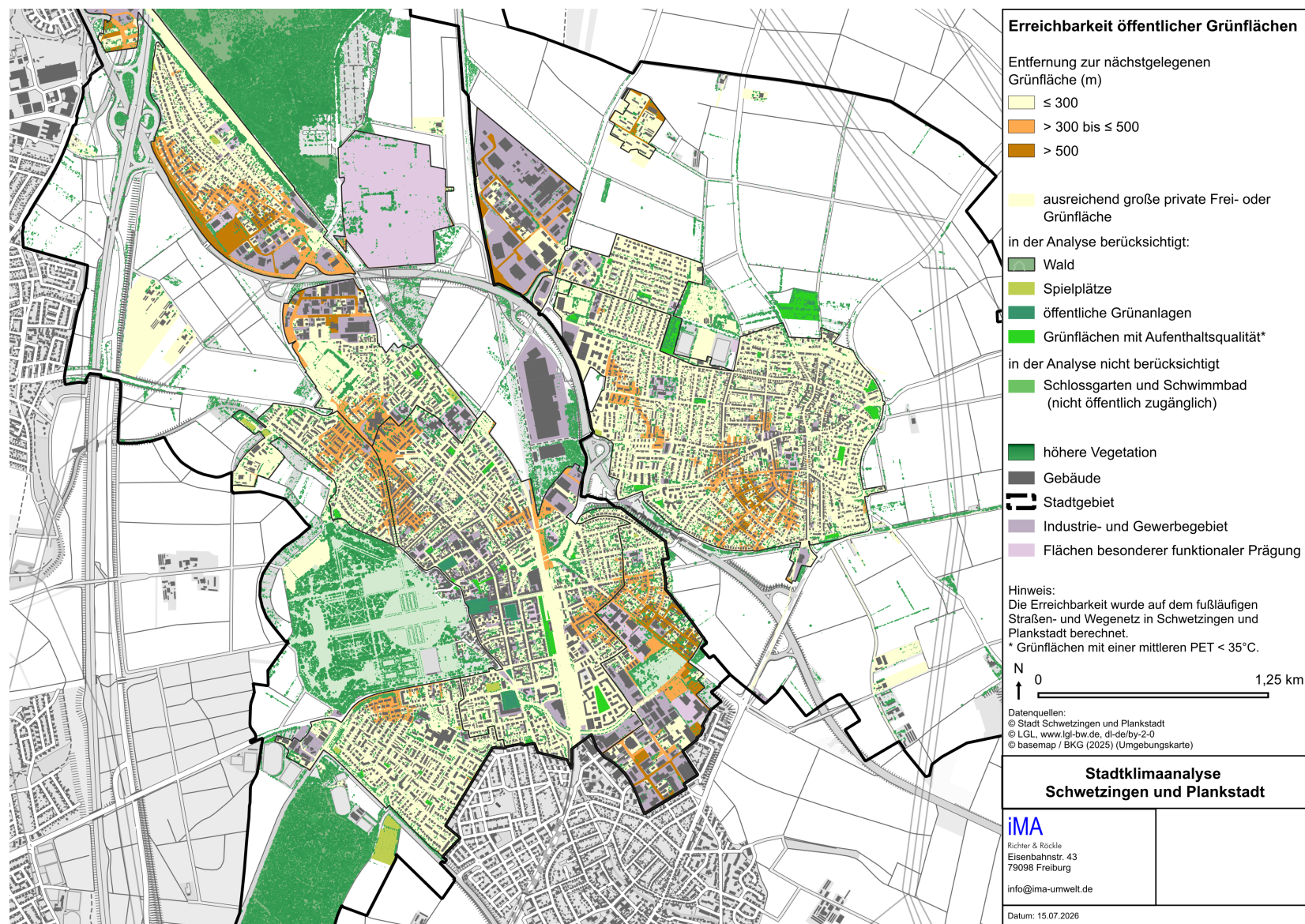


Abbildung 6-11: Versorgung der Siedlungsräume mit öffentlich zugänglichen Grünflächen mit Erholungswert und Aufenthaltsqualität (Flächen ohne Hitze-stress) unter Berücksichtigung von privaten Gartenanlagen.

6.4 Thermische Empfindlichkeit

Die Vulnerabilität der Kommunen Schwetzingen und Plankstadt ergibt sich aus der Anpassungsfähigkeit, der Empfindlichkeit gegenüber klimatischen Änderungen sowie der Exposition. Die Empfindlichkeit gegenüber Hitzewellen und städtischer Überwärmung steigt mit der Einwohnerdichte und ist besonders bei Einrichtungen, welche eine Vielzahl an Personen beherbergen, welche sensibel auf Hitze reagieren, signifikant. Sind viele Menschen gegenüber eines Extremereignisses exponiert, so steigt die Empfindlichkeit sowie auch die Vulnerabilität. In Stadtteilen mit hohen Einwohnerdichten gibt es bei einer Hitzewelle automatisch mehr Betroffene und mehr Personen, die einer Risikogruppe zugehörig sind. In Stadtquartieren mit hoher Bevölkerungsdichte gibt es aber auch strukturelle Nachteile. Diese können schlechtere Wohnverhältnisse (schlecht Isoliert, fehlende Klimatisierung, Verschattung der Wohnungen), weniger Grün, mehr Versiegelung sowie ein niedriger sozialer Status sein.

Zur Ermittlung der Empfindlichkeit wird die Bevölkerungsdichte auf Basis der Flurstücke berechnet und klassifiziert. Die Methodik zur Bewertung der Empfindlichkeit wurde an die Bevölkerungsverteilung der beiden Kommunen angepasst und ist in Kapitel 3.2.4 (Seite 31) näher beschrieben. Abbildung 6-12 zeigt die Verteilung der thermischen Empfindlichkeit in den Siedlungsbereichen.

In Plankstadt ist die Bevölkerungsdichte heterogen über die Gemeindeflächen verteilt. Einzelne Mehrfamilienhäuser erreichen die höchste Stufe der Empfindlichkeit, es gibt aber keine größeren zusammenhängenden sensiblen Bereiche.

In Schwetzingen sind größere zusammenhängende Bereiche der Innenstadt und der Nordstadt als empfindlich einzustufen. Des Weiteren die in der Entwicklung befindlichen Schwetzingener Höfe im Südosten oder der Bereich nördlich der Walter-Rathenau-Straße.

Besonders alte oder kranke Personen reagieren empfindlich auf Hitzestress und weisen dementsprechend hohe Mortalitäts- und Morbiditätsraten* während Hitzewellen auf (Grize et al. (2005); Robine et al. (2008)). Babys und Kleinkinder reagieren empfindlicher auf Hitzestress als Erwachsene. Daher werden neben der Bevölkerungsdichte auch hitzesensible Nutzungsstrukturen in die Bestimmung der thermischen Empfindlichkeit einbezogen. Zu diesen Einrichtungen zählen Krankenhäuser, Pflegeeinrichtungen, Seniorenheime, Pflege-Wohngemeinschaften sowie Kindertagesstätten und Schulen.

Bei der späteren Betrachtung der thermischen Betroffenheit wird zwischen der Situation am Tag und in der Nacht unterschieden. Da Schulen und Kindertagesstätten in der Regel in der Nacht nicht genutzt werden, wurden diese Einrichtungen zur Bestimmung der thermischen Empfindlichkeit in den Nachtstunden nicht berücksichtigt.

Auch der soziale Status der Bevölkerung und der Anteil der Bevölkerung unter 6 Jahren und über 65 Jahren haben einen Einfluss auf die Verwundbarkeit der Bevölkerung gegenüber Hitzebelastung (López-Bueno et al. (2020), (2025)).

López-Bueno et al. (2020) haben in ihrer Studie herausgefunden, dass die Sterblichkeitsrate während Hitzewellen neben dem Vorhandensein von Klimaanlage vor allem vom Anteil der Bevölkerung über 65 Jahre und dem Einkommensniveau der Bevölkerung abhängt. Gründe für die stärkere Hitzebelastung in armen Haushalten sind u.a.

- ihre Wohnsituation, da die Wohnungen schlechter isoliert, ohne Verschattungsmöglichkeiten oder Klimaanlage sind (finanzielle Mittel für Sanierungsmaßnahmen fehlen);
- die Viertel sind häufig vergleichsweise stärker versiegelt und schlechter durchgrünt (eingeschränkter Zugang zu kühlen Orten mit Aufenthaltsqualität an heißen Sommertagen);
- Menschen mit geringem Einkommen sind häufiger vorerkrankt und dadurch anfälliger gegenüber Hitzebelastung;
- durch körperlich anstrengende Berufe oder Tätigkeiten im Freien (z.B. im Bauwesen, Straßenbau) und dadurch erhöhte berufliche Exposition.

Deswegen sind Klimaanpassungsmaßnahmen und ein Angebot kühler Räumlichkeiten und Flächen, aber auch Hitzeaktionspläne mit Fokus auf besonders vulnerable Stadtteile von besonderer Bedeutung um Mortalität und Morbidität zu reduzieren (Ebi et al. (2021); Reid et al. (2009)).

Aufgrund der Gentrifizierung und des demografischen Wandels werden soziodemographische Faktoren nicht in die Bewertung der Thermischen Empfindlichkeit und Betroffenheit aufgenommen.

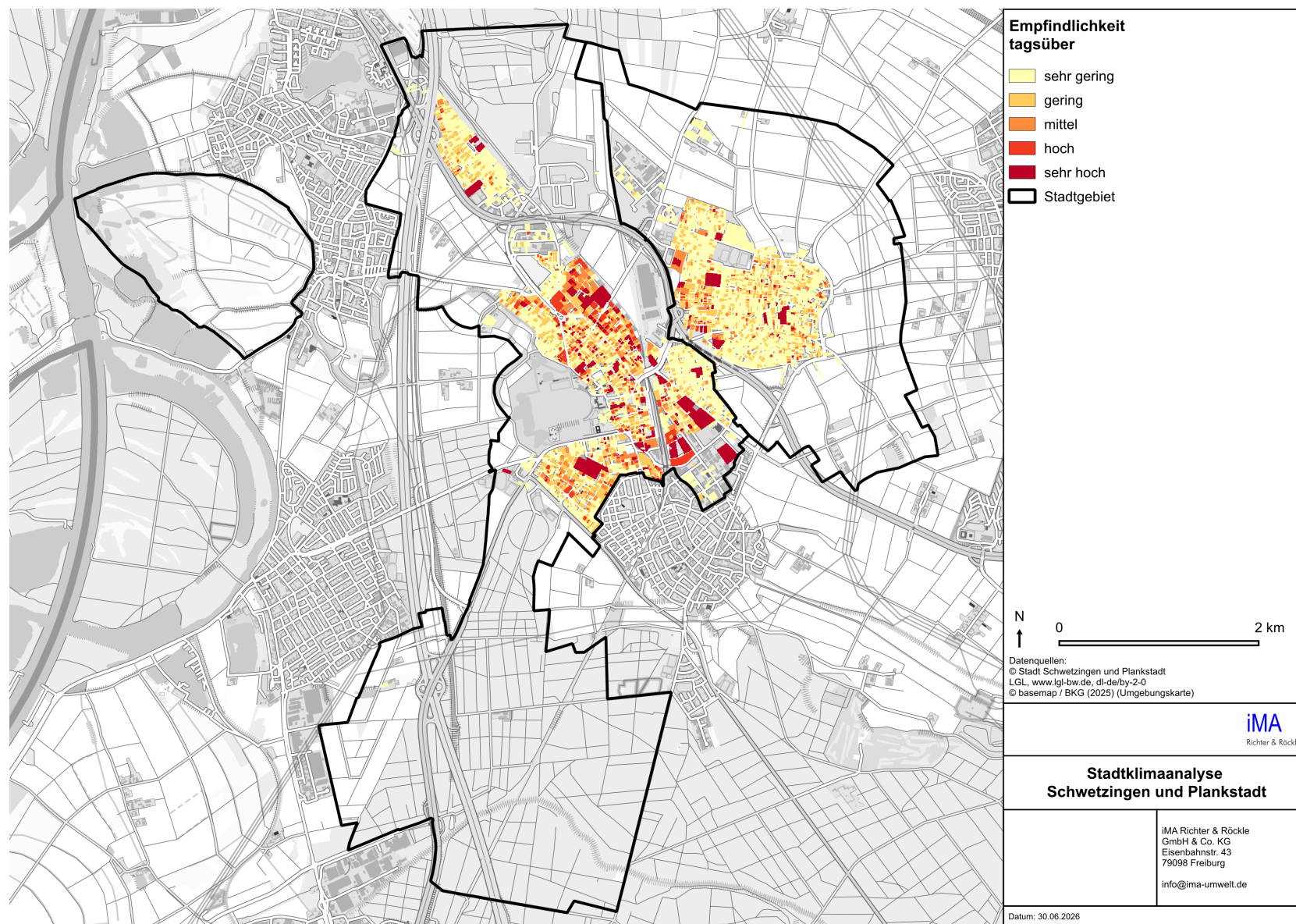


Abbildung 6-12: Verteilung der thermischen Empfindlichkeit tagsüber, basierend auf der Bevölkerungsdichte, und der hitzesensiblen Nutzungen in Schwetzingen und Plankstadt.

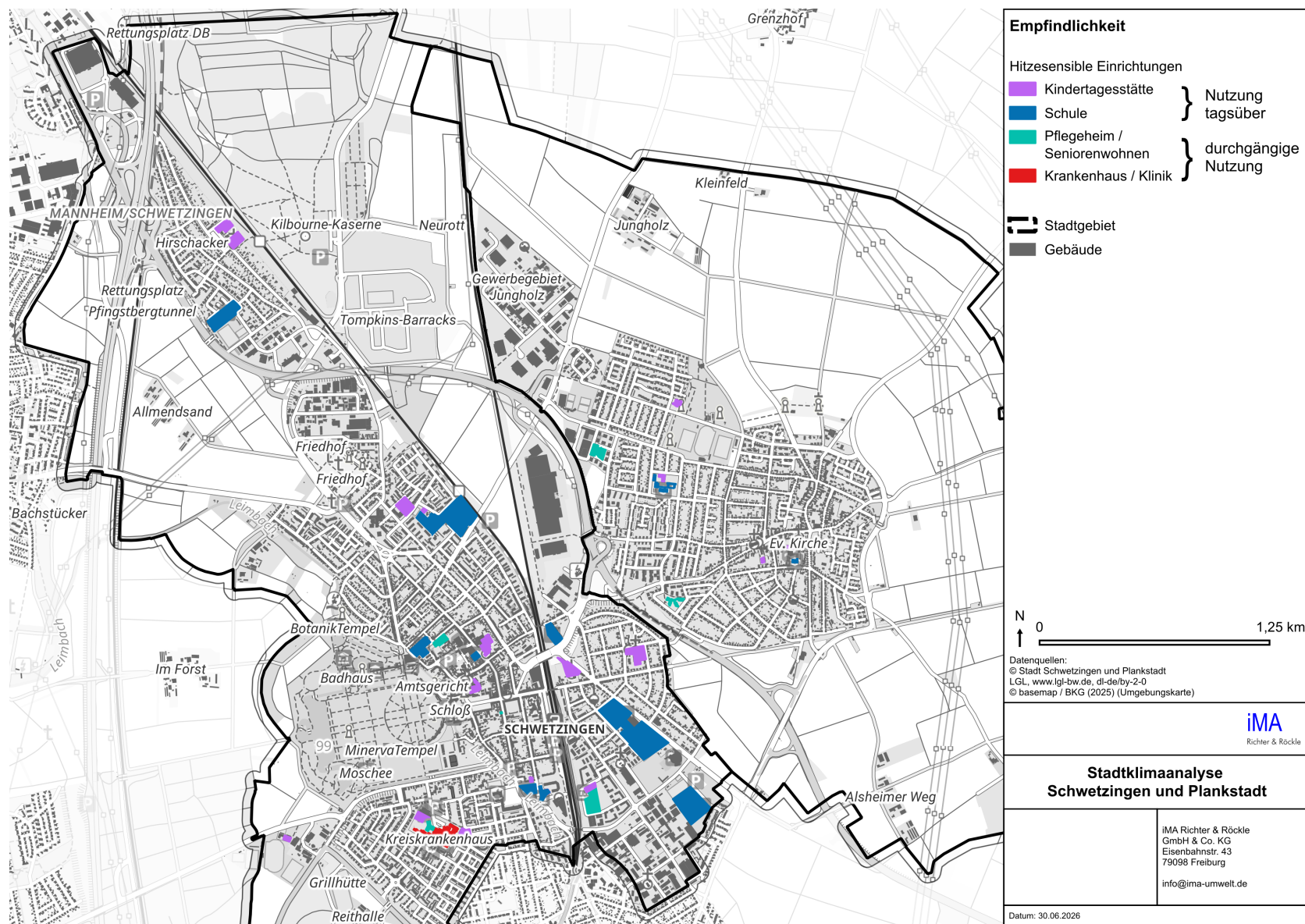


Abbildung 6-13: Verteilung der hitzesensiblen Einrichtungen in Schwetzingen und Plankstadt.

6.5 Thermische Belastung

Die thermische Belastung wird auf Grundlage der human-biometeorologischen Belastung im Stadtgebiet bestimmt. Da sich die Belastungssituation am Tag und in der Nacht stark unterscheiden können, werden diese Zeitpunkte getrennt voneinander betrachtet. Am Tag bestimmt sich die thermische Belastung über die Verteilung der Hitzebelastung, d.h. über die PET (siehe Kapitel 6.2.1).

Nachts bestimmt sich die thermische Belastung über die nächtliche Überwärmung (UHI) des Stadtgebiets (siehe Kapitel 6.2.2). Details zur Berechnung der thermischen Belastung sind im Kapitel 3.2.5 (Seite 31) aufgeführt.

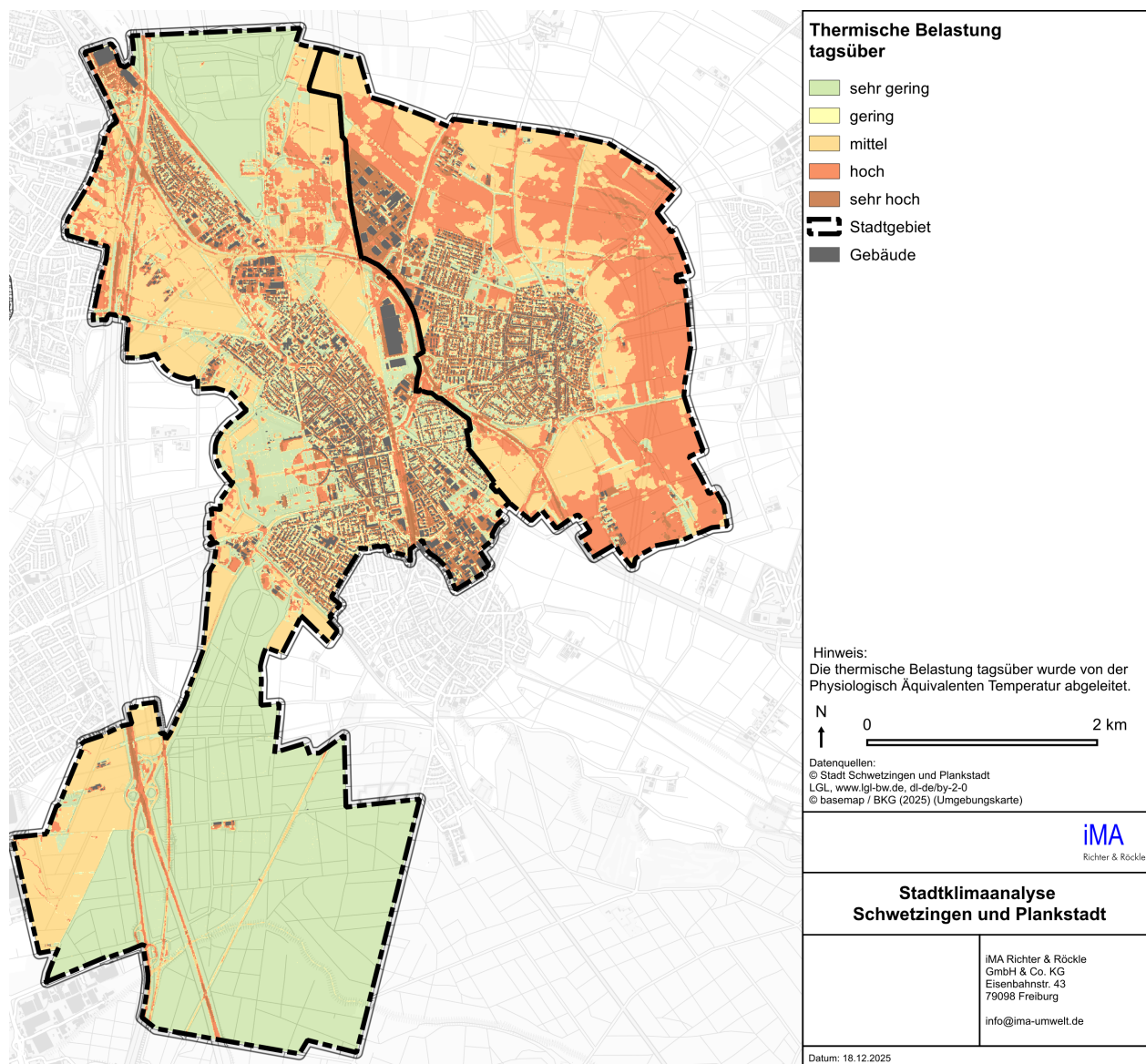


Abbildung 6-14: Räumliche Ausprägung der thermischen Belastung tagsüber in Schwetzingen und Plankstadt, basierend auf der Physiologisch Äquivalenten Temperatur.

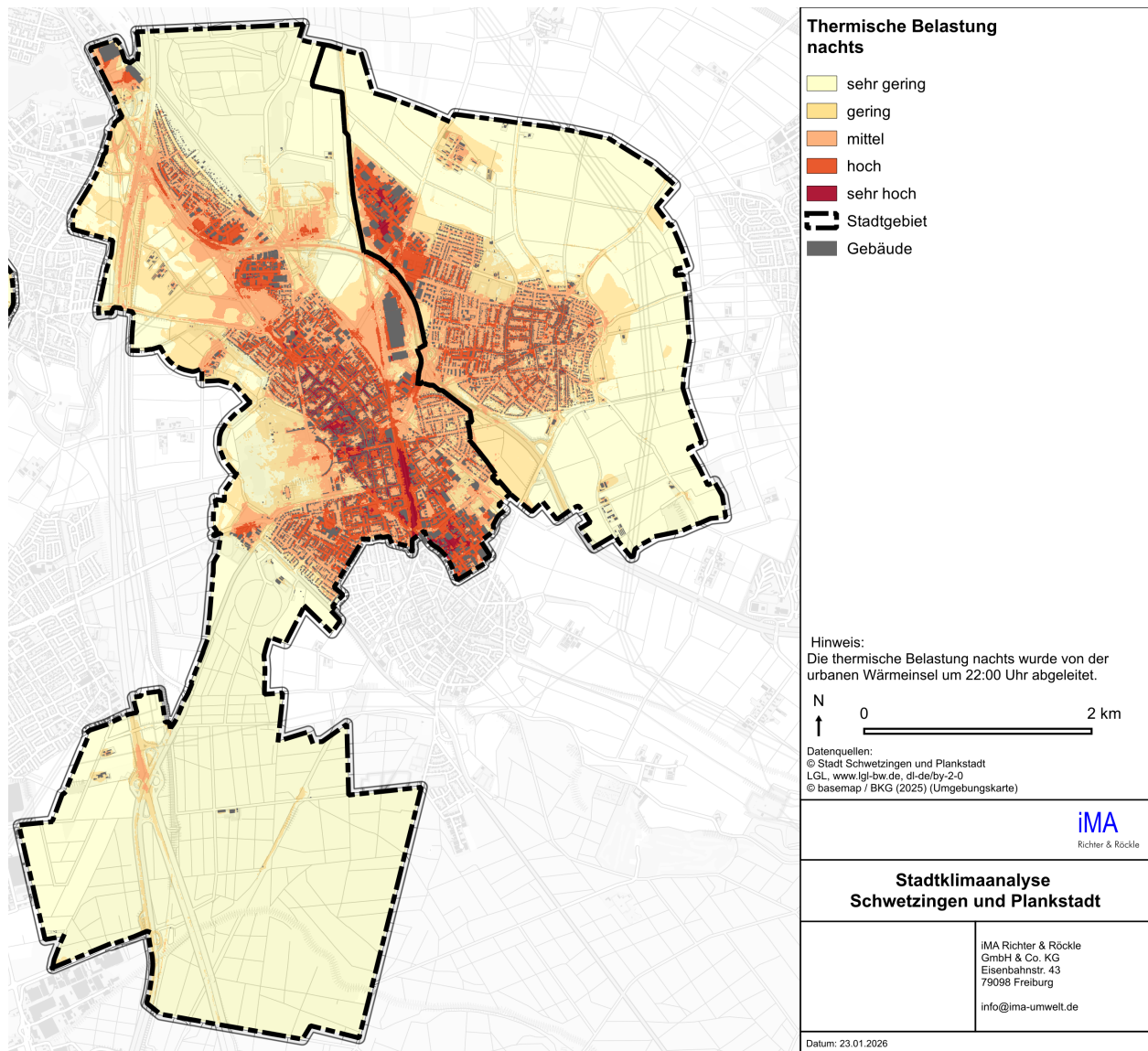


Abbildung 6-15: Räumliche Ausprägung der thermischen Belastung nachts in Schwetzingen und Plankstadt, basierend auf den Unterschieden der Lufttemperatur der Urbanen Wärmeinsel.

Am Tag wird auf den Freiflächen außerhalb der Siedlungsbereiche wie östlich von Plankstadt großflächig eine mittlere thermische Belastung erreicht (Abbildung 7 9). Dies hängt damit zusammen, dass sich die thermische Belastung am Tag überwiegend aus der Besonnung bzw. Verschattung ergibt. Größere Ackerflächen weisen zwar keine Versiegelung auf, hohe schattenspendende Vegetation ist allerdings größtenteils auch nicht vorhanden.

Neben den Gewerbegebieten finden sich auch in den Straßenräumen weiter Teile beider Gemeinden hohe thermische Belastungen. Die geringen Abstände sorgen für eine starke Abschattung der schmalen Straßen. Auch an der Karl-Friedrich-Schimper-Gemeinschaftsschule und dem Hebel-Gymnasium finden sich hohe Belastungswerte.

Die geringste thermische Belastung wird in den Schattenzonen der umliegenden Waldflächen erreicht oder in den stark durchgrüneten Parkanlagen des Schlossgartens.

In der Nacht ergibt sich die thermische Belastung, dargestellt in Abbildung 6-15, aus der urbanen Wärmeinsel. Nachts konzentriert sich die hohe Belastung v.a. im Bereich der Innenstadt und Nordstadt von Schwetzingen. Außerhalb des Stadtzentrums tritt eine hohe Belastung zudem in den Gewerbegebieten auf, während die Stadtteile wie z.B. die östlichen Teile der Oststadt deutlich niedrigere Belastungen zeigen. In Plankstadt sind vorwiegend enge Straßenräume in Zentrum sowie im Westen betroffen. Die Randbereiche sind häufig nur mittel oder gering thermisch belastet.

6.6 Thermische Betroffenheit

Die thermische Betroffenheit (auch Vulnerabilität) zeigt, wie stark die jeweilige Bevölkerung durch die Wärmebelastung tagsüber (Abbildung 6-16) und nachts (Abbildung 6-17) belastet ist.

Als Grundlage der thermischen Betroffenheit dienen die thermische Empfindlichkeit (s. Kapitel 6.4), die thermische Belastung (s. Kapitel 6.5). Details zur Berechnung der thermischen Betroffenheit sind im Kapitel 3.2.5 (Seite 31) aufgeführt.

Durch die hohe Heterogenität der thermischen Belastung am Tag zeigt auch die thermische Betroffenheit ein stark heterogenes Bild (Abbildung 6-16).

Hohe Werte finden sich vermehrt u.a. in der Oststadt von Schwetzingen, aber auch in westlichen Teilen von Plankstadt. Hier sticht z.B. das Neubaugebiet Westend hervor, welches noch keinen großkronigen Baumbestand aufweist.

Daneben treten besonders die großen Bereiche mit sensibler Nutzung in Schwetzingen und Plankstadt hervor. Die Bereiche der Klinik zeigen durch die hohe Empfindlichkeit und die teils größeren versiegelten Parkplätze nördlich der Klinik eine hohe thermische Betroffenheit. Aber auch im Bereich des Caritas-Pflegeheims in Plankstadt ist die Betroffenheit hoch, da die Empfindlichkeit entsprechend hoch ist.

In der Nacht ist die nächtliche urbane Wärmeinsel ausschlaggebend für die thermische Betroffenheit (Abbildung 6-17). Hiervon sind überwiegend die Menschen in der Kernstadt, den westlichen Teilen der Oststadt und im nördlichen Teil der Südstadt betroffen.

In Plankstadt ist der südliche und östliche Ortsrand begünstigt. Die Betroffenheit nimmt gegen Westen eher zu.

Durch die hohe thermische Empfindlichkeit der sensiblen Nutzungen (Kliniken, Pflegeheime), treten diese in der thermischen Betroffenheit ebenfalls deutlich hervor, insbesondere die Klinik in Schwetzingen sowie z.B. das Caritas-Pflegeheime in Plankstadt. Schulen und Kindertagesstätten werden in der Regel nachts nicht genutzt und sind daher bei der nächtlichen thermischen Betroffenheit nicht berücksichtigt worden.

Der östliche Teil der Oststadt und die südlichen Ortsränder zeigen eine überwiegend sehr geringe thermische Betroffenheit, was zum einen mit der geringen thermischen Belastung zusammenhängt (geringe UHI) aber auch durch die überwiegend geringe Empfindlichkeit (geringe Bevölkerungsdichte) bedingt ist.

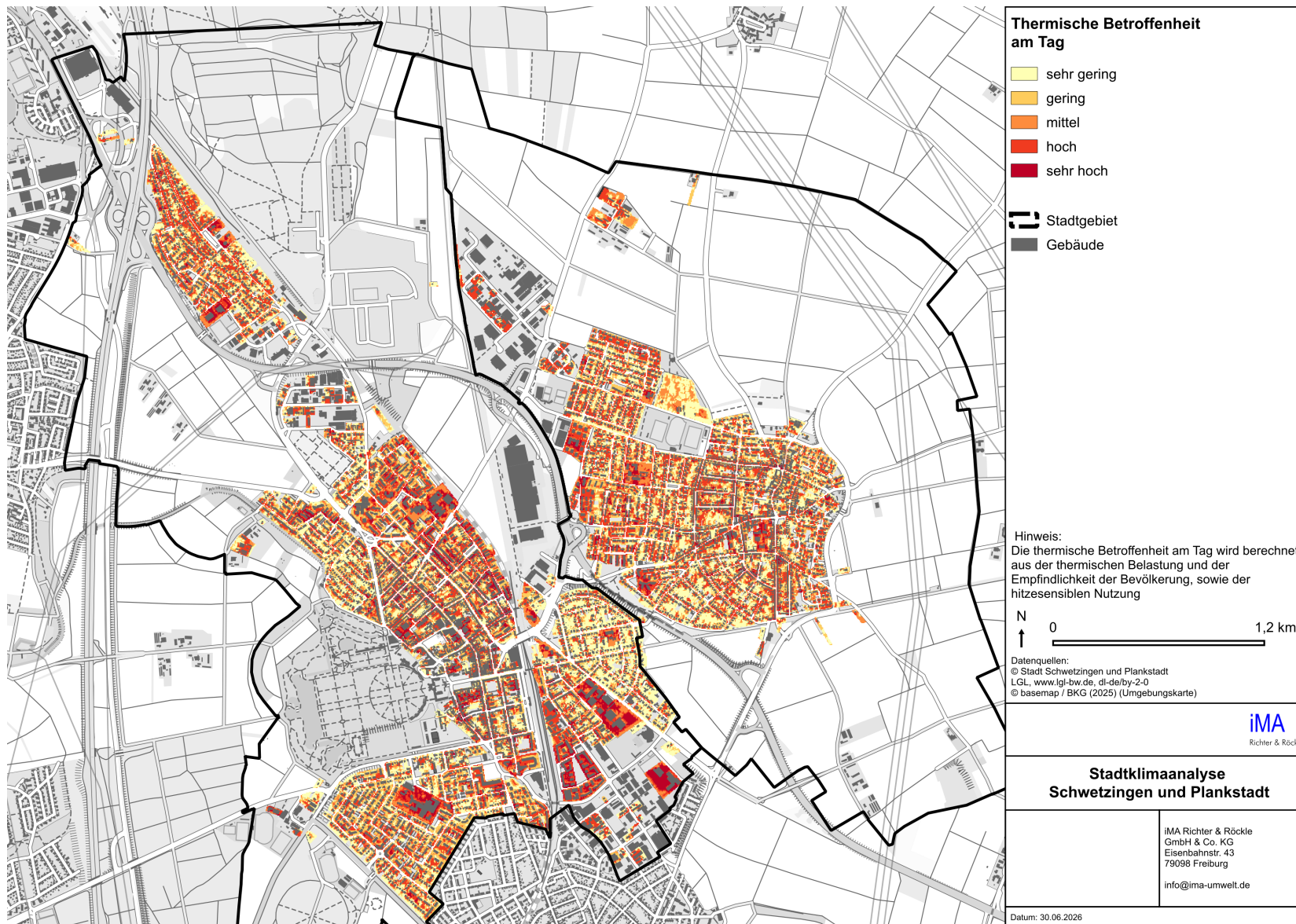


Abbildung 6-16: Räumliche Ausprägung der thermischen Betroffenheit (Vulnerabilität) am Tag, basierend auf der thermischen Belastung für den Tag und der Empfindlichkeit.

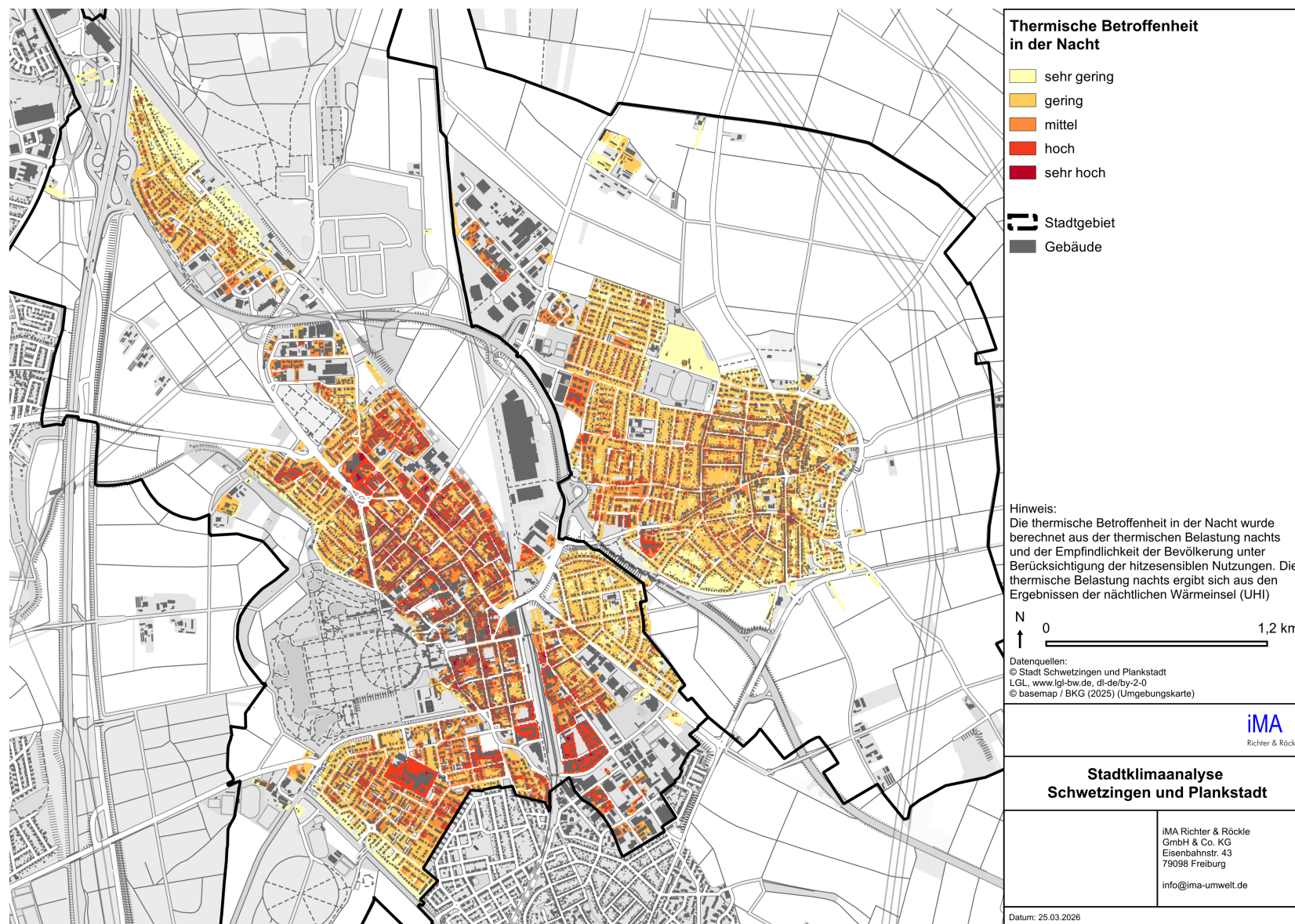


Abbildung 6-17: Räumliche Ausprägung der thermischen Betroffenheit (Vulnerabilität) in der Nacht, basierend auf der thermischen Belastung für die Nacht und der Empfindlichkeit.

6.7 Hotspot-Analyse

Aus der bewerteten thermischen Belastung lassen sich die Hotspot-Bereiche mit der höchsten Belastung tagsüber (Abbildung 6-18) und nachts (Abbildung 6-19) räumlich identifizieren.

Tagsüber finden sich in Plankstadt Hotspot-Bereiche sehr lokal im Bereich verschiedener Straßenräume. Im Zentrum wird der Bereich um das Rathaus identifiziert. Im westlichen Gemeindegebiet treten vor allem die Gewerbeflächen als Hotspots hervor.

Auch in Schwetzingen fallen häufig Gewerbeflächen mit hohem Versiegelungsgrad und geringer Begrünung als ausgedehnte Hotspots auf. In Wohngebieten sind sie seltener und nur lokal, aber auch hier oft verknüpft mit hoher Versiegelung wie in der Innenstadt, z.B. in der Karlsruher Straße. Nachts konzentrieren sich die Hotspots auf die Schwetzinger Kernstadt und die westliche Oststadt. Weiter werden im Industrie- und Gewerbegebiet von Plankstadt Hotspots berechnet.

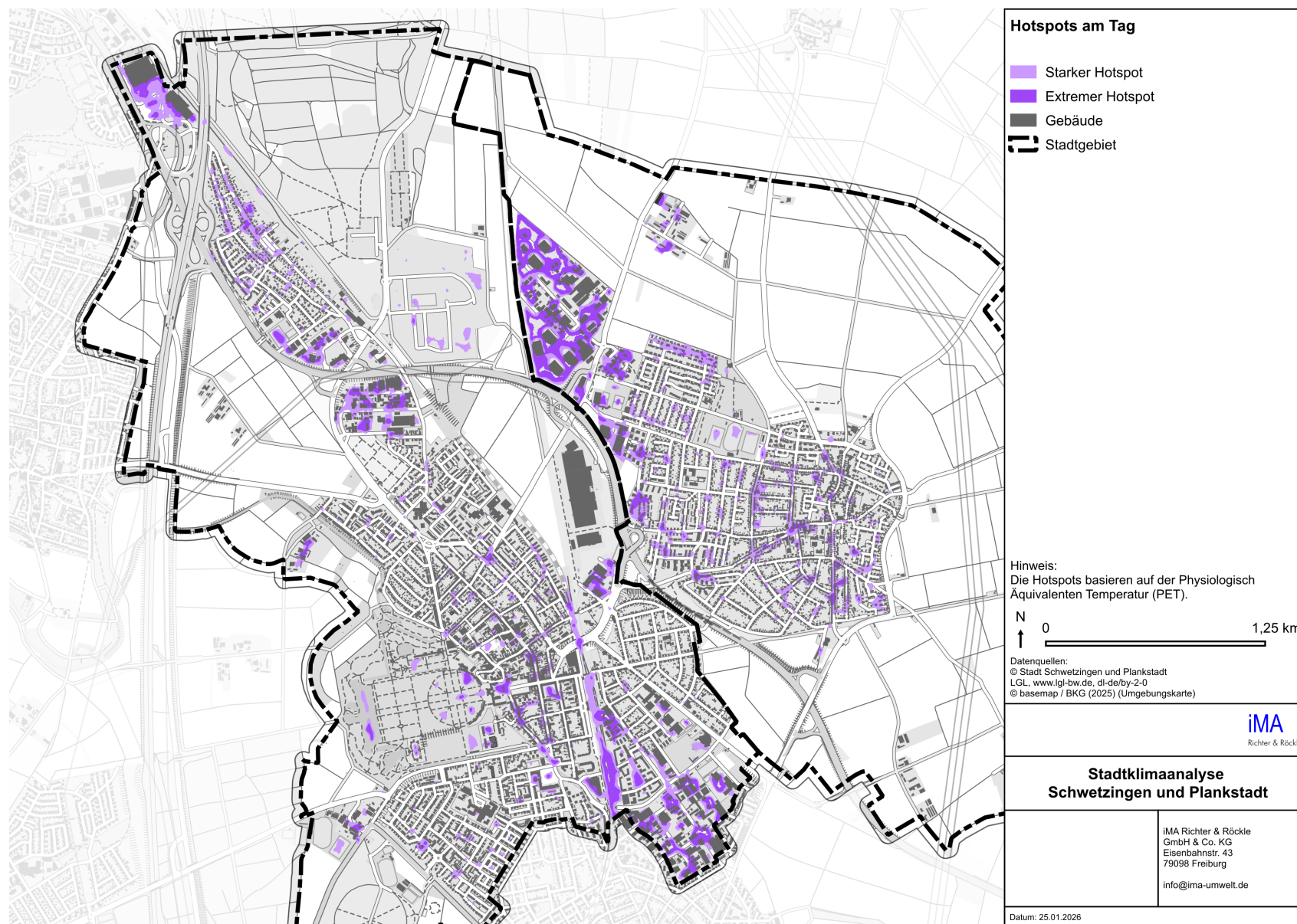


Abbildung 6-18: Hitze-Hotspots am Tag unter Berücksichtigung der Physiologisch Äquivalenten Temperatur in Schwetzingen und Plankstadt.

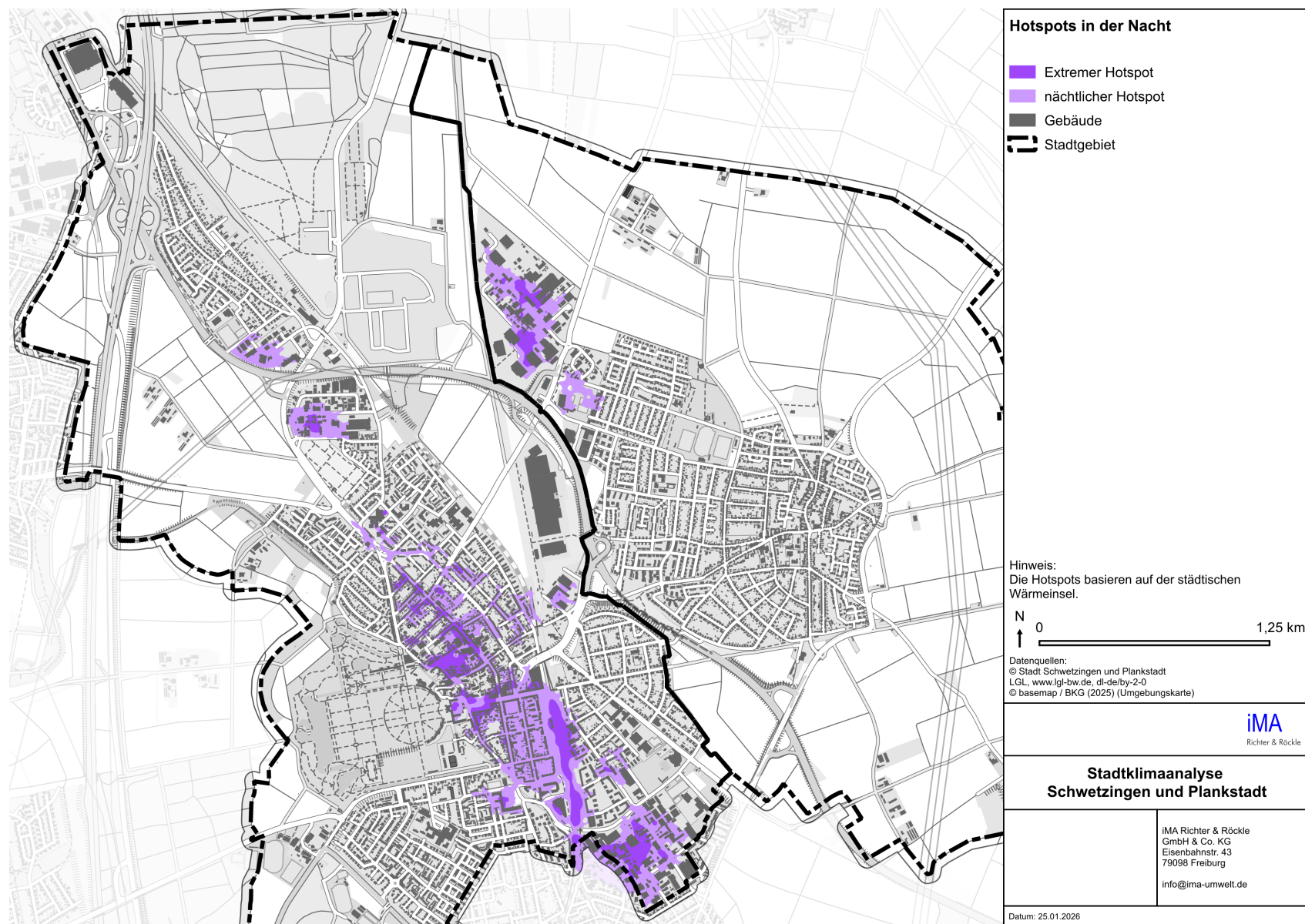


Abbildung 6-19: Hotspots in der Nacht unter Berücksichtigung der Urbanen Wärmeinsel in Schwetzingen und Plankstadt.

7 Klimaanalysekarte

Die erweiterten Klimaanalysekarten (Abbildung 7-1, Abbildung 7-2) zeigen eine flächendeckende, detaillierte Darstellung der thermischen und dynamischen Verhältnisse des klimatischen Ist-Zustandes. Die Klimaanalysen werden für die Tag- und für die Nacht-Situation separat erstellt und ausgewertet, da unterschiedliche physikalische Prozesse eine räumlich differenzierte Auswirkung auf die meteorologischen Bedingungen und damit auf die thermische Belastung und das thermische Empfinden bewirken. Dabei gibt die Klimaanalysekarte in erster Linie die Verhältnisse während autochthoner Wetterlagen wieder. Diese Karten wurden in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 3787, Blatt 1 (2015) erstellt.

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

Die Klimaanalysekarte der Tagsituation zeigt eine Zusammenschau der PET (thermische Belastung) mit der fußläufigen Erreichbarkeit der öffentlichen städtischen Grünflächen (Abbildung 7-1). Die Bestimmung der Erreichbarkeit ist in Kapitel 3.2.3 (Seite 30) genauer erläutert. Der weitere Ausgleichsraum, wie landwirtschaftliche Flächen oder kleine Wälder in Privatbesitz, ist ebenfalls eingezeichnet. Diese Flächen erfüllen nicht die in Kapitel 3.2.3 erwähnten Kriterien und sind deshalb nicht in der Bestimmung der Erreichbarkeit eingeflossen. Diese Flächen bieten eventuell zusätzlich das Potential aufgewertet und zugänglich gemacht zu werden und die Klimavielfalt zu verbessern.

Bereiche mit hoher thermischer Belastung und einer geringen Klimavielfalt sind vor allem in den westlichen Teilen der Schwetzingen Oststadt sichtbar.

Die Klimaanalysekarte der Nachtsituation (Abbildung 7-2) zeigt die Ausprägung des nächtlichen Kaltluftsystems unter einer autochthonen Wetterlage und die Ausbildung der urbanen Wärmeinsel. Die dargestellte Strömung bezieht sich auf das Dachniveau in den Abendstunden. Dabei stellt sich im Überdachniveau eine Strömung aus Osten von Heidelberg, bzw. vom Odenwald ein.

Wenn eine Luftleitbahn dazu dient, thermisch oder lufthygienisch⁷ belastete Gebiete bodennah zu belüften, wird von einer stadtklimarelevanten Luftleitbahn gesprochen. Nach Mayer & Matzarakis (1992) sollen stadtklimarelevante Luftleitbahnen mindestens 1 km lang, 50 m breit und weitgehend hindernisfrei sein. Die Bedeutung der Luftleitbahnen hängt von den vorherrschenden Windrichtungen und der Durchlüftungsfunktion in thermisch belasteten Siedlungsbereichen ab. Aber auch Kaltluftströmungen, die sich im Überdachniveau fortsetzen und in weiter stadteinwärts liegende Bereiche reichen, tragen zur Entlastung bei.

In Schwetzingen und Plankstadt befinden sich klassische Luftleitbahnen im Süden zwischen Plankstadt im Osten und Schwetzingen Oststadt im Westen entlang der B535. Ebenso zwischen der Schwetzingen Nordstadt und Hirschacker im Norden, der Schwetzingen Nordstadt und dem Decathlon. Die Luftleitbahn zwischen dem Gewerbegebiet Jungholz und der Kaserne hat vor allem bei

⁷ Da die lufthygienische Belastung in den nächsten Jahren durch die Erneuerung der Fahrzeugflotte weiter abnimmt, wird diese in dieser Analyse nicht weitergehend betrachtet.

Nordwind eine belüftende Wirkung, nicht jedoch bei der bei autochthonen Wetterlagen üblichem Südwind. Generell ermöglichen die landwirtschaftlichen Flächen insbesondere östlich und südlich von Plankstadt eine gute Belüftung der beiden Kommunen sowohl bei Kaltluftabfluss aus dem Osten, als auch bei Ausbildung der typischen Südströmung im Oberrheingraben.

Kaltluftstau kann an Siedlungsrändern oder riegelbildenden Vegetationsstrukturen auftreten. Durch den an Barrieren auftretenden Stau von Kaltluft kann sich ein Kaltluftsee ausbilden, dessen vertikale Mächtigkeit in etwa durch die Hindernishöhe begrenzt wird. Die Kaltluft fließt bei einer ausreichend großen Mächtigkeit über das Hindernis hinweg. Das Frostrisiko ist in diesem Staubereich erhöht, da sich die bodennahe Luft in Stagnationszonen stärker abkühlen kann als in Fließbereichen. Die Kaltluftstaubereiche wurden unter Berücksichtigung der bodennahen Strömung und der Lufttemperatur ausgewiesen. Insgesamt ist die Grundrauigkeit durch Gebäude und Vegetation in Schwetzingen und Plankstadt sehr hoch und die Ortsränder recht durchlässig gestaltet, sodass in den Simulationsergebnissen kaum Kaltluftseen erkennbar sind.

Kaltluftstaubereiche bilden die südlichen Siedlungsränder von Plankstadt im Bereich der Bahnstraße beim gleichnamigen Spielplatz sowie entlang der Ringstraße. In Schwetzingen stellt z.B. die Siedlungsgrenze mit Vegetationsbestand entlang der B291 ein Kaltluftstaubereich dar.

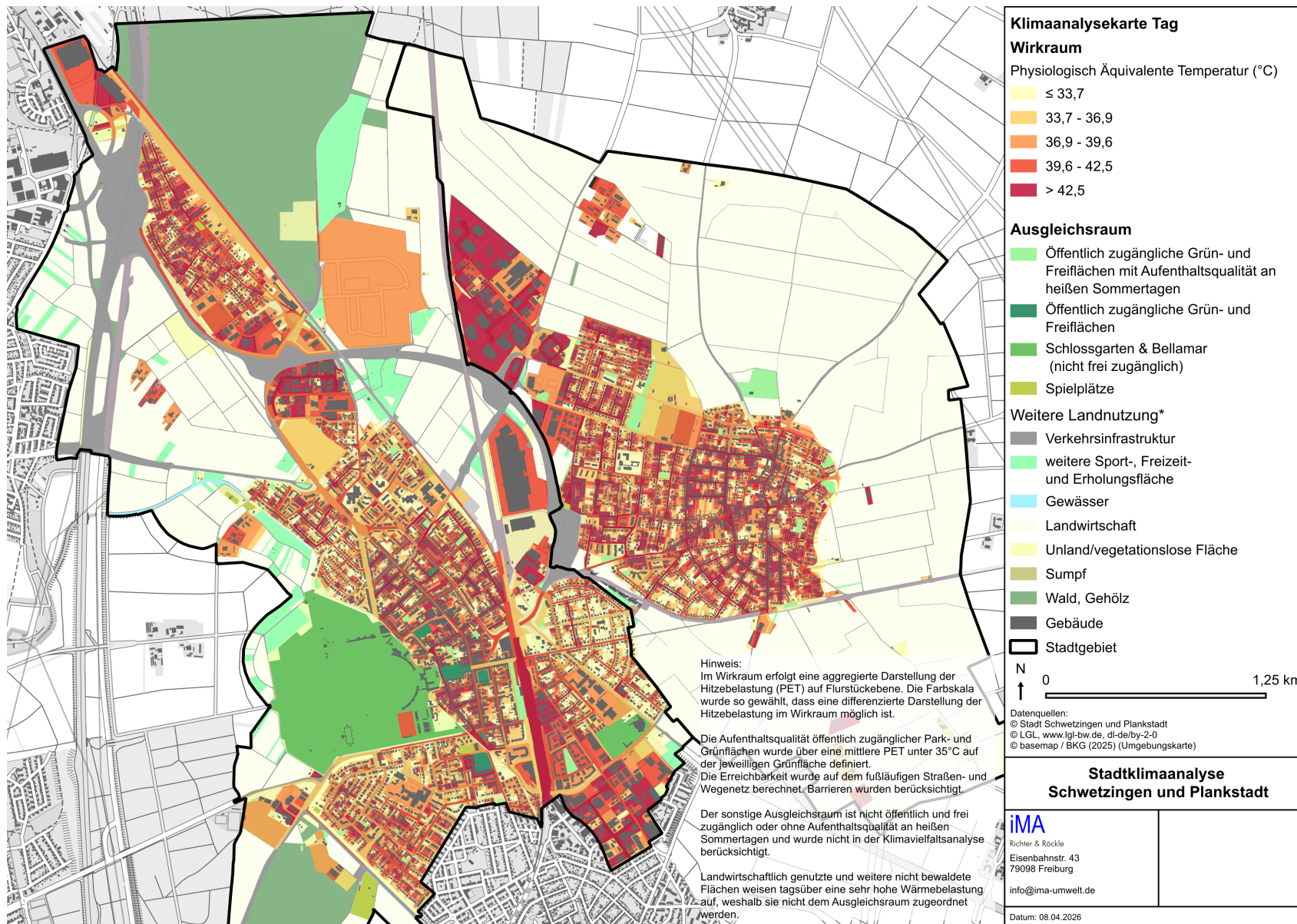


Abbildung 7-1: Klimaanalysekarte Tag mit Darstellung der Physiologisch Äquivalenten Temperatur und der Erreichbarkeit von Grünflächen.

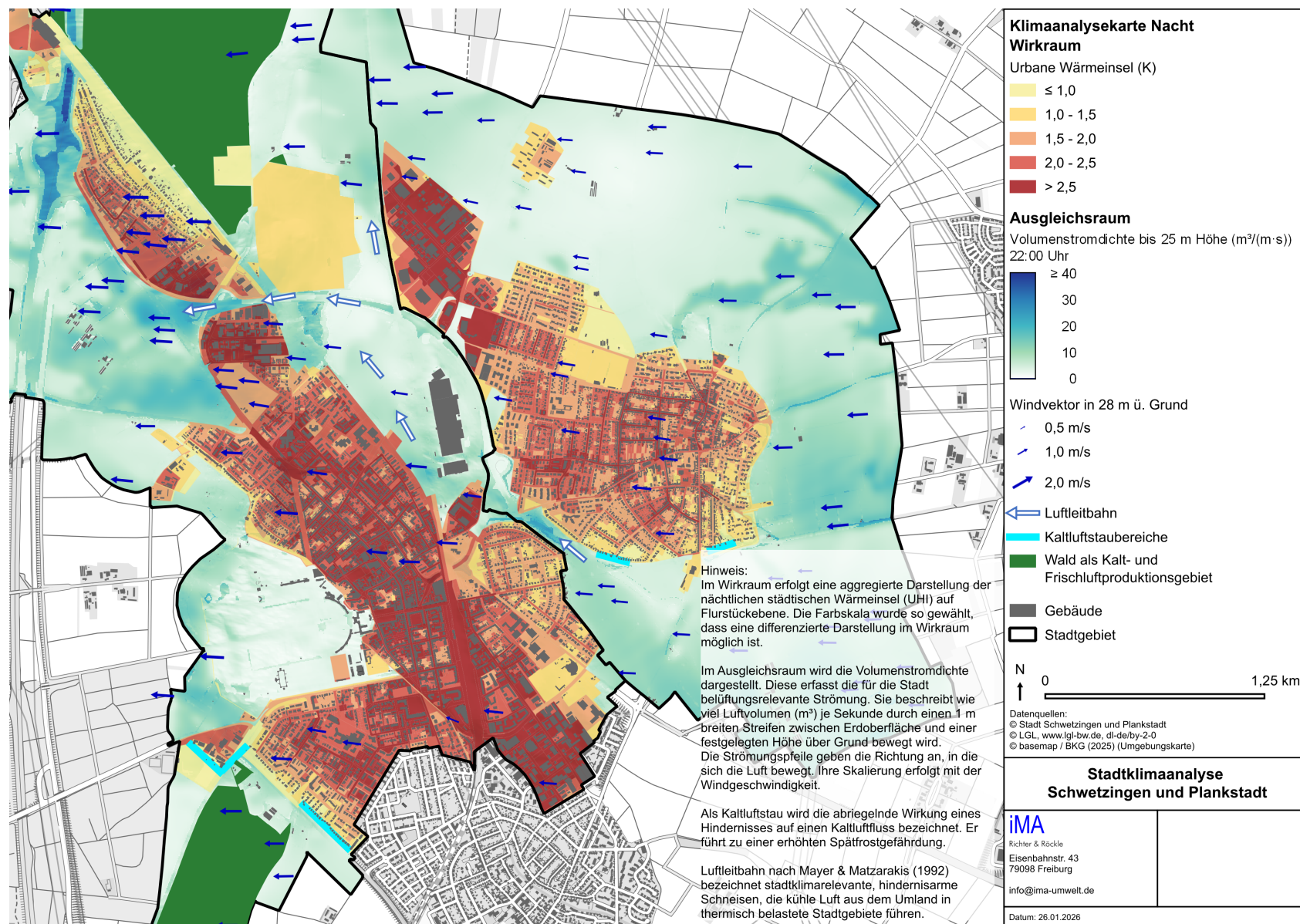


Abbildung 7-2: Klimaanalysekarte Nacht mit Darstellung der Kaltluftströmungssysteme und der urbanen Wärmeinsel.

8 Planungshinweiskarte

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

Thermische Belastungen am Tag oder in der Nacht haben unterschiedliche Ursachen, weshalb zwischen diesen Situationen unterschieden wird, um zielgerichtete Planungshinweise geben zu können.

Die Siedlungsbereiche sind je nach thermischer Betroffenheit eingefärbt. Je dunkler die Farbe, desto höher ist dort die Betroffenheit. In den stark belasteten Bereichen ist anzustreben, die Wärmebelastung durch Bebauung und Versiegelung nicht weiter zu erhöhen und stattdessen eher Minderungsmaßnahmen in Betracht zu ziehen. Dies kann in Form von Ausgleichsflächen erfolgen, die stärker begrünt werden. Aber auch eine Verringerung des Versiegelungsgrades, z.B. durch Fassaden- und Dachbegrünung, Bäumen sowie Pocket-Parks mindern die Wärmebelastung. Nachverdichtungen in diesen Bereichen sind eher kritisch zu sehen. Der Anpassungsbedarf zur Optimierung des Klimakomforts nimmt von den dunkelroten Bereichen zu den orangefarbenen Bereichen ab. In den gelben Bereichen ist der Anpassungsbedarf vergleichsweise gering.

Abbildung 8-1 und Abbildung 8-2 stellen die Planungshinweiskarte für die Tagsituation dar. Dargestellt wird die thermische Belastung (Abbildung 8-1) und Betroffenheit (Abbildung 8-2) sowie die öffentlich zugänglichen Grün- und Freiflächen und Naherholungsgebiete. Tagsüber halten sich die Menschen hauptsächlich an ihrem Arbeitsplatz, in Schulen und Kindergärten bzw. im Außenraum auf, weshalb neben der Betroffenheit auch die thermische Belastung dargestellt wird. Gerade die Industrie- und Gewerbegebiete sind tagsüber besonders thermisch belastet. Allerdings gelten am Arbeitsplatz entsprechende Grenzwerte, für deren Einhaltung der Arbeitgeber verantwortlich ist.

Um einen thermischen Ausgleich für die Bevölkerung zu schaffen, eignen sich vor allem städtische, öffentlich zugängliche Grün- und Parkanlagen mit einer hohen Aufenthaltsqualität. Die Versorgung kann in Schwetzingen und im Süden von Plankstadt ggf. gesteigert werden, indem zusätzliche Pocket Parks geschaffen werden und das Konzept der Stadt der kurzen (verschatteten!) Wege verfolgt und umgesetzt wird. Die relevanten Wege für Fußgänger innerhalb der Stadt sollten dabei möglichst mit großkronigen, Schatten spendenden Bäumen versehen werden. Gleichzeitig sollten die vorhandenen innerstädtischen Grün- und Freiflächen erhalten bleiben, da sie tagsüber Flächen mit Aufenthaltsqualität darstellen und nachts gut auskühlen.

Weitere Maßnahmen zur Minderung der thermischen Belastung (siehe Kapitel 9, Seite 104) sollten gezielt in Bereichen mit hoher und sehr hoher thermischer Belastung (siehe Abbildung 8-1) bzw. hoher thermischer Betroffenheit (siehe Abbildung 8-2) umgesetzt werden. In Schwetzingen konzentrieren sich diese Bereiche mit sehr hoher thermischer Belastung überwiegend auf Teile der Kernstadt, der westlichen Oststadt, Süd- und Nordstadt sowie auf Teile des nördlichen Hirschackers. In Plankstadt sind es auch häufig versiegelte und nicht verschattete Innenhöfe, welche kleine Hotspots darstellen, aber auch die versiegelten, nicht verschatteten Flächen rund um das Rathaus.

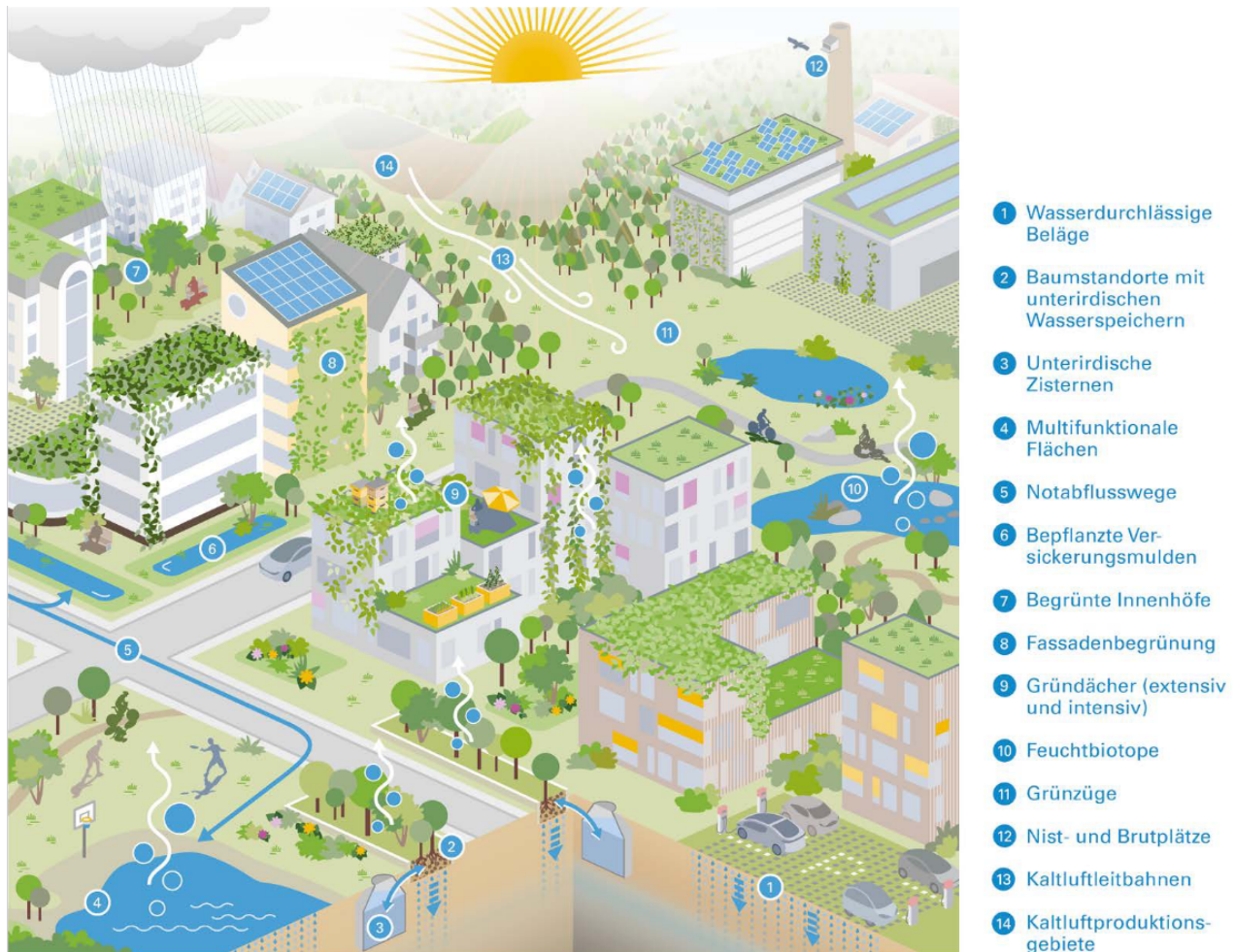


Abbildung 8 1: Zusammenspiel von grüner und blauer Infrastrukturelemente angelehnt an MUST Städtebau. Elemente der Schwammstadt (Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUV) (2025)).

In Abbildung 8-3 wird die Situation in der Nacht betrachtet. In der Nacht sind die Kaltluftabflüsse die wesentlichen lokalklimatischen Faktoren für ein angenehmes Stadtklima. Daher liegt nachts der Fokus auf der Bewertung der Freiflächen mit Blick auf ihre Relevanz für die Durchlüftung der Siedlungsbereiche sowie der thermischen Betroffenheit der Bevölkerung. Die Freiflächen sind nach aufsteigender Relevanz für die nächtliche Durchlüftung eingefärbt (Details zur Bestimmung der Relevanz sind Kapitel 3.2.9, Seite 34 zu entnehmen). Je blauer die Fläche, desto wichtiger ist diese für die Belüftung von Siedlungsgebieten. Um ihre Funktion zu erhalten, sollten diese Flächen von geschlossener Bebauung freigehalten werden. Dies ist vorrangig eine Aufgabe für die Flächennutzungsplanung. Dabei sind einzelne Bauwerke in diesen Bereichen möglich, sofern sie keine Riegel quer zur Strömung darstellen. Planungen sind dort im Einzelfall abzuwägen. In Bereichen mit geringer Rauigkeit z.B. rund um Plankstadt sind die möglichen bodennahen Strömungsgeschwindigkeiten recht hoch. Die Acker- und Grünflächen dort stellen flächige Luftleitbahnen dar.

Da die Belüftung von Schwetzingen und Plankstadt aus Osten oder Süden erfolgt, ist die Freifläche mit der höchsten Relevanz südlich von Plankstadt zu finden. Das Kaltluftströmungsgeschehen in Schwetzingen und Plankstadt gestaltet sich überwiegend mit niedriger Windgeschwindigkeit in Bodennähe. Nachverdichtungen, Neubaugebiete an den Ortsrändern oder Aufstockungen können

signifikante Änderungen in der Belüftung mit sich führen. Es sollten die weiteren Handlungsstrategien für die Stadtplanung (Kapitel 9, Seite 102), insbesondere die Einschätzungen zur Nachverdichtung aus klimatischer Sicht (Kapitel 9.3, Seite 106) berücksichtigt werden.

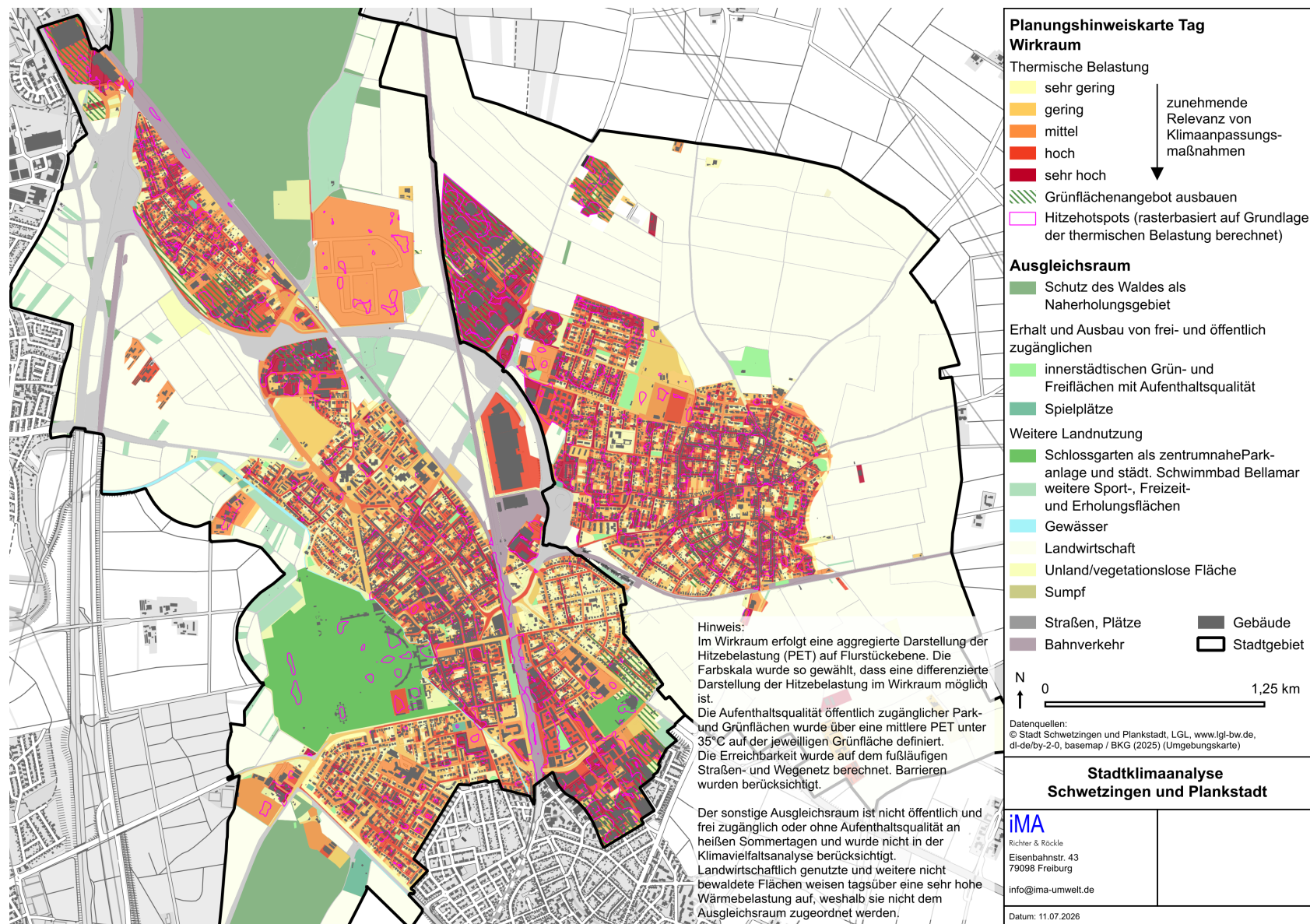


Abbildung 8-1: Planungshinweiskarte für die Tagsituation mit Darstellung der thermischen Belastung.

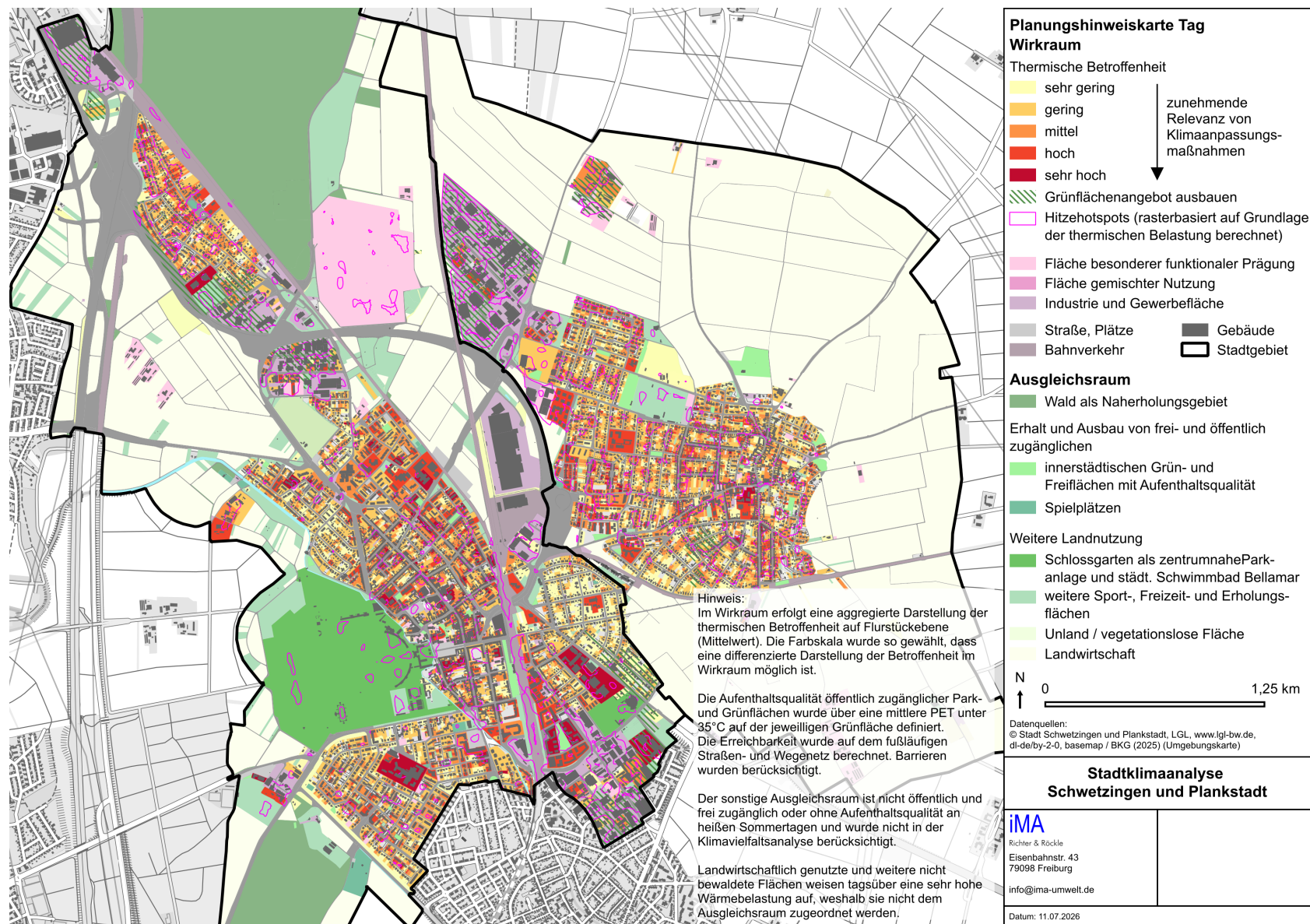


Abbildung 8-2 Planungshinweiskarte für die Tagsituation mit Darstellung der thermischen Betroffenheit.

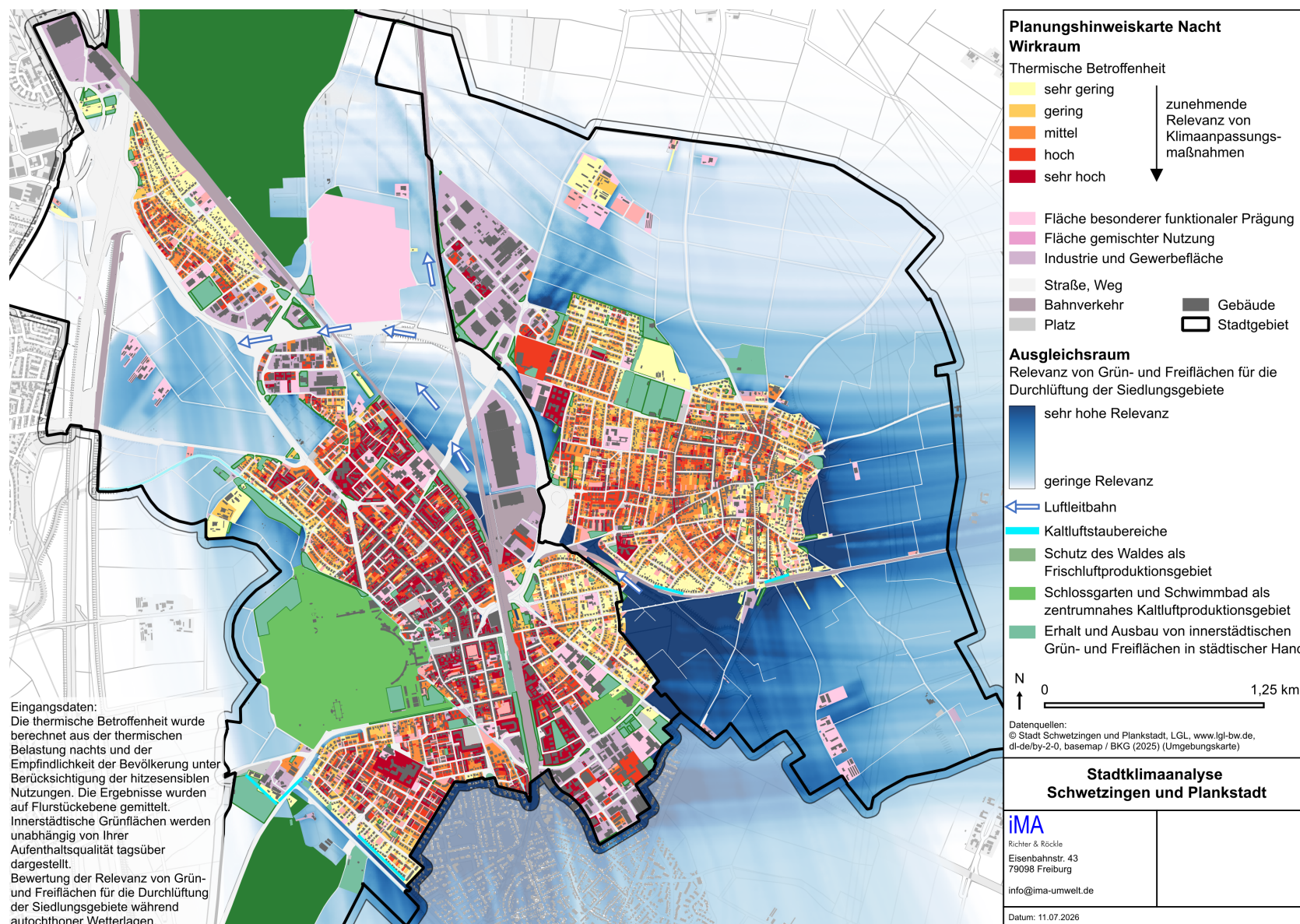


Abbildung 8-3: Planungshinweiskarte für die Nachtsituation mit den relevanten Kaltluftströmungen und der Bewertung des Außen- und Siedlungsbereichs.

9 Handlungsstrategien für die Stadtplanung

Die Stadtklimaanalyse ist nur ein Baustein in einem anzustrebenden Gesamtkonzept, wie mit den Auswirkungen des Klimawandels auf lokaler Ebene umzugehen ist. Hilfreich ist hierfür die Erarbeitung von Leitbildern. Diese sollen die Ziele des Klimaschutzes und der Klimaanpassung mit den Anforderungen der Menschen an ihren Wohn-, Arbeits- und Erholungsraum verknüpfen (LUBW (2018)). In dem Klimaanpassungskonzept können darauf aufbauend partizipativ detailliertere Handlungsstrategien und Maßnahmen für die Stadt Schwetzingen und die Gemeinde Plankstadt erarbeitet werden.

Dieses Kapitel stellt Handlungsstrategien für die klimarelevanten Aspekte der Durchlüftung, der thermischen und Einschätzungen zur Nachverdichtung zusammen. Die Strategien bzw. Empfehlungen beruhen auf den Modellergebnissen, der wissenschaftlichen Literatur, aber auch auf den Inhalten der Städtebaulichen Klimafibel (Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg & Amt für Umweltschutz Stuttgart (2012)), der Regionalen Klimaanalyse der Region Bodensee-Oberschwaben (REKLIBO, Schwab & Zachenbacher (2009), den Praxisbeispielen aus dem Klimaatlas der LUBW⁸).

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

Bei den Handlungsstrategien handelt es sich um voneinander unabhängige Optionen. Diese können für unterschiedliche Zielsetzungen zueinander in Konflikt stehen. Zum Beispiel kann eine Begrünung des Straßenraumes mit Bäumen human-bioklimatisch positiv sein, da Wege im Schatten zurückgelegt werden können. Jedoch reduzieren Bäume den Luftaustausch im Straßenraum wodurch die Luftbelastung erhöht wird. Im Einzelfall ist daher die Wahl der Maßnahmen zu prüfen und abzuwägen, welche Ziele die größere Priorität haben. Durch die zahlreichen Luftreinhaltemaßnahmen auf europäischer, nationaler und regionaler Ebene ist die Schadstoffbelastung weiter rückläufig. Das Thema Hitzebelastung hingegen wird sich im Zuge des Klimawandels noch weiter verschärfen. Stehen Maßnahmen im Konflikt zwischen Verbesserung der Belüftung im Straßenraum und einer Besserung der Abschattung durch Baumpflanzungen, sind tendenziell Maßnahmen zur Reduktion der Hitzebelastung zu bevorzugen.

9.1 Maßnahmen zur Verbesserung und Erhaltung der Durchlüftung

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

⁸ <https://www.klimaatlas-bw.de/praxisbeispiele>

Folgende Punkte tragen zum Erhalt des Luftaustauschs bei oder verbessern diesen (vgl. hierzu auch Abbildung 9-1):

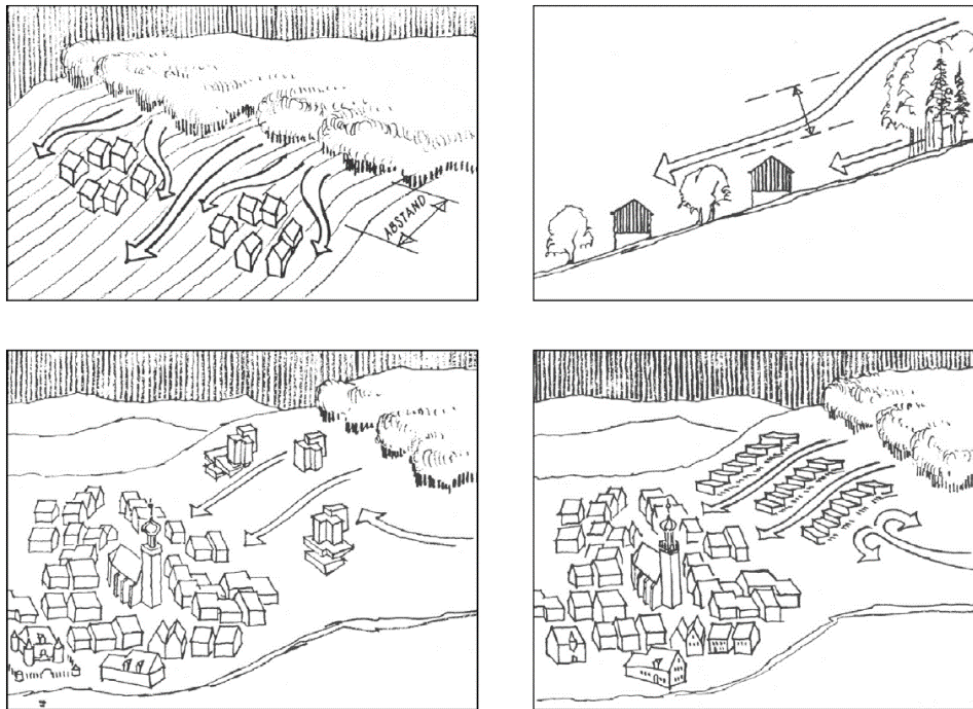


Abbildung 9-1: Empfehlungen zur Bebauung von Hanglagen aus der Städtebaulichen Klimafibel: Einhaltung eines möglichst großen Abstands von Waldrändern (oben links), Unterschreitung der Gebäudehöhe bezüglich der Höhe bestehender Hindernisse (oben rechts), bevorzugt punktförmige Bebauung (unten links) und Ausrichtung der Gebäude längs der Richtung von Hangabwinden unter Berücksichtigung anderer dominierender Windrichtungen (Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg & Amt für Umweltschutz Stuttgart (2012)).

- Freihalten von relevanten Kaltluftproduktionsflächen und Luftleitbahnen von geschlossener Bebauung oder riegelbildenden Hindernissen,
- Schaffung oder Erhalt von Grünzügen innerhalb der Siedlungskörper als Belüftungsschneisen und Luftleitbahnen,
- Begrenzung von Gebäudehöhen, um das Überdachniveau niedrig zu halten,
- Bau von strömungsdurchlässigen Siedlungsbereichen mit Luftleitbahnen,
- offene Gestaltung von Siedlungsrändern für eine möglichst hohe bodennahe Eindringtiefe,
- Ausrichtung von Straßenzügen längs zur vorherrschenden, für den Luftaustausch relevanten Windrichtung.
- Vermeidung der Ansiedelung von Abwärmeproduzenten oder Emittenten von Gerüchen oder Luftschadstoffen (insb. in Luftleitbahnen). Keine Zulassung offener Feuerstellen.

9.2 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 9.1 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 winterlicher Kältestresssituationen können Maßnahmen der REKLISO-Untersuchung (Parlow, Scherer & Fehrenbach (2006)) entnommen werden.

Generell sind Maßnahmen, die das innerstädtische Grünvolumen erhöhen und Schattenplätze schaffen, zielführend. Auch Entsiegelung, Wasserrückhaltung und Wasserspiele sind geeignete Maßnahmen, die Aufenthaltsqualität zu verbessern. Eine Erhöhung der Albedo kann die Aufheizung der Baumaterialien verringern und dadurch die urbane Wärmeinsel in den Abend- und Nachtstunden verringern. Für Mensch und Tier kann eine höhere Albedo in den Tagstunden durch die höhere Reflexion von kurzweiliger Strahlung zu einer erhöhten Wärmebelastung führen.

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

- Vermeidung oder Minimierung von versiegelten Flächen (z.B. Grünflächen, permeabler Asphalt, Graspflastersteine, Kfz-Stellflächen unter die Erde verlegen oder in Parkhäusern bündeln, Brunnen),
- Verschattung versiegelter Bereiche (insbesondere von Kfz-Stellflächen),
- Vermeidung von Stein- und Schotterflächen in den Vorgärten und sonstigen privaten Grünflächen,
- Dachbegrünung und Dächer mit heller Farbe, die die Sonnenstrahlung reflektieren („cool Roofs“) zur Reduktion der Temperatur im Dachniveau;
- Kombination von extensiver Dachbegrünung und Solarzellen,
- Förderung kleiner auch privater Grünflächen,
- Innenhofbegrünung,
- ausreichend innerstädtische Grünflächen mit Baumbestand größer 0,5 ha, um die Klimavielfalt zu erhalten oder zu fördern,
- Straßenraumbepflanzungen oder andere schattenspendenden Maßnahmen um beispielsweise Wege in verschatteten Bereichen zurücklegen zu können (früher waren, insbesondere in südlichen Ländern, Arkadengänge verbreitet),
- Fassadenbegrünungen (Verschattung der Wand, Kühlung durch Verdunstungsfähigkeit der Pflanzen, Retention von Niederschlagswasser, geringere Reflektion der Sonnenstrahlung, geringere Schallreflexion (siehe Abbildung 9-2),
- Erhaltung von Kaltluftproduktions- und Kaltlufttransportgebieten,
- Vermeidung der Ansiedlung von Abwärmeproduzenten (insbesondere entlang von Luftleitbahnen).

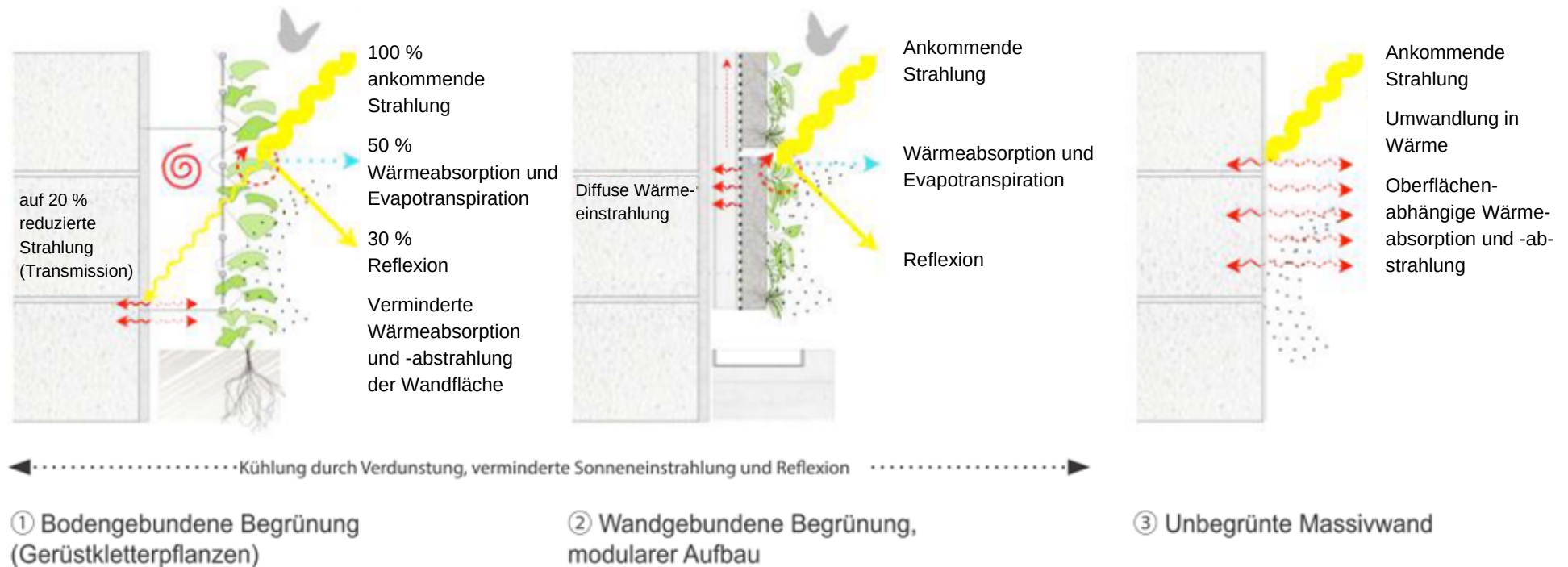


Abbildung 9-2 Einfluss der Fassadenbegrünung auf das Mikroklima. Erhöhte Lebensdauer der Fassade durch reduzierte Sonneneinstrahlung/UV-Belastung und Schlagregenschutz der Außenwand (© Nicole Pfoser, Dettmar, Pfoser & Sieber (2016)).

9.3 Einschätzungen zur Nachverdichtung aus klimatischer Sicht

Geringe klimatische Auswirkungen für die Nachbarschaft haben

- Dachausbau,
- Aufstockung auf die mittlere Gebäudehöhe der Umgebung oder
- die Schließung kleiner Baulücken.

Die klimatischen Auswirkungen sind zu prüfen bei

- städtebaulicher Konversion,
- Umstrukturierung oder
- Anbauten.

Negative Auswirkungen haben stets

- die Nachverdichtung in grünen Innenhöfen,
- Nachverdichtungen im Bereich von Kaltluftleitbahnen und Kaltluftproduktionsflächen.
- Nachverdichtung und Neubauten in bislang noch locker bebauten Quartieren.

Wird der Versiegelungsgrad bei Konversionen und Umstrukturierungen reduziert, und werden Luftleitbahnen für Kaltluftabflüsse geplant, so ist häufig eine Verbesserung des Mikroklimas gegeben. Bei Nachverdichtung sollte der Zuwachs an Grün (durch Dachbegrünung, Fassadenbegrünung oder Parkraummanagement), den Flächenverbrauch übersteigen.

Häufig fehlt es innerstädtisch an Flächen, die für eine zusätzliche Begrünung geeignet sind. Hier sollte der Fokus auf den ruhenden Verkehr gelegt werden, der in der Regel einen immensen Platzbedarf hat. Durch die Anlage von Tiefgaragen und Parkhäusern können Potenziale geschaffen werden.

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

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

Klimaschutz- und Adaptationsmaßnahmen können sich gut ergänzen. In Tabelle 9-1 wird diese sich ergänzende Wirkung am Beispiel von städtischen Begrünungsmaßnahmen dargestellt.

Tabelle 9-1: Wirkungskatalog von Begrünungsmaßnahmen hinsichtlich des Klimaschutzes und der Klimaanpassung.

Wirkungen bezüglich Klimaschutz	Wirkungen bezüglich Klimaanpassung	Sonstige Wirkungen
1. Sauerstoffproduktion. 2. Kohlenstoffspeicherung. 3. Verbesserung der CO₂-Bilanz - durch Photosynthese. - durch Reduktion des Heizwärme- und Kühlbedarfs. - durch Lebensdauererhöhung von Materialien durch Abschattung materialschädigender UV-Strahlung. - Kühlende Gründächer erhöhen die Effizienz von PV-Anlagen.	1. Stadtbegrünung → Biodiversität. 2. Grünflächen mit geringer Rauigkeit dienen als Luftbahnen 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. 4. Schaffung von Lebensraum, Erhöhung der Biodiversität.

Freiburg, den 11.07.2026



Dr. Rainer Röckle
Geschäftsleitung
Diplom-Meteorologe



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



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



Dr. Marcel Gangwisch
Sachverständiger
M.Sc. in Umweltwissenschaften

Dieser Bericht wurde nach den Anforderungen unseres Qualitätsmanagementsystems nach DIN 17025 erstellt.

10 Literatur

- Basu, R.** (2009): High ambient temperature and mortality: a review of epidemiologic studies from 2001 to 2008. *Environmental Health* (8)1: 40.
- Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUV)** (2025): Instrumente zur Klimaanpassung vor Ort. Eine Arbeitshilfe für Kommunen in Bayern.
- BMUB** (2015): Grün in der Stadt – Für eine lebenswerte Zukunft. Grünbuch Stadtgrün. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), 100S.
- Brasseur, G., D. Jacob & S. Schuck-Zöller eds.** (2023): Klimawandel in Deutschland: Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. 2nd ed. Springer Spektrum, Berlin.
- Christen, A.** (2019): Vertikale Gliederung der Stadtatmosphäre. In: J. L. Lozán, S.-W. Breckle, H. Grassl, W. Kuttler, and A. Matzarakis (Eds), *Warnsignal Klima: Die Städte.*, S. 36–42.
- Christidis, N., G.S. Jones & P.A. Stott** (2015): Dramatically increasing chance of extremely hot summers since the 2003 European heatwave. *Nature Climate Change* (5)1: 46–50.
- Dettmar, J., N. Pfoser & S. Sieber** (2016): Gutachten Fassadenbegrünung. TU Darmstadt, 100S.
- Deutsches Klima-Konsortium, Deutsche Meteorologische Gesellschaft e. V., Deutscher Wetterdienst, Extremwetterkongress Hamburg, Helmholtz-Klima-Initiative, & klimafakten.de eds.** (2023): Was wir heute übers Klima wissen: Basisfakten zum Klimawandel, die in der Wissenschaft unumstritten sind.
- Ebi, K.L., A. Capon, P. Berry, C. Broderick, R. De Dear, G. Havenith, Y. Honda, R.S. Kovats, W. Ma, A. Malik, N.B. Morris, L. Nybo, S.I. Seneviratne, J. Vanos & O. Jay** (2021): Hot weather and heat extremes: health risks. *The Lancet* (398)10301: 698–708.
- Erbertseder, T., C. Schneider, F. Ament, U. Fehrenbach, S. Fritz, V. Goldberg, T. Grassmann, A. Hansen, J. Heusinger, A. Holtmann, N. Kalthoff, O. Kiseleva, D. Klemp, M. Koßmann, I. Langer, B. Leitl, B. Maronga, F. Meier, G. Meusel, A. Meyer-Kornblum, A. Philipp, R. Queck, S. Raasch, A. Roiger, A. Samad, K. Scherber, E. Von Schneidemesser, M. Sühling, J. Venkatraman Jagatha, U. Vogt, S. Weber, R. Wegener & D. Scherer** (2024): [UC]² Evaluierungsbericht Teil 1. Technische Universität Berlin
- Ferrini, F., C.C. Konijnendijk & A. Fini eds.** (2019): *Routledge handbook of urban forestry.* Routledge, London New York.
- Gehrke, K.F., M. Sühling & B. Maronga** (2021): Modeling of land–surface interactions in the PALM model system 6.0: land surface model description, first evaluation, and sensitivity to model parameters. *Geoscientific Model Development* (14)8: 5307–5329.
- Grize, L., A. Huss, O. Thommen, C. Schindler & C. Braun-Fahrländer** (2005): Heat wave 2003 and mortality in Switzerland. *Swiss Medical Weekly* (135): 200–205.
- Gronemeier, T., K. Surm, F. Harms, B. Leitl, B. Maronga & S. Raasch** (2021): Evaluation of the dynamic core of the PALM model system 6.0 in a neutrally stratified urban environment: comparison between LES and wind-tunnel experiments. *Geoscientific Model Development* (14)6: 3317–3333.

- an der Heiden, M., S. Muthers, H. Niemann, U. Buchholz, L. Grabenhenrich & A. Matzarakis** (2019): Schätzung hitzebedingter Todesfälle in Deutschland zwischen 2001 und 2015. Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz (62)5: 571–579.
- Hewitt, C.D.** (2004): Ensembles-based predictions of climate changes and their impacts. Eos, Transactions American Geophysical Union (85)52: 566.
- IPCC ed.** (2013): Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC ed.** (2021): Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Kadasch, E., M. Sühling, T. Gronemeier & S. Raasch** (2021): Mesoscale nesting interface of the PALM model system 6.0. Geoscientific Model Development (14): 5435–5465.
- Köppen, W.** (1936): Das geographische System der Klimate. In: W. Köppen and R. Geiger (Eds), Handbuch der Klimatologie. Gebrüder Bornstraeger, Berlin, S. C1–C44.
- Koßmann, M., H. Noppel & B. Fröh** (2014): Stadtklimatische Untersuchungen der sommerlichen Temperaturverhältnisse in Offenbach am Main als Grundlage zur Anpassung an den Klimawandel. Deutscher Wetterdienst, Offenbach a. M., 70S.
- 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.
- López-Bueno, J.A., J. Díaz, M. Iriso, R. Ruiz-Páez, M.A. Navas-Martín & C. Linares** (2025): Emergency Hospital Admissions for Cardiovascular Causes Attributable to Air Pollution and Extreme Temperatures in Spain: Influence of Economic and Demographic Factors in a Nationwide Study. Journal of Urban Health (102)4: 813–829.
- López-Bueno, J.A., J. Díaz, C. Sánchez-Guevara, G. Sánchez-Martínez, M. Franco, P. Gullón, M. Núñez Peiró, I. Valero & C. Linares** (2020): The impact of heat waves on daily mortality in districts in Madrid: The effect of sociodemographic factors. Environmental Research (190): 109993.
- LUBW ed.** (2018): Leitfaden für die kommunale Landschaftsplanung in Baden-Württemberg.
- Maronga, B., S. Banzhaf, C. Burmeister, T. Esch, R. Forkel, D. Fröhlich, V. Fuka, K.F. Gehrke, J. Geletič, S. Giersch, T. Gronemeier, G. Groß, W. Heldens, A. Hellsten, F. Hoffmann, A. Inagaki, E. Kadasch, F. Kanani-Sühling, K. Ketelsen, B.A. Khan, C. Knigge, H. Knoop, P. Krč, M. Kurppa, H. Maamari, A. Matzarakis, M. Mauder, M. Pallasch, D. Pavlik, J. Pfaffert, J. Resler, S. Rissmann, E. Russo, M. Salim, M. Schrempf, J. Schwenkel, G. Seckmeyer, S. Schubert, M. Sühling, R. von Tils, L. Vollmer, S. Ward, B. Witha, H. Wurps, J. Zeidler & S. Raasch** (2020): Overview of the PALM model system 6.0. Geoscientific Model Development (13)3: 1335–1372.
- Maronga, B., M. Gryschka, R. Heinze, F. Hoffmann, F. Kanani-Sühling, M. Keck, K. Ketelsen, M.O. Letzel, M. Sühling & S. Raasch** (2015): The Parallelized Large-Eddy Simulation Model (PALM) version 4.0 for atmospheric and oceanic flows: model formulation, recent developments, and future perspectives. Geoscientific Model Development (8)8: 2515–2551.

- Matzarakis, A. & H. Mayer** (1997): Heat stress in Greece. *International Journal of Biometeorology* (41)1: 34–39.
- Mayer, H.** (1989): Workshop “Ideales Stadtklima” am 26. Oktober 1988 in München. *DMG Mitteilungen* 3: 52–54.
- Mayer, H. & P.R. Höppe** (1987): Thermal comfort of man in different urban environments. *Theoretical and Applied Climatology* (38)1: 43–49.
- Mayer, H. & A. Matzarakis** (1992): Stadtklimarelevante Luftströmungen im Münchner Stadtgebiet: (Forschungsvorhaben STADTLUFT) Lehrstuhl für Bioklimatologie und Angewandte Meteorologie der Universität München (Ed).
- Moss, R.H., M. Babiker, S. Brinkman, E. Calvo, T. Carter, J.A. Edmonds, I. Elgizouli, S. Emori, E. Lin, K. Hibbard, R. Jones, M. Kainuma, J. Kelleher, J.F. Lamarque, M. Manning, B. Matthews, J. Meehl, L. Meyer, J. Mitchell, N. Nakicenovic, B. O'Neill, R. Pichs, K. Riahi, S. Rose, P.J. Runci, R. Stouffer, D. VanVuuren, J. Weyant, T. Wilbanks, J.P. van Ypersele & M. Zurek** (2008): Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts, and Response Strategies. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland.
- 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.
- Nieuwenhuijsen, M.J., P. Dadvand, S. Márquez, X. Bartoll, E.P. Barboza, M. Cirach, C. Borrell & W.L. Zijlema** (2022): The evaluation of the 3-30-300 green space rule and mental health. *Environmental Research* (215): 114387.
- Oke, T.R., G. Mills, A. Christen & J.A. Voogt** (2017): *Urban Climates*. 1st ed. Cambridge University Press.
- Parlow, E., D. Scherer & U. Fehrenbach** (2006): Regionale Klimaanalyse der Region Südlicher Oberrhein (REKLISO): Wissenschaftlicher Abschlussbericht.
- Raasch, S. & M. Schröter** (2001): PALM - A large-eddy simulation model performing on massively parallel computers. *Meteorologische Zeitschrift* (10)5: 363–372.
- 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.
- Reid, C.E., M.S. O'Neill, C.J. Gronlund, S.J. Brines, D.G. Brown, A.V. Diez-Roux & J. Schwartz** (2009): Mapping Community Determinants of Heat Vulnerability. *Environmental Health Perspectives* (117)11: 1730–1736.
- Resler, J., K. Eben, J. Geletič, P. Krč, M. Rosecký, M. Sühling, M. Belda, V. Fuka, T. Halenka, P. Huszár, J. Karlický, N. Benešová, J. Ďoubalová, K. Honzáková, J. Keder, Š. Nápravníková & O. Vlček** (2021): Validation of the PALM model system 6.0 in a real urban environment: a case study in Dejvice, Prague, the Czech Republic. *Geoscientific Model Development* (14)8: 4797–4842.
- Revi, A., D.E. Satterthwaite, F. Aragón-Durand, J. Corfee-Morlot, R.B.R. Kiunsi, M. Pelling, D.C. Roberts & W. Solecki** (2014): Urban areas. In: C. B. Field, V. R. Barros, D. J. Dokken,

- K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea, and L. L. White (Eds), *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, S. 535–612.
- Riahi, K., D.P. Van Vuuren, E. Kriegler, J. Edmonds, B.C. O'Neill, S. Fujimori, N. Bauer, K. Calvin, R. Dellink, O. Fricko, W. Lutz, A. Popp, J.C. Cuaresma, S. Kc, M. Leimbach, L. Jiang, T. Kram, S. Rao, J. Emmerling, K. Ebi, T. Hasegawa, P. Havlik, F. Humpenöder, L.A. Da Silva, S. Smith, E. Stehfest, V. Bosetti, J. Eom, D. Gernaat, T. Masui, J. Rogelj, J. Strefler, L. Drouet, V. Krey, G. Luderer, M. Harmsen, K. Takahashi, L. Baumstark, J.C. Doelman, M. Kainuma, Z. Klimont, G. Marangoni, H. Lotze-Campen, M. Obersteiner, A. Tabeau & M. Tavoni (2017):** The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global Environmental Change* (42): 153–168.
- Richter, B., K. Grunewald & G. Meinel (2016):** Analyse von Wegedistanzen in Städten zur Verifizierung des Ökosystemleistungsindikators „Erreichbarkeit städtischer Grünflächen“. In: AGIT 2-2016, *Journal für Angewandte Geoinformatik*. Wichmann Verlag.
- 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., P.L. Vidale, D. Lüthi, C. Frei, C. Häberli, M.A. Liniger & C. Appenzeller (2004):** The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature* (427)6972: 332–336.
- Schatzmann, M., H. Olesen & J. Franke (2010):** COST 732 Model Evaluation Case Studies: Approach and Results. Universität Hamburg, Hamburg, Deutschland
- Scherer, D., A. Holtmann, F. Ament, U. Fehrenbach, V. Goldberg, T. Grassmann, A. Hansen, C. Holst, O. Kiseleva, D. Klemp, I. Langer, B. Leitl, B. Maronga, F. Meier, G. Meusel, A. Philipp, R. Queck, S. Raasch, A. Samad, K. Scherber, O. Schinke, C. Schneider, R. Steikert, M. Sühling, J. Venkatraman Jagatha, U. Vogt, S. Weber, R. Wegener & T. Erbertseder (2024):** [UC]² Evaluierungsbericht Teil 2. Technische Universität Berlin
- Schumacher, U., I. Lehmann & M. Behnisch (2016):** Modellansatz zur geotopographischen Analyse von Wohngebieten und urbaner grüner Infrastruktur. In: AGIT 2-2016, *Journal für Angewandte Geoinformatik*. Wichmann Verlag.
- Schwab, A. & D. Zachenbacher (2009):** Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben (REKLIBO): Wissenschaftlicher Abschlussbericht.
- VDI-Richtlinie 3783, Blatt 9 (2017):** Umweltmeteorologie - Prognostische mikroskalige Windfeldmodelle - Evaluierung für Gebäude- und Hindernisströmung. VDI-Richtlinie 3783, Blatt 9:2017-05.
- VDI-Richtlinie 3787, Blatt 1 (2015):** Umweltmeteorologie - Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen. VDI-Richtlinie 3787, Blatt 1:2015-09.

- VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2** (2022): Umweltmeteorologie - Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung der thermischen Komponente des Klimas. VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2:2022-06.
- VDI-Richtlinie 3787, Blatt 5** (2003): Umweltmeteorologie - Lokale Kaltluft. VDI-Richtlinie 3787, Blatt 5:2003-12.
- VDI-Richtlinie 3787, Blatt 10** (2010): Umweltmeteorologie - Human- biometeorologische Anforderungen im Bereich Erholung, Prävention, Heilung und Rehabilitation. VDI-Richtlinie 3787, Blatt 10:2010-03.
- 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: 5.
- 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. Ser. II* (82)6: 1599–1628.
- Weischet, W. & W. Endlicher** (2018): Einführung in die allgemeine Klimatologie. Gebr. Borntraeger Verlagsbuchhandlung, Berlin Stuttgart.
- Weniger, V.** (2019): Evaluation of the PALM model system according VDI 3783 Part 9.
- Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg & Amt für Umweltschutz Stuttgart** (2012): Städtebauliche Klimafibel. URL: <http://www.staedtebauliche-klimafibel.de/>.
- World Health Organization Regional Office for Europe** (2017): Urban green spaces: a brief for action. 24S.
- Zander, K.K., W.J.W. Botzen, E. Oppermann, T. Kjellström & S.T. Garnett** (2015): Heat stress causes substantial labour productivity loss in Australia. *Nature Climate Change* (5)7: 647–651.

Glossar

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

Albedo	Rückstrahlungsvermögen von diffus reflektierenden Oberflächen														
Anthropogen	Durch den Menschen verursachte Einflüsse.														
Atmosphärische Gegenstrahlung	Der Anteil der langwelligen Strahlung, der aus der Atmosphäre in Richtung der Erde gerichtet ist.														
Atmosphärische Grenzschicht	Als atmosphärische Grenzschicht (auch planetare 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 atmosphärischen Grenzschicht findet ein Großteil des turbulenten vertikalen Austauschs von Wärme (Energie) und Wasserdampf zwischen Erdoberfläche und Atmosphäre statt.														
Ausbreitungsklasse	Die Ausbreitungsklasse nach Klug-Manier charakterisiert die thermische Schichtung der unteren Atmosphäre. Die thermische Schichtung bestimmt neben der Bodenrauigkeit die atmosphärische Turbulenz, die ein Maß für das "Verdünnungsvermögen" der Atmosphäre ist. <table border="1"> <thead> <tr> <th>Klasse</th><th>Beschreibung</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>I</td><td>sehr stabile atmosphärische Schichtung, ausgeprägte Inversion, geringes Verdünnungsvermögen der Atmosphäre</td></tr> <tr> <td>II</td><td>stabile atmosphärische Schichtung, Inversion, geringes Verdünnungsvermögen der Atmosphäre</td></tr> <tr> <td>III₁</td><td>stabile bis →neutrale atmosphärische Schichtung, zumeist windiges Wetter</td></tr> <tr> <td>III₂</td><td>leicht labile atmosphärische Schichtung</td></tr> <tr> <td>IV</td><td>mäßig labile atmosphärische Schichtung</td></tr> <tr> <td>V</td><td>sehr labile atmosphärische Schichtung, hohe Sonneneinstrahlung, starke vertikale Durchmischung der Atmosphäre</td></tr> </tbody> </table>	Klasse	Beschreibung	I	sehr stabile atmosphärische Schichtung, ausgeprägte Inversion, geringes Verdünnungsvermögen der Atmosphäre	II	stabile atmosphärische Schichtung, Inversion, geringes Verdünnungsvermögen der Atmosphäre	III 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
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	Windschwache, wolkenlose Strahlungswetterlagen (Hochdruckgebiet), bei denen sich lokalklimatische Besonderheiten im Mikro- und →Mesoklima ausprägen.														
Belastungsraum	→ Wirkungsraum, der bioklimatisch und/oder lufthygienisch belastet ist														
Bergwind	Talabwind: 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.														
Eistage	Klimatologische Kenngröße: Anzahl der Tage pro Jahr, an denen das Maximum der Lufttemperatur unter 0 °C liegt, d.h. es herrscht durchgehend Frost.														
Frischluff	Herantransportierte Luft, die geringer durch Luftschadstoffe belastet ist als die vorhandene Luft.														
Frosttage	Klimatologische Kenngröße: Anzahl der Tage pro Jahr, an denen das Minimum der Lufttemperatur < 0 °C beträgt.														

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.
Hageltage	Tage, an denen Hagel unabhängig von der Größe auftritt.
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.
Heiße Tage	Klimatologische Kenngröße: Anzahl der Tage pro Jahr, an denen das Maximum der Lufttemperatur $\geq 30\text{ °C}$ beträgt.
Heizgradtag	Die Gradtagzahl ist eine heiztechnische Kenngröße. Sie summieren die Differenz zwischen einer festgelegten Heizgrenztemperatur (15 °C) und der tatsächlichen mittleren Außentemperatur an Tagen, an denen geheizt werden muss.
Human-Biometeorologie	Teilgebiet der Meteorologie, das sich mit der Wirkung des Klimas, der Luftschadstoffe und der Strahlung auf den Menschen beschäftigt.
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.
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-Richtlinie 3787, Blatt 5 (2003)).
Kaltluftentstehung/ Kaltluftbildung (Kaltluftproduktion)	Bei autochthonen Wetterlagen 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 Stärke der Kaltluftbildung kann über das pro Sekunde abgekühlte Luftvolumen pro Grundfläche erfolgen.
Klimavielfalt	Fußläufige Erreichbarkeit von öffentlich zugänglichen Grün- und Freiflächen mit Aufenthaltsqualität an heißen Sommertagen für die StadtbewohnerInnen.
Klimatop	Fläche mit einer einheitlichen geländeklimatischen Eigenschaft werden in der Landschaftsökologie sowie in der Stadtklimatologie als Klimatop bezeichnet (VDI-Richtlinie 3787, Blatt 1 (2015)).
Kronenverlichtung	Die Kronenverlichtung beschreibt den sicht- und messbaren Nadel- oder Blattverlust der Baumkrone.

Konvektion	Vertikaler Luftaustausch; Aufsteigen erwärmter Luftmassen bei gleichzeitigem Absinken kälterer Luft in der Umgebung.
Kühlgradtag	Ein Kühlgradtag (Kelvin x Tage) ist eine Kennzahl zur Bewertung des sommerlichen Kühlbedarfs von Gebäuden. Er gibt an, um wie viele Grad und über wie viele Tage die Außentemperatur 18,3 °C überschreitet.
Latenter Wärmefluss	Umsetzung der Einstrahlung in die Verdunstung von Wasser, ohne eine Änderung der Lufttemperatur zu bewirken.
(Luft-) 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.
Median	Der Median oder Zentralwert bezeichnet einen Mittelwert. Der Median ist der mittlere Wert aus einer Liste an Werten, wenn diese der Größe nach sortiert werden. Der Median teilt demnach die Liste von Werten genau in der Mitte.
Mesoklima	Das Mesoklima (z.B. Stadt-, Gelände- und Regionalklima) erstreckt sich sub-regional bis lokal innerhalb der atmosphärischen → Grenzschicht und schließt Städte, Berge und Täler ein. Es wird von Relief, Klima, Oberflächenbedeckung und menschlichen Aktivitäten geprägt (Weischet & Endlicher (2018)).
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.
Neutrale (Indifferente) Schichtung	Eine neutrale oder indifferente Schichtung liegt vor, wenn ein Luftpaket bei Vertikalbewegungen stets die gleiche Temperatur wie die Umgebungsluft aufweist.
Phänologische Phase	Die Phänologie befasst sich mit den Entwicklungserscheinungen der Natur, die aufgrund der Jahreszeitenwechsel auftreten. Die Phänologischen Phasen bezeichnen dabei die verschiedenen Phasen innerhalb eines Jahres, z.B. die Frühlingsphase, welche mit dem Austrieb der Pflanzen gekennzeichnet ist.
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	Physiologisch Äquivalente Temperatur. 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.

Sommertag	Klimatologische Kenngröße: Anzahl der Tage pro Jahr, an denen das Maximum der Lufttemperatur $\geq 25^\circ\text{C}$ beträgt.
Strahlungsantrieb	Netto-Strahlungsflussdichte an der Tropopause, welche z.B. durch die veränderte Konzentration von Treibhausgasen zustande kommt.
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.
Strömungssystem	Stabil ausgebildete Kaltluftabflüsse und Flurwinde in der zweiten Nachthälfte.
Urbane Wärmeinsel	Siedlungsraum, der vor allem abends und nachts während $\rightarrow$ autochthonen Wetterlagen eine höhere Lufttemperatur aufweist als die ländliche Umgebung.
Volumenstromdichte	Die Kaltluft-Volumenstromdichte ist ein Maß für die Menge der abfließenden $\rightarrow$ Kaltluft. Sie wird angegeben in Kubikmeter pro Sekunde und Querschnitt der Breite 1 Meter über die gesamte betrachtete Luftschichtmächtigkeit.
Vulnerabilität	Die Vulnerabilität bezeichnet die Verwundbarkeit oder Verletzbarkeit der Bevölkerung aufgrund von klimatischen Extremereignissen wie beispielsweise Hitzeperioden.
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.
Wirkungsraum	Raum, in den die $\rightarrow$ Kaltluft oder $\rightarrow$ Frischluft eindringt. Ist der Wirkungsraum bioklimatisch und/oder lufthygienisch belastet wird er auch als $\rightarrow$ Belastungsraum oder belasteter Wirkungsraum bezeichnet.