STADTKLIMAANALYSE MIT POTENTIALANALYSE

STADT BENDORF



REGION

STADT

QUARTIER

Gesamtstädtische Klimaanalyse nach
VDI RL 3787 Blatt 1 mit anschließender
Potentialanalyse für Flächenentsiegelung.

INKEK Institut für Klima- und Energiekonzepte

STADT BENDORF AM RHEIN

STADTKLIMAANALYSE MIT POTENTIALANALYSE STADT BENDORF

Auftraggeberin: **Stadtverwaltung Bendorf**
Im Stadtpark 1-2
56170 Bendorf

Auftragnehmerin: **INKEK GmbH**
Institut für Klima- und Energiekonzepte
Schillerstraße 50
34253 Lohfelden

Bearbeitung: Dipl.-Ing. Sebastian Kupski
B.Sc. Tom-Jonas Werner
M.Sc. Patrick Zerhusen

Qualitätssicherung: Prof. Dr. Lutz Katzschner

Lohfelden, 24.06.2026

Sebastian Kupski, Stadtplaner-IngKH
Anerkannter beratender Meteorologe DMG
(Geschäftsführender Gesellschafter)

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

Inhalt

Seite

1 Hintergrund 5
2 Einleitung und Aufgabenstellung 6
2.1 Ziele von Stadtklimaanalysen und Stand der Technik 7
2.2 Stadtklimatische Bewertung 10
3 Methodik 12
3.1 Einführung Klimaanalysekarte 12
3.2 Erstellung von Klimaanalysekarten 13
4 Datengrundlage und Untersuchungsraum 15
4.1 Datenbestand Klimaanalyse Bendorf 15
4.2 Untersuchungsraum 16
5 Stadtklimaanalyse 18
5.1 Klimaanalysekarte anhand von Klimatopen 18
5.2 Legende der Klimaanalysekarte der Stadt Bendorf 23
5.3 Klimaanalysekarte Stadt Bendorf - 2026 24
5.4 Kaltluftmodellierung 25
5.5 Grünvolumen- und Versiegelungsanalyse 27
6 Potenzialanalyse Entsiegelung 32
6.1 Funktionskarte Cold-& Hotspots 32
6.2 Funktionskarte Anpassungspotenziale 33
6.3 Zukunftsprojektionen 35
7 Fazit 40
Quellen 41
Anlagen 43

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersicht der Planungs- und Klimaebenen (eigene Abbildung INKEK)....8

Abbildung 2: Thermischer Wirkungskomplex, bioklimatische Bedingungen im Außenraum (eigene Abbildung INKEK GmbH) 11

Abbildung 3: Schematische Darstellung der Bearbeitung (eigene Abbildung INKEK GmbH)....12

Abbildung 4: Schematische Darstellung der städtischen Wärmeinsel (eigene Abbildung INKEK GmbH) 13

Abbildung 5: Unterschiedliche Rasterweiten - links: Landnutzung, rechts: digitales Geländemodell (eigene Abbildung INKEK GmbH) 15

Abbildung 6: Entwicklung der mittleren Lufttemperatur im Naturraum Neuwieder Rheintalweitung im Zeitraum 1881-2024 (Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen 2026). 17

Abbildung 7: Schematische Darstellung der Erstellung der Klimaanalysekarte Bendorf 2026 18

Abbildung 8: Legende der Klimaanalysekarte Stadt Bendorf 2026....23

Abbildung 9: Klimaanalysekarte Stadt Bendorf 2026, ohne Maßstab (Original im Anhang) 24

Abbildung 10: Kaltlufthöhe, 3 Stunden nach Einsetzen der Kaltluftbildung. Berechnet mit dem Kaltluftmodell des Deutschen Wetterdienstes KLAM_21 (Original im Anhang)....26

Abbildung 11: Kaltluftvolumenstrom, 3 Stunden nach Einsetzen der Kaltluftbildung. Berechnet mit dem Kaltluftmodell des Deutschen Wetterdienstes KLAM_21 (Original im Anhang)....27

Abbildung 12: Grünvolumen, nur innerhalb der Ortslagen. (Original im Anhang) 28

Abbildung 13: Versiegelungsgrad, nur innerhalb der Ortslagen. (Original im Anhang)....29

Abbildung 14: Funktionskarte Versiegelung & Grünvolumen....30

Abbildung 15: Ausschnitt Klimaanalysekarte Bendorf 2026 mit Verortung der Hindernisse im Ventilationsgeschehen....31

Abbildung 16: Ausschnitt Cold- und Hotspotkarte Bendorf zur Verortung von Ausgleichs- und Lasträumen 33

Abbildung 17: Anpassungspotentiale Bendorf....34

Abbildung 18: Beispiel Maßnahmentyp A (eigene Abbildung) 34

Abbildung 19: Beispiel Maßnahmentyp B (eigene Abbildung) 34

Abbildung 20: Vergleich der Kaltlufthöhe eine Stunde nach Sonnenuntergang....36

Abbildung 21: Vergleich der Kaltlufthöhe eine Stunde nach Sonnenuntergang: Bestand mit Anpassungsmaßnahmen....36

Abbildung 22: Vergleich der Kaltlufthöhe 1h nach Sonnenuntergang. Differenz der Kaltlufthöhe ..37

Abbildung 23: Vergleich der Kaltlufthöhe 2h nach Sonnenuntergang: Bestand....38

Abbildung 24: Vergleich der Kaltlufthöhe 2h nach Sonnenuntergang: Bestand mit Anpassungsmaßnahmen....38

Abbildung 25: Vergleich der Kaltlufthöhe 2h nach Sonnenuntergang: Differenz der Kaltlufthöhe ..39

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bereiche von Hitzestress in Abhängigkeit des Bewertungsindex PET (Katzschner et al. 2010)....11

Tabelle 2: Eingangsdaten Klimaanalyse Lohne....15

1 Hintergrund

Laut der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS Fortschrittsbericht, BMUV 2020) nimmt die Stadt- und Raumplanung eine „Schlüsselrolle im Bereich der Klimaanpassung“ ein. Da sich die zunehmende Hitzebelastung negativ auf die menschliche Gesundheit auswirkt, ist im Themenbereich „Stadtklima und Luftqualität“ ein großer Handlungsbedarf gegeben. Eine zusammenfassende und aktuelle Beschreibung der Auswirkungen des Klimawandels, auf die hier Bezug genommen wird, findet sich u.a. in „Klimawandel in Deutschland“ von Brasseur et al. (2023).

Die rechtliche Grundlage der Notwendigkeit stadtklimatischer Erhebungen im Planungsprozess, auch vor dem Hintergrund des projizierten globalen Klimawandels, stellt neben dem Raumordnungsrecht insbesondere das Baugesetzbuch (BauGB) dar. Gemäß § 1 Absatz 5 Satz 2 BauGB sollen Bauleitpläne u. a. dazu beitragen, eine menschenwürdige Umwelt zu sichern sowie den Klimaschutz und die Klimaanpassung, speziell auch in der Stadtentwicklung, zu fördern. Gemäß § 1 Absatz 6 Ziffer 7 BauGB sind bei der Aufstellung von Bauleitplänen u. a. die Schutzgüter „Luft“ und „Klima“ zu berücksichtigen, entsprechend sollen Fachinformationen in Stadtklimakarten umgesetzt und durch daraus abgeleitete Planungshinweiskarten ergänzt werden.

Im Rahmen der Umsetzung des Klimaanpassungskonzeptes hat die Stadt Bendorf die Erstellung einer Stadtklimaanalyse nach den Standards des VDI (Verein Deutscher Ingenieure) mit darauf aufbauender Potentialanalyse für Entsiegelung beauftragt. Der Umfang besteht aus einer Klimaanalysekarte mit den Schwerpunkten Hitzebelastung, Kaltluftentstehung und Belüftung. Die Klimaanalysekarte soll aktuelle, hochauflösende Basisinformationen zur Charakterisierung des Stadtklimas leisten. Die daraus abgeleiteten Funktionskarten zur Versiegelung und dem Grünvolumen der Stadt haben die Aufgaben, die komplexen Ergebnisse in einer Cold-& Hotspot-Analyse zusammenzuführen und Planungshinweise im gesamtstädtischen Kontext zu verorten.

2 Einleitung und Aufgabenstellung

Um das formulierte Ziel einer nachhaltigen Anpassung an die Folgen des Klimawandels zu erreichen, werden mehrere Grundlagen erarbeitetet, die aufeinander aufbauen und in der Zusammenschau eine Gesamtstrategie ergeben. Dabei wird die Beantwortung der Kernfrage nach den lokalen Betroffenheiten und den unterschiedlichen stadtklimatischen Situationen in einer Stadt wie Bendorf durch eine umfassende Stadtklimaanalyse nach VDI-Richtlinie erreicht. Dieses Verfahren garantiert ein zielgerichtetes Vorgehen und die Verortung der notwendigen Maßnahmen am dafür idealen Platz.

Das Jahr 2025 zählt laut dem Jahresbericht des Deutschen Wetterdienstes (DWD) zu den zehn wärmsten Jahren seit Beginn der Wetteraufzeichnungen im Jahr 1881. Insbesondere heiße Tage sind belastend für den menschlichen Körper und wirken sich somit direkt auf die Gesundheit aus. Auch bauliche Infrastrukturen können durch dauerhaft hohe Temperaturen beeinträchtigt werden und urbane Lebensqualität mindern.

Das Stadtklima setzt sich aus zwei Komponenten zusammen, da es sowohl durch thermische (Überwärmung) als auch dynamische Aspekte (Belüftung) geprägt wird. Starken Einfluss hat dabei der Mensch, da durch seinen Eingriff in die Umwelt auch die klimatischen Bedingungen beeinflusst und verändert werden. Ausgehend von einem hohen Versiegelungsgrad der Oberflächen, dem teilweise sehr geringen Vegetationsanteil, der Wärmespeicherfähigkeit der verwendeten Materialien sowie dem eingeschränkten Luftaustausch aufgrund der hohen Bodenrauigkeit stellt der städtische Raum im Vergleich zum Umland eine veränderte klimatische Ausgangslage dar. Darüber hinaus wird das Stadtklima auch im Bezug zum Klimawandel betrachtet und bewertet (Kuttler et al. 2023).

Ziel dieser Untersuchung ist es, das Bendorfer Stadtgebiet in der Ist-Situation detailreich zu analysieren, um Grundlagen für die räumliche Interpretation der Klimawirkung von Vegetation, Baudichten bzw. Bauhöhen zu erhalten. Auf diese Weise sollen flächenbezogene Aussagen ermöglicht werden. In der generierten Klimaanalysekarte (KAK) können die klimatischen Wechselwirkungen der Klimatope (d. h. Gebiete ähnlicher mikroklimatischer Ausprägung) sowie lokale als auch regionale dynamische Prozesse (z. B. Luftleitbahnen, Kalt- und Frischluftabflüsse) abgelesen werden. Geeignete Wetterlagen für stadtklimatische Untersuchungen laut DMG (Deutsche Meteorologische Gesellschaft) sind:

„Für das Erkennen von lokalklimatischen Einzelheiten geeignete Wetterlagen sind von hohem Luftdruck geprägt, bei denen nur geringe Windgeschwindigkeiten auftreten und nur geringe oder keine Bewölkung vorhanden ist. Die geringe Windgeschwindigkeit verhindert die Zufuhr von neuen Luftmassen: Innerhalb einer einheitlichen Luftmasse erreichen die lokalklimatischen Eigenheiten ihre größten Gegensätze. Geringe oder fehlende Bewölkung bewirkt einen sehr ausgeprägten Tagesgang nahezu aller Klimaelemente, z. B. Temperatur, Feuchte und Wind.“

2.1 Ziele von Stadtklimaanalysen und Stand der Technik

Der klimawandelbedingte Temperaturanstieg wird sich in Stadtgebieten verstärkt auswirken. Die Zunahme an austauscharmen Strahlungswetterlagen vermehrt den Hitzestress vor allem innerhalb windschwacher Stadträume. Zu beachten ist somit, wie sich der Wärmeinseleffekt und die Belüftung auf die Lufthygiene und den thermischen Komfort auswirken.

Damit Leistungsfähigkeit, Wohlbefinden und Gesundheit von Menschen in Städten auch zukünftig gesichert sind und lebenswerte urbane Räume weiterhin ermöglicht werden, muss die Planung schon heute städtebauliche Prozesse so optimieren, dass die thermischen Belastungen auch unter extremen Hitzebedingungen sowohl im Freien als auch in den Innenräumen auf ein erträgliches Maß begrenzt bleiben. Praxistaugliche Planungsleitfäden werden auf den unterschiedlichen Ebenen in den Bundesländern entwickelt. Solche Konzepte zeigen u. a. auf, in welcher Weise in bestehenden städtischen Strukturen der Hitzestress für Menschen minimiert werden kann, sodass ihr thermischer Komfort nur in erträglichem Ausmaß beeinträchtigt wird.

Richtlinien werden vor dem Hintergrund einer stadtplanerischen Anwendung erstellt, um mit einheitlicher und standardisierter Untersuchungsmethodik und Ergebnisdarstellung zur Bewertung des Stadtklimas zu kommen (Baumüller und Katzschner 2023). Bei der Berücksichtigung von Klima und Lufthygiene im Bereich der Stadtplanung ist es von größter Bedeutung, nicht nur auf die Darstellung der großräumigen, mittleren klimatischen Verhältnisse einzugehen. Zu empfehlen ist die differenzierte Betrachtung der einzelnen innerstädtischen Bereiche unter Berücksichtigung der großräumigen Einflüsse. Dies sollte anhand einer ausgeprägten windschwachen Strahlungswetterlage, welche die lokalklimatischen Belastungen am stärksten ausbildet, geschehen. So können gegenseitige Wechselwirkungen und Summationseffekte realitätsnah herausgearbeitet werden und in Planungshinweise für eine klimasensible Entwicklung übersetzt werden.

Das Mesoklima wird danach typischerweise der Stadtentwicklungsplanung und dem Flächennutzungsplan im Maßstab 1:25.000 bis 1:10.000 zugeordnet, während die verbindliche Bauleitplanung im Maßstab ab 1:5.000 auf der mikroklimatischen Ebene bearbeitet werden muss (siehe Abbildung 1).

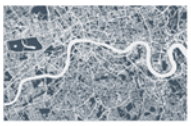
PLANUNGSEBENE		KLIMAEBENE		FACHBEITRAG KLIMA	ANPASSUNGSTRATEGIEN
Regionalplan M 1:100.000		MESO-KLIMA	**REGIONALKLIMA** Thermisch und topografisch bedingte Prozesse Modellauflösung 50 - 100m	Klimazone, Regionalklimaanalyse (Luftaustauschprozesse, Überwärmung)	Vorrang- und Vorbehaltsgebiete „Klima“ (Luftaustausch und Flächenverteilung)
Stadtentwicklung / Flächennutzungsplan M 1:10.000			**STADTKLIMA** Klimatope, Stadtstrukturtypen, „local climat zones“ Modellauflösung 10 - 20m	Wechselwirkung Oberfläche – Atmosphäre Stadtklimaanalyse (Wärmeinsel Stadt, Belüftungsstrukturen)	Festsetzungsempfehlung „Klima“ (Vernetzung von Grünflächen, Belüftungskorridore, Flächennutzung, Gebäudevolumen)
Bauleitplanung / Stadtteil, Bezirk M 1:5.000			**FREIRAUMKLIMA** Versiegelung, Gebäudekomplex und Vegetationsverteilung Modellauflösung 2 - 10m	Stadtklimaanalyse (Lokaler Luftaustausch Thermische Wechselwirkungen)	Maß der baulichen Nutzung (Gebäudestruktur, Freiflächenverteilung, Vernetzung und Ausstattung von Grünflächen, Belüftung)
Freiraumplanung Quartier M 1:2.000		MIKRO-KLIMA	**LOKALKLIMA** Straßenraum- und Innenhofklima Modellauflösung ≤ 2m	Mikroklimaanalyse (Bioklima, Temperaturen, Strahlung, Wind)	Freiraumgestaltung (Gebäudestellung, Oberflächen, Versiegelung sowie Vegetationsart und –verteilung)
Objektplanung M 1:1.000			**GEBÄUDEKLIMA** Einzelne Bauwerke, Bäume, Materialien und Farben Modellauflösung ≤ 1m	Mikroklimaanalyse (Bioklima, Strahlungsbilanzen und Gebäudeumströmung)	Auswirkung auf den Menschen (Schattenwurf, Oberflächen, Versiegelung)

Abbildung 1: Übersicht der Planungs- und Klimaebenen (eigene Abbildung INKEK)

Stadtklimatologie erstreckt sich über die Bereiche Stadtplanung und Architektur, Gebäude- und Bauleitplanung sowie Quartiers- und Stadtentwicklungsplanung. Sie unterstützt den Anwender bei der Bewertung der thermischen und lufthygienischen Situation und der Auswirkung von Neubauflächen, Innenentwicklungs- oder Konversionsmaßnahmen, Stadtrückbau sowie Einzelbaumaßnahmen. Die Berücksichtigung des Klimas in der Stadtplanung erfordert eine detaillierte Kenntnis der Wechselwirkungen zwischen den städtischen Faktoren und der Atmosphäre.

Der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) verfasst Richtlinien und standardisierte Verfahren zur Erstellung von Klimaanalysekarten, um sie vergleichbar zu machen. Hierzu existieren einschlägige VDI-Richtlinien der Reihe 3787.

Vorgehensweise nach **VDI RL 3787 Blatt 1** (Umweltmeteorologie – Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen: 2015-09):

In der vorliegenden Richtlinie wird beschrieben, wie stadtklimatische Sachverhalte in Karten dargestellt, bewertet und über daraus abgeleitete Hinweiskarten für die Planung nutzbar gemacht werden können.

Diese Karten stellen eine wichtige Grundlage für die Flächennutzungs- und Bauleitplanung auf kommunaler und regionaler Ebene dar und gewinnen im Zuge des Klimawandels und der Umweltgerechtigkeit zunehmend an Bedeutung.

*Hinsichtlich der dargelegten Aspekte zur Human-Biometeorologie wird auf die Richtlinie **VDI 3787 Blatt 2** (Umweltmeteorologie – Methoden zur human-biometeorologischen Be-*

wertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung – Teil I: Klima) verwiesen, die wichtige, im Rahmen von Bewertungen der Wärmebelastung zu berücksichtigenden Faktoren ausführlich beschreiben und zudem die Grundlage dieser Richtlinie darstellen.

***VDI 3787 Blatt 5** (Umweltmeteorologie – Lokale Kaltluft) schildert die Notwendigkeit, lokale Kaltluft in der Raumplanung zu berücksichtigen. Dies ergibt sich u. a. daraus, dass die Nutzung von Freiräumen in deutlicher Wechselwirkung mit Kaltluftentstehung und Kaltluftströmung steht. Des Weiteren gewinnt die lokale Kaltluft über die bisherige Evidenz hinaus durch den projizierten Klimawandel an Bedeutung.*

Zusammenfassend werden in den relevanten Richtlinien folgende stadtklimatisch Fragestellungen aufgegriffen (Baumüller und Katzschner 2023):

- räumliche Ausprägung und Wirksamkeit des Luftmassenaustauschs (Be- und Entlüftung);
- räumlich zeitliche Ausprägung der thermischen und lufthygienischen Aspekte des Stadtklimas bzw. Auftreten von thermischen Belastungen (Besonnungs-, Verschattungsverhältnisse);
- räumliche Darstellung und Bewertung der Wirkungs- und Belastungsräume;
- energetische Optimierung durch Standortbestimmung aus der Stadtklimaanalyse mit Überwärmungsräumen und Kaltluftgebieten, Baudichte.

Die Aufgabe einer planungsbezogenen Stadtklimatologie ist die Verbesserung der lufthygienischen und thermischen Bedingungen (Katzschner 2004):

- Abbau von Wärmeinseln (Wärmeinsel als Indiz für den thermischen Komfort), Freiraumplanung;
- Optimierung der städtischen Belüftung (Luftaustausch, Luftleitbahnen), Stadtplanung und Stadtentwicklung für die Lufthygiene und den thermischen Komfort;
- Vermeidung von Luftstagnation bei Inversionswetterlagen, Vermeidung von Barrieren für den Luftaustausch;
- Erhaltung und Förderung von Frischluft- oder Kaltluftentstehungsgebieten für den Luftaustausch und somit zur Verbesserung der lufthygienischen Situation.

Planungsrelevanz

In diesem Fachgutachten werden Stadträume hinsichtlich heißer, sommerlicher Tage bewertet (VDI 2024). Grund hierfür ist der nachgewiesene Zusammenhang zwischen der thermischen Belastung und gesundheitlichen Beeinträchtigungen. Diese Tatsache wird in Zukunft durch den Einfluss des Klimawandels auch die Morbidität und Mortalität signifikant steigern (Schlegel und Mücke 2021) und somit die Planungsrelevanz „Stadtklima“ noch stärker erhöhen.

Die berücksichtigten Richtlinien haben nicht den Status von Verordnungen oder Grenzwerten, so dass die hier getroffenen Aussagen informellen Charakter haben. Ergebnisse und abgeleitete Planungshinweise beziehen sich auf einen konkreten Ort und sollen die lokalen klimatischen Bedingungen verbessern, wodurch sie einen wichtigen Teil der Abwägungen im Planverfahren für eine klimasensible Entwicklung darstellen.

Planungshinweise verfolgen eine Verbesserung der klimatischen Bedingungen vor Ort heute und im Zuge des Klimawandels. Eine verbindliche Einhaltung stadtklimatischer Parameter, vergleichbar mit Grenzwerten, kann nicht verlangt werden.

2.2 Stadtklimatische Bewertung

Grundlage der analysierten Klimatope bzw. deren Abgrenzungen bilden der stadtklimatische Bewertungsindex „physiologisch äquivalente Temperatur“ (physiological equivalent temperature, PET) (vgl. Höppe 1999) und die nächtliche Kaltluftzufuhr.

Die biometeorologische Kenngröße PET beschreibt unter Berücksichtigung der thermophysiologischen Zusammenhänge das thermische Empfinden des Menschen (Brandenburg und Matzarakis, 2007) und ist somit eine physikalische Kenngröße für das Wohlbefinden, das vom thermischen Wirkungskomplex, bzw. den bioklimatischen Bedingungen im Außenraum abhängig ist (siehe Abbildung 2). Dabei liegt das Behaglichkeitsniveau des Menschen bei einem PET-Wert zwischen 18 - 24 °C. Neutralität herrscht dann, wenn so viel Wärme vom menschlichen Körper aufgenommen wird, wie selbstständig wieder abgegeben werden kann.

Die nächtliche Kaltluft kann gerade bei einem ausgeprägten Relief die nächtliche Wärmebelastung reduzieren. Als thermisch bedingtes Windsystem während austauscharmer Wetterlagen können Kaltluftabflüsse überwärmte Stadträume entlasten. Eine Bewertungsgröße stellt der Kaltluftvolumenstrom [in $m^3/(s*m)$] und dessen Belüftungsfunktion von Siedlungsbereichen dar (Katzschner und Kupski 2019).

Für die stadtklimatische Bewertung werden die beiden Parameter für die Grün- und Freiräume, sowie für die Siedlungsräume zunächst getrennt voneinander in die Planungshinweiskategorien eingeordnet. Im Folgeschritt findet eine Verortung der Klimafunktionen (Kaltluftabfluss) und weiteren Wechselwirkungen statt.



Abbildung 2: Thermischer Wirkungskomplex, bioklimatische Bedingungen im Außenraum (eigene Abbildung INKEK GmbH)

Um Fehlinterpretationen vorzubeugen, werden die PET-Werte (angegeben in °C) in Abhängigkeit des Stressniveaus des Menschen in die Kategorien der Tabelle 1 eingeordnet.

Tabelle 1: Temperaturbelastung in Abhängigkeit des Bewertungsindex PET (Katzschner et al. 2010)

PET (°C)	subjektives Empfinden	Stressniveau
> 42	sehr heiß	extremer Hitzestress
35 – 41	heiß	starker Hitzestress
29 – 34	sehr warm	moderater Hitzestress
25 – 28	warm	schwacher Hitzestress
18 – 24	neutral	kein thermischer Stress
13 – 17	kühl	schwacher Kältestress
< 13	kalt	Kältestress

3 Methodik

Im Folgenden werden die in diesem Bericht dargestellten Analyseschritte und Karten sowie deren Erstellung erläutert. Seit 2013 wird dazu das Modell *mod_GIS* erfolgreich bei einer Vielzahl nationaler und internationaler Stadtklimaanalysen eingesetzt (siehe Abbildung 3). Das Modell wird fortlaufend in unterschiedlichen Forschungsprojekten weiterentwickelt und durch differenzierte Messkampagnen in der Genauigkeit der Aussagekraft verbessert, so dass zielgerichtete Funktionskarten und praxisorientierte Syntheseschritte transparent erstellt werden können.

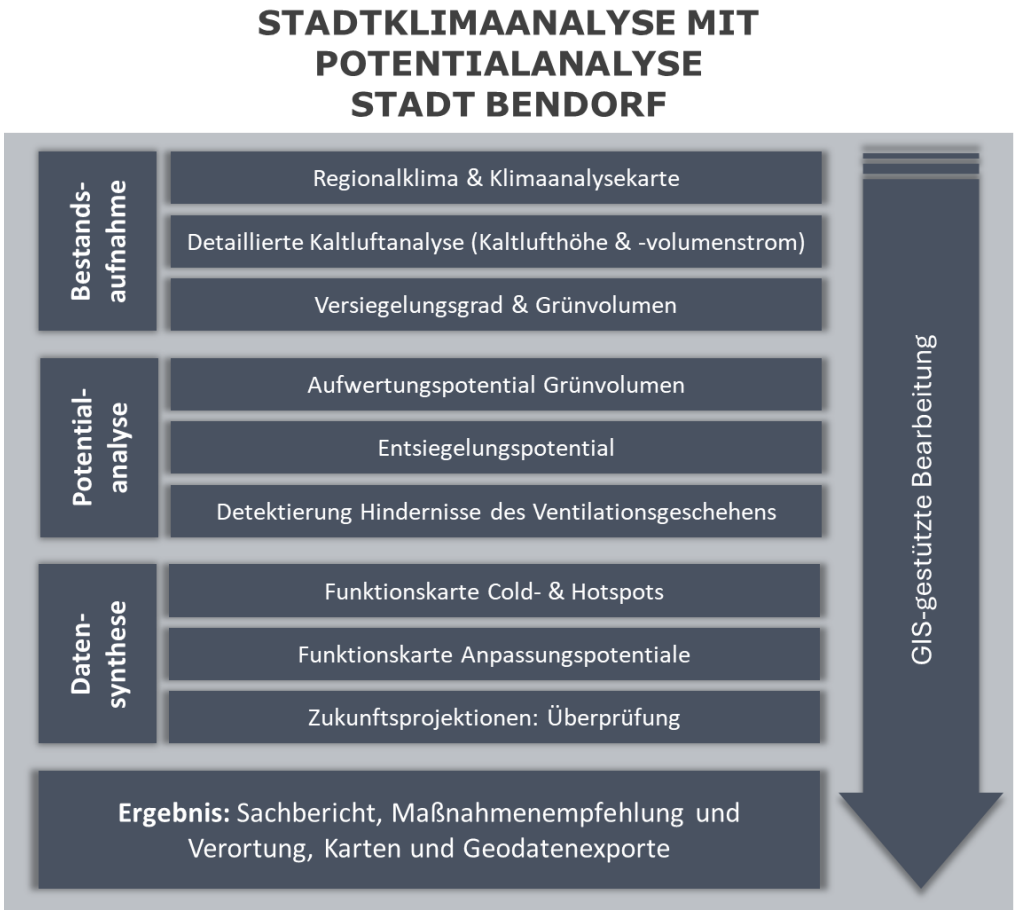


Abbildung 3: Schematische Darstellung der Bearbeitung (eigene Abbildung INKEK GmbH)

3.1 Einführung Klimaanalysekarte

Eine Klimaanalysekarte (ehem. Klimafunktionskarte genannt) stellt ein klimaökologisches Gutachten dar, welches für eine bestimmte geografische Verortung angefertigt wird. In den VDI-Richtlinien (insbesondere VDI-RL 3787 Blatt 1) wird die Vorgehensweise zur Generierung einer Klimaanalysekarte festgelegt. Grundlage ist stets die Analyse der Ist-Situation, also eine möglichst präzise Abbildung der realen Klimafunktionen im Untersuchungsraum. Für eine komplexe Abbildung des Bestands ist eine entsprechende Datenbasis Grundvoraussetzung. Aus klimaökologischen Gesichtspunkten sind Faktoren wie Relief und Fließgewässer ein erster Anhaltspunkt, um die natürlichen Bedingungen abzubilden.

Analog hierzu spielen die anthropogenen Einflüsse eine entscheidende Rolle. Gerade in bebauten Gebieten hat die vom Menschen verursachte Veränderung der Erdoberfläche den größten und in den meisten Fällen auch negativsten Einfluss. Deshalb werden ebenso Daten bezüglich der Flächennutzung und Gebäudeinformationen benötigt. Je detaillierter die Eingangsdaten vorliegen, umso präziser und kleinteiliger können die Analysen ausfallen.

Neben den Geoinformationen ist das Wissen um klimarelevante Parameter von Bedeutung. Dabei sind die Lage eines verdichteten Stadtgebietes in Bezug auf Belüftung und regionale Windsysteme von besonderer Bedeutung. Aber auch lokale und kleinräumige Windzirkulationen entwickeln sich durch physikalische Prozesse und werden im Rahmen der Klimaanalysekarte berechnet. Die räumliche Ausprägung der städtischen Wärmeinsel (UHI = Urban Heat Island) (siehe Abbildung 4) kann so bestimmt werden.

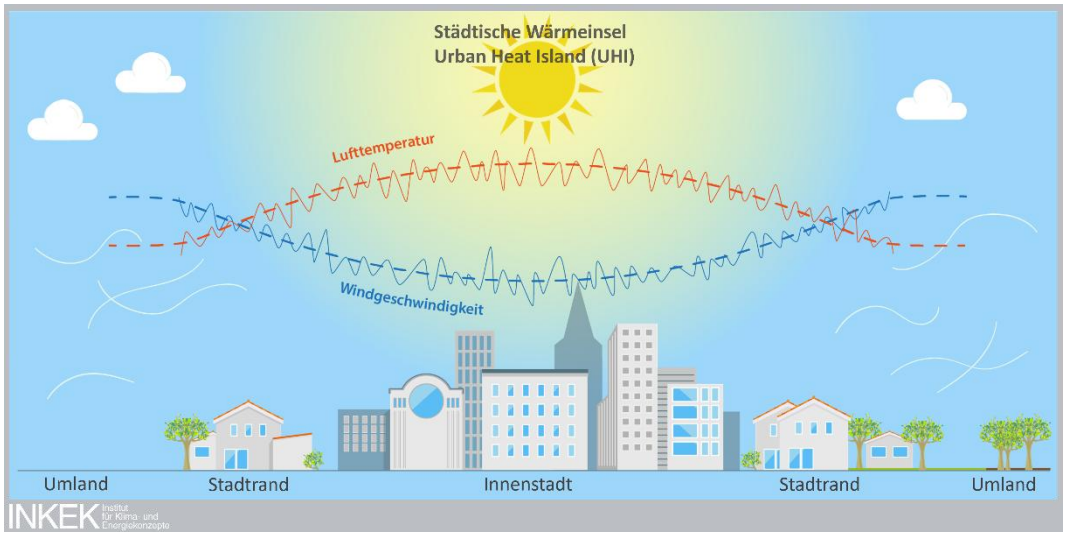


Abbildung 4: Schematische Darstellung der städtischen Wärmeinsel (eigene Abbildung INKEK GmbH)

3.2 Erstellung von Klimaanalysekarten

Bei der statistischen Verknüpfung verschiedenster Sachinformationen ist die Gewichtung bzw. die Einflussnahme der einzelnen Faktoren von großer Bedeutung. Da diese Faktoren aus klimatischen Gründen von Untersuchungsraum zu Untersuchungsraum variieren, besteht derzeit noch kein automatisiertes System zur Erstellung einer Klimaanalysekarte, eine Experteneinschätzung ist notwendig.

Klimatische Rahmenbedingungen sind sehr heterogen, was durch die geografische Lage und der Geländehöhe des Untersuchungsgebietes über dem Meeresspiegel oder durch eine kontinentale bzw. maritime Beeinflussung verursacht wird. Somit ist eine vorgeschaltete (regional-)klimatische Einordnung unumgänglich. Neben diesen übergeordneten Faktoren gibt es eine Vielzahl kleinräumiger Einflüsse. Auf einer kleineren Ebene können un-

terschiedliche Effekte wie Binnengewässer oder Tallagen die örtlichen klimatischen Verhältnisse stark prägen. Im weiteren Ablauf ist stets ein ausreichend großer Ausschnitt (der klimatische Wirkraum) als abgegrenzter Untersuchungsraum zu betrachten.

Grundlegende klimaökologische Faktoren werden in Themen aufgearbeitet. Nach der Gruppierung der Themen in die beiden klimatischen Komponenten Dynamik und Thermik, die beide unterschiedlichen Einfluss auf die jeweiligen Ebenen des Stadtklimas haben, wird durch spezifische Funktionen und Algorithmen mit anschließender Generalisierung (Mesoklima) die Klimaanalysekarte aggregiert.

Die dynamische Komponente beinhaltet Luftbewegungen unterschiedlicher Skalierung, regionale Strömungen und lokale Windsysteme. Ein zusätzlich entscheidendes Thema der Dynamik ist die Einflussnahme der nächtlichen Kaltluft. Die entsprechenden Themenkarten wurden auf Grundlage des „Digitalen Geländemodells“ (DGM), der Oberflächenrauigkeit der unterschiedlichen Landnutzungstypen und von Windstatistiken angefertigt.

Das klimatische Wechselspiel beinhaltet neben der Belüftungssituation die thermischen Eigenschaften der Erdoberfläche. Da diese Komponente die Basis darstellt und dementsprechend flächendeckend kartiert sein muss, wurde als Grundlage das aktuelle digitale Landschaftsmodell der Region Bendorfs verwendet. Dieser detaillierte Eingangsdatensatz wird um weitere Themen ergänzt, wobei der Oberflächenversiegelungsgrad Aufschluss über die Wärmespeicherkapazität und nächtliche Abkühlung gibt. In diesem Zusammenhang ist die Albedo (Rückstrahlvermögen) der Oberfläche eine zentrale Größe (Kupski 2017), da unterschiedliches Reflexions- und Absorptionsverhalten maßgeblich den Wärmehaushalt der städtischen Grenzschicht bestimmen (Oke 2006). In diesem Themenfeld ist der Effekt der Wärmeinsel Stadt besonders gut erkennbar, denn durch die Erwärmung der künstlichen Baumaterialien, gekoppelt mit der hohen Wärmespeicherleistung und der langsamen Abkühlrate, werden gerade in den Nachtstunden höhere Lufttemperaturen als im unbebauten Umland verursacht (Kuttler 2019, Scherer 2023).

4 Datengrundlage und Untersuchungsraum

Für die Erstellung der Klimastudie wurden unterschiedliche Geodaten und Klimadaten verwendet. Dabei wurde darauf geachtet, dass das Regionalklima ausreichend berücksichtigt wird. Da eine Stadt in das regionale Klimageschehen eingebettet ist, musste der gesamte „Klimaraum“ (Bereich, der für die Untersuchung klimatisch relevant ist) abgedeckt werden.

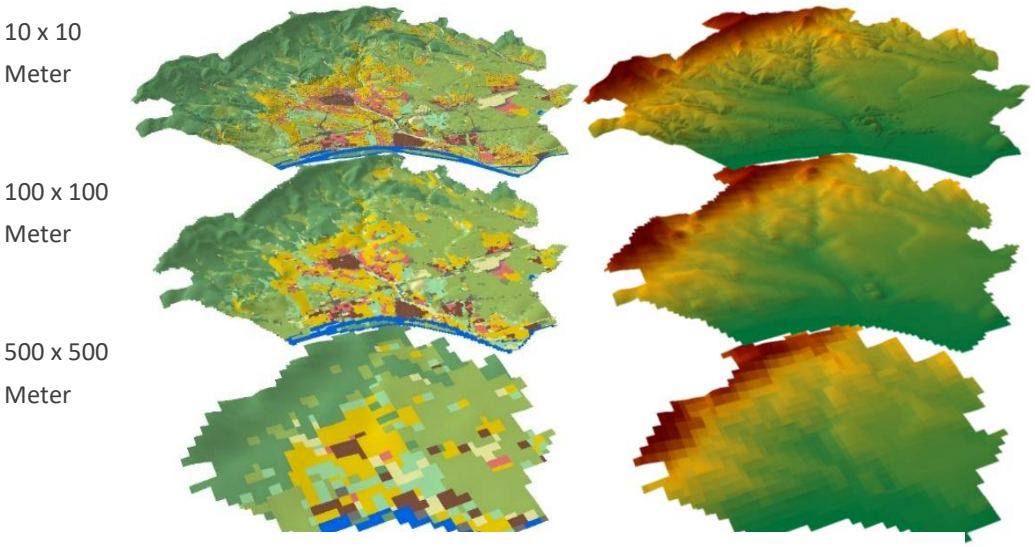


Abbildung 5: Unterschiedliche Rasterweiten - links: Landnutzung, rechts: digitales Geländemodell (eigene Abbildung INKEK GmbH)

4.1 Datenbestand Klimaanalyse Bendorf

Die digitalen Eingangsdaten sind Tabelle 2 zu entnehmen.

Tabelle 2: Eingangsdaten Klimaanalyse Bendorf

Nr.	Datensatz
1	ATKIS® Basis-DLM und ALKIS® Daten Rheinland-Pfalz (Landnutzung) (LVermGeo 2024)
2	Gebäudegrundrisse und Gebäudehöhe (LVermGeo 2026)
3	DGM (Digitales Geländemodell) (LVermGeo 2024)
4	DOM (Digitales Oberflächenmodell) (LVermGeo 2026, Aktualität 2024)
5	DOP (Digitales Orthophoto) RGBI (→ NDVI Vegetationsindex) (LVermGeo 2026, Aktualität 2025)
6	TopPlusOpen (Hintergrundkarte) (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie 2026)

Bei der Nutzung digitaler Eingangsdaten ist die räumliche Auflösung von hoher Bedeutung. Je feiner (detaillierter) die Eingangsdaten vorliegen, desto genauer und flächenschärfer können die Ergebnisse generiert werden. Die Qualität der Ergebnisse ist demnach sehr stark von der Qualität und Aktualität der Eingangsdaten abhängig.

In Abbildung 5 werden unterschiedliche Auflösungen von zwei Beispieldatensätzen dargestellt. Je feiner die Rasterweite (Auflösung) gewählt wird, desto mehr Rechenzeit muss allerdings aufgewendet werden. Demnach muss eine solche Rasterweite gewählt werden, die die lokalklimatischen Besonderheiten erfasst und gleichzeitig die praktische Umsetzbarkeit und spätere Anwendungsmöglichkeit gewährleistet.

4.2 Untersuchungsraum

Die Stadt Bendorf gehört zum Landkreis Mayen-Koblenz in Rheinland-Pfalz und liegt rechtsrheinisch zwischen Koblenz und Neuwied. Gemäß Landesplanung ist die Stadt als Mittelzentrum ausgewiesen. Das Stadtgebiet umfasst eine Fläche von 24,12 km² und gliedert sich neben der Kernstadt Bendorf in drei weitere Stadtteile: Sayn, Mülhofen und Stromberg. Die Einwohnerzahl beträgt rund 17.000 Personen.

Bendorf liegt im Mittelrheinischen Becken, das sich im Landschaftsgefüge des Rheinischen Schiefergebirges zwischen dem Mittelrhein und der unteren Mosel erstreckt. Das Neuwieder Becken, in dem Bendorf liegt, ist eine Talweitung am Rhein und grenzt rechtsrheinisch an den Westhang des Westerwaldes. Topographisch weist Bendorf eine hohe Variabilität auf. Unmittelbar entlang des Rheins liegen die tiefsten Orte mit ca. 60 m ü. NHN. Die Innenstadt der Kernstadt befindet sich auf einer Höhe von etwa 90 m ü. NHN unmittelbar am Rheinufer, während die östlichen Stadtteile Mülhofen und Stromberg bereits in die bewaldeten Randanhöhen des Westerwaldabhangs aufsteigen und deutlich höhere Lagen erreichen. Von diesen Höhenlagen aus erstrecken sich mehrere Bäche in Richtung des Rheins. Dazu gehören der Brexbach, Saynbach und Großbach, welche im Stadtgebiet in das Neuwieder Becken münden und die östlich angrenzenden Höhenzüge entwässern.

Das Klima Bendorfs ist durch die Beckenlage geprägt und zählt zu den wärmsten und niederschlagsärmsten Lagen in Rheinland-Pfalz. Der mittlere Jahresniederschlag beträgt 658 mm und liegt damit im unteren Drittel der in Deutschland erfassten Werte. Die Jahresmitteltemperatur liegt aufgrund der rheintalseitigen Kaltluftstauung und der windabgewandten Lage gegenüber atlantischen Fronten mit etwa 10–11 °C im oberen Bereich für Mittelgebirgslagen. Diese klimatische Gunst, die sich auch in einer langen Vegetationsperiode und einem geringen Spätfrostrisiko äußert, begünstigte historisch die landwirtschaftliche Nutzung des Beckenrandes und ist im Kontext von Hitzebelastung heute von besonderer Relevanz: Die Tallage, die geringe Durchlüftung und die hohe Siedlungsdichte am Rheinufer begünstigen in Strahlungswetterlagen die Ausbildung urbaner Wärmeinseln mit überdurchschnittlichen Temperaturen.

Wenn auch die Jahresmitteltemperaturen einzelner Jahre schwanken, zeigt sich auch für den Landkreis Mayen-Koblenz ein eindeutiger Trend der Temperaturzunahme in den vergangenen Jahrzehnten, welche das Problem der Hitzebelastung verstärkt (siehe Abbildung 6).

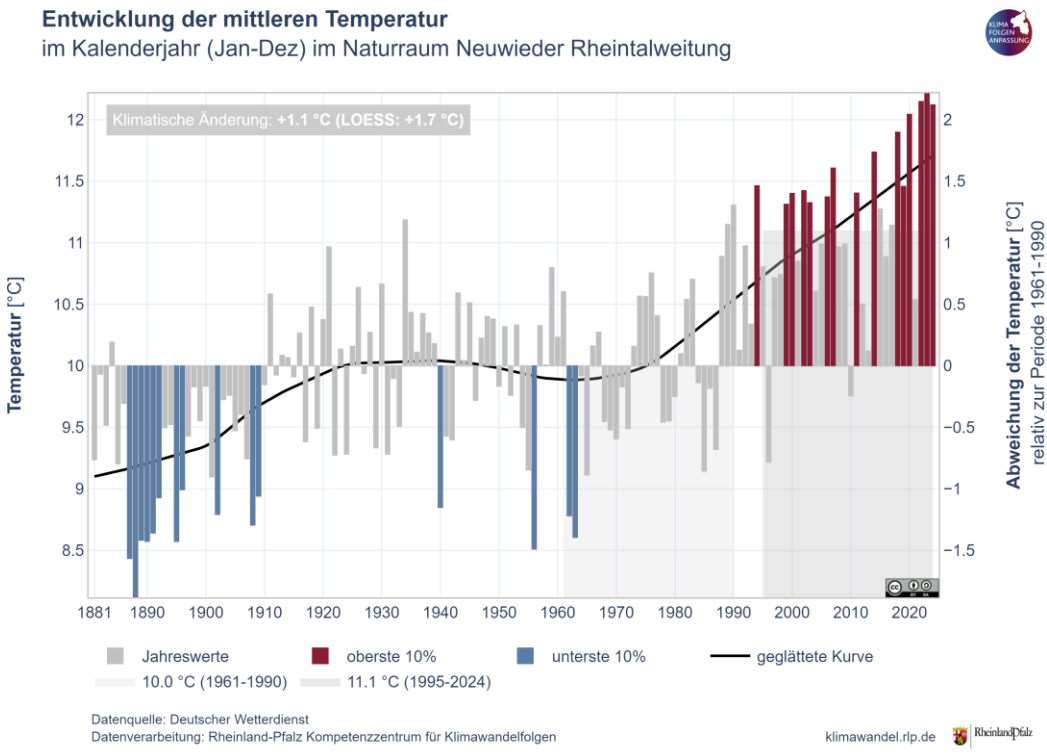


Abbildung 6: Entwicklung der mittleren Lufttemperatur im Naturraum Neuwieder Rheintalweitung im Zeitraum 1881-2024 (Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen 2026).

5 Stadtklimaanalyse

Alle in der Klimaanalysekarte 2025 gezeigten Ergebnisse beziehen sich auf die bis 2025 ausgewerteten Daten zu baulichen Entwicklungen und Flächeninanspruchnahme. Ziel des Kapitels ist die Modellierung des aktuellen Stadtklimas 2025 in seinem funktionellen Wirkgefüge. Die aktuelle Situation (Bestand) wird dazu hinsichtlich der klimatischen Verhältnisse sowie möglicher Potentiale, Defizite, Konflikte und Betroffenheiten analysiert.

Eine Klimaanalysekarte stellt dabei die Basis der räumlichen Klimaeigenschaften einer Bezugsfläche dar, die sich aufgrund der Flächennutzung und Topografie einstellen. Dargestellt werden darin die thermischen und dynamischen Verhältnisse (siehe Abbildung 7). Eine Einordnung dieser Verhältnisse erfolgt durch die Legende.

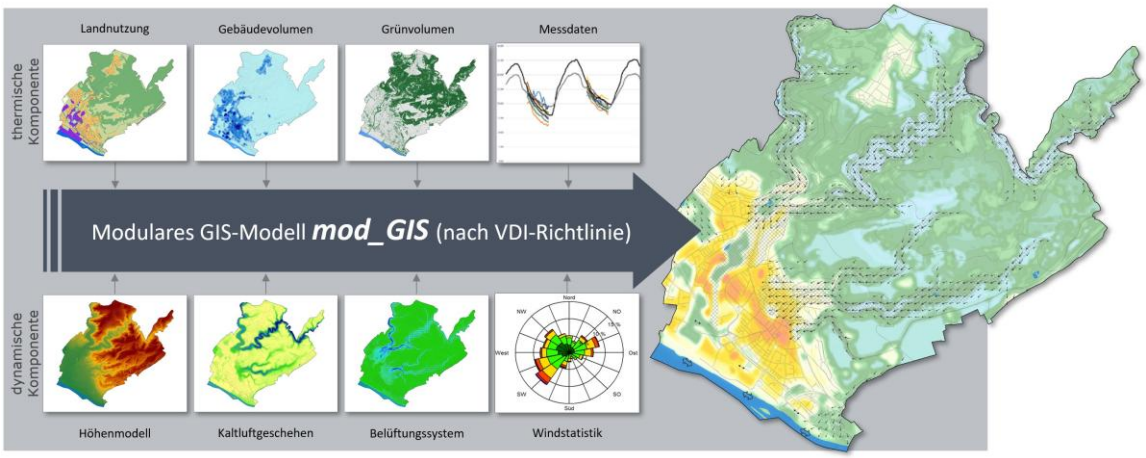


Abbildung 7: Schematische Darstellung der Erstellung der Klimaanalysekarte Bendorf 2026

5.1 Klimaanalysekarte anhand von Klimatopen

Klimatope bezeichnen räumliche Einheiten, in denen die mikroklimatisch wichtigsten Faktoren relativ homogen und die mikroklimatischen Bedingungen wenig unterschiedlich sind (VDI-RL 3787 Blatt 1).

Die Legende ist in sechs Klimatope unterteilt, welche farblich zugeordnet sind. Zusätzlich gibt es in dieser Legende eine kurze Beschreibung zur Einordnung der Funktionen. Die klimaökologische Wertigkeit ist an der linken Seite angedeutet und verläuft von sehr wertvoll (+) für die naturnahen Klimatope bis hin zu defizitär (-) für die Belastungsbereiche.

Eine wichtige Grundlage für die Charakterisierung der Klimatope ist der aufgeführte thermische Index PET (Höppe 1999). Er beschreibt und bewertet die Eigenschaften und die Wirkung der Klimatope im Tagesgang der Klimaanalysekarte auf den Menschen und vermittelt das Stressniveau (siehe Kapitel 2.2). Grundlage bilden die Untersuchungen über das thermische Empfinden aus verschiedenen Forschungsprojekten, z. B. im Rahmen der „klimazwei-Projekte“ (Katzschner et al. 2010). Die Wärmebelastung (engl. heat load) wird an der rechten Seite der Legende qualitativ dargestellt.

Klimatopbeschreibung nach VDI-Richtlinie 3787 Blatt 1:

Im Folgenden werden die Klimatope laut VDI-Richtlinie 3787 aufgelistet, welche in der Klimaanalysekarte der Stadt Bendorf zum Teil nur implizit vorhanden, jedoch inhaltlich berücksichtigt sind. Das bedeutet, nicht alle hier erwähnten Klimatope sind in der Legende der Klimaanalysekarte Bendorf (Kapitel 5.2) enthalten, weil ihre Aussagekraft als separates Klimatop beschränkt ist. Ihre Funktionen sind aufgenommen und ähnlichen Klimatopen zugeordnet.

Gewässerklima (implizit vorhanden)

Aufgrund der hohen Wärmekapazität von Wasser kommt es an den Oberflächen von Gewässern zu nur schwachen tagesperiodischen Temperaturschwankungen, das heißt Wasserflächen sind am Tag relativ kühl und nachts vergleichsweise warm. Sie können daher das lokale Klima stark beeinflussen. Jedoch bleibt ihr klimatischer Einfluss in der Regel lediglich auf das Gewässer selbst und die unmittelbaren Randbereiche beschränkt.

Ein positiver Effekt für die klimatische Situation wird durch die geringe Rauigkeit von Gewässerflächen bewirkt, wodurch Austausch- und Ventilationsverhältnisse begünstigt werden. Dadurch ist eine Wirkung als funktionstüchtige Luftleitbahn möglich.

Freilandklima

Freilandklimatope stellen sich überwiegend über unbewaldeten, vegetationsbestandenen Außenbereichen ein. Sie zeichnen sich durch ungestörte Tagesgänge von Lufttemperatur und -feuchte und weitgehend unbeeinträchtigte Windströmungsbedingungen aus und wirken als Kaltluftentstehungsgebiete. Da in den Freilandbereichen selten Emittenten für Luftschadstoffe vorkommen und bei geeigneten Wetterlagen in den Nachtstunden Kaltluftmassen gebildet werden, können diese Bereiche eine sehr hohe Ausgleichsfunktion für die human-biometeorologisch und lufthygienisch belasteten, bebauten Bereiche besitzen.

Waldklima

Das Klima im Stammraum eines Waldes wird durch den Energieumsatz (verminderte Ein- und Ausstrahlung) bestimmt. Dichte und höher wachsende Baumvegetation führt zu gedämpften Tagesgängen von Lufttemperatur und -feuchte sowie zu niedrigen Windgeschwindigkeiten im Bestand. Das Kaltluftentstehungsgebiet befindet sich oberhalb des Kronenraums. Deshalb sind Waldgebiete auf geneigten Flächen hochrelevant für die Entstehung von Kaltluft/Frischluft und deren Dynamik. Waldflächen erweisen sich aufgrund sehr geringer thermischer und human-biometeorologischer Belastungen als wertvolle Regenerations- und Erholungsräume. Darüber hinaus übernehmen Wälder bei geringen oder fehlenden Emissionen die Funktion als Frischluft- und Reinluftgebiete, können jedoch aufgrund der hohen Rauigkeit keine Luftleitfunktion übernehmen.

Klima innerstädtischer Grünflächen (implizit vorhanden)

Die klimatischen Verhältnisse innerstädtischer Park- und Grünanlagen sind zwischen denen von Freiland- und Waldklima einzustufen. Dabei variiert die klimatische Reichweite von Parkflächen in Abhängigkeit von der Größe und Form der Parkanlagen, deren Ausstattung sowie von der Anbindung an die Bebauung oder Durchlüftungsbahnen.

Die Klimawirksamkeit von Grünflächen beschränkt sich je nach Größe, Relief und Rauigkeit auf die Fläche selbst (Mikroklimaeffekt), kann jedoch auch stadtklimatisch positive Fernwirkungen aufweisen.

Verschiedene Untersuchungen und Modellierungen haben gezeigt, dass mikroklimatische Kühlungseffekte in Abhängigkeit der Verdunstungsleistung und Beschattung auch bei geringer Flächengröße nachweisbar sind. Bei einer engen Vernetzung können kleinere Grünflächen zur Abmilderung von Wärmeinseln beitragen, u. a. indem sie den Luftaustausch fördern.

Vorstadtklima

Das Klimatop ist dem Übergangsbereich zwischen Freilandklima und dem Klima bebauter Flächen zuzuordnen und wird durch eine grüngeprägte Flächennutzung und Oberflächenstruktur geformt. Es überwiegt der Einfluss des unbebauten Geländeanteils. Dieser Klimatoptyp ist charakteristisch für die Vorstadtsiedlungen, Gartenstädte oder Ortsränder, die darüber hinaus oft im unmittelbaren Einflussbereich des Freilands stehen und dadurch günstige bioklimatische Verhältnisse aufweisen. Das Klima in den Vorstadtsiedlungen zeichnet sich durch eine leichte Dämpfung der Klimaelemente Lufttemperatur, -feuchte, Wind und Strahlung aus. Die Windgeschwindigkeit ist niedriger als im Freiland, aber höher als in der Innenstadt.

Stadtrandklima

Das Stadtrandklima unterscheidet sich vom Vorstadtklima durch eine dichtere Bebauung und einen geringeren Grünflächenanteil. Dennoch handelt es sich um Bereiche mit einer lockeren Bebauung und einer relativ günstigen Durchgrünung. Hieraus resultiert eine schwache Ausprägung von Überwärmung, zumeist kann von einem ausreichenden Luftaustausch sowie eher günstigen bioklimatischen Bedingungen in diesen Gebieten ausgegangen werden.

Stadtklima

Charakteristisch für das Stadtklima ist eine überwiegend dichte, geschlossene Zeilen- und Blockbebauung mit hauptsächlich hohen Baukörpern und Straßenschluchten. Bedingt durch den hohen Versiegelungsgrad, die ausgeprägten Oberflächenrauigkeiten und geringen Grünflächenanteile, ist der Stadtkörper während austauscharmer Strahlungsnächte deutlich überwärmt. Tagsüber treten hohe Strahlungstemperaturen auf, die zu Hitzestress führen. Die dichte städtische Bebauung verursacht ausgeprägte Wärmeinseln mit eingeschränkten Austauschbedingungen, die mit zeitweise ungünstigen human-biometeorologischen Verhältnissen und erhöhter Luftbelastung verbunden sind und das Stadtklima prägen.

Innenstadtklima

Kennzeichnend für das Innenstadtklima sind ein sehr hoher Versiegelungsgrad, hohe Oberflächenrauigkeit sowie ein geringer Grünflächenanteil, der lediglich durch Einzelbäume im Straßenraum sowie kleine Rasenflächen, zum Teil mit Strauchvegetation als Straßenbegleitgrün, charakterisiert ist. Aufgrund dieser Eigenschaften weist das Innenstadtklima die stärksten mikroklimatischen Veränderungen im Stadtgebiet auf. Hierzu zählt vor allem der starke Wärmeinseleffekt, bedingt durch die Wärmespeicherfähigkeit der städtischen Oberflächen und die starken Windfeldveränderungen, die sich in den straßenparallelen Be- und Entlüftungssituationen widerspiegeln. Human-biometeorologisch ist dies sehr ungünstig.

Gewerbe-/Industrieklima (implizit vorhanden)

Gewerbebetriebe mit den dazugehörigen Produktions-, Lager- und Umschlagstätten prägen das Mikroklima maßgeblich. Bedingt durch den hohen Versiegelungsgrad in Kombination mit erhöhten Emissionen an Produktionsstätten kommt es verstärkt zu lufthygienischen und human-bioklimatischen Belastungssituationen. Zu diesen Flächen zählen auch häufig Sonderflächen wie militärisch genutzte Flächen usw.

Gleisanlagen (implizit vorhanden)

Gleisanlagen sind durch einen extremen Tagesgang der Lufttemperatur geprägt. Geringe Strömungshindernisse sorgen dafür, dass diese nachts als potentielle Kaltluftleitbahnen auftreten.

Klimaphänomene nach VDI-Richtlinie 3787 Blatt 1:

Wirkrichtung / Luftleitbahn

Durch Ausrichtung, Oberflächenbeschaffenheit und Breite stellt eine Luftleitbahn eine bevorzugte Fläche für den bodennahen Luftmassentransport dar. Luftleitbahnen, häufig auch als Ventilationsbahnen bezeichnet, sind durch geringe Rauigkeit (keine hohen Gebäude, nur einzeln stehende Bäume), möglichst geradlinige oder nur leicht gekrümmte Ausrichtung und größere Breite (möglichst in einem Längen-/Breitenverhältnis 20:1) gekennzeichnet. Sie ermöglichen den Luftmassenaustausch zwischen Umland und Stadt. Die Wirksamkeit hängt von der Windverteilung ab, in Kombination mit der Ausrichtung der Luftleitbahn. Ferner können Luftleitbahnen vor allem bei Schwachwindlagen von großer Bedeutung für die klimatische Entlastung innerstädtischer Gebiete sein. Das Relief kann die Funktion als Luftleitbahn unterstützen. Effiziente Luftleitbahnen werden z. B. durch breite Flussauen gebildet. Breite, geradlinige Straßen oder Bahnanlagen können auch Luftleitbahnen darstellen. Luftleitbahnen können je nach Nutzung und Emissionseintrag lufthygienisch und thermisch beeinträchtigt sein.

Kaltluftbahn

Neben der Stärke des Abflusses ist es entscheidend, ob durch die Kaltluft unbelastete (=Frischluft) oder belastete Luftmassen herab transportiert werden. Kaltluft kann sich zudem an Hindernissen aufstauen und in Senken und Tälern ansammeln (Sammelgebiete). In der Regional- und Stadtplanung sind Entstehungsgebiete, Sammelgebiete und Abflüsse der Kaltluft zu berücksichtigen.

Kaltluftabflussrichtung

Der Kaltluftabfluss ist ein thermisches, während der Nacht induziertes Windsystem (Hangabwind). Dabei fließt die am Hang bodennah erzeugte Kaltluft ab. Diese, durch Temperatur- und Dichteunterschiede entstehenden, bodennahen Kaltluftabflüsse, initiieren und/oder verstärken das nächtliche Windsystem. Generell beeinflusst Kaltluft das lokale Klima signifikant. Die vertikale Mächtigkeit der Kaltluftabflüsse ist auf wenige Dekameter beschränkt.

Durchlüftung / Durchlüftungsbahn

Innerstädtische Luftbahn, die insbesondere bei windstärkeren Wetterlagen Durchlüftung ermöglicht. Korridore (Gleisanlagen, breite Straßen, Flussläufe etc.) die als zusätzliche Bahnen belüftend wirken. Kanalisierung von Luftströmungen.

5.2 Legende der Klimaanalysekarte der Stadt Bendorf

Die Legende der Klimaanalysekarte (siehe Abbildung 8) beschreibt sowohl die thermische (Farbkodierung) als auch die dynamische (Schraffur und Symbolik) Komponente des Stadtklimas in Bendorf, welche in der Klimaanalysekarte (Abbildung 10) dargestellt werden.

Klimatope (thermische und dynamische Komponente)

Kategorie	Name	Beschreibung
	Hohes Abkühlungspotenzial	**Hauptsächlich Kalt- und Frischluftentstehung** Orientierung nach VDI Klimaeigenschaft: **Freilandklima**. Hochaktive, vor allem kaltluft- und/oder frischluftproduzierende Flächen im Außenbereich. Größtenteils mit geringer Rauigkeit und/oder entsprechender Hangneigung.
	Mittleres Abkühlungspotenzial	**Hauptsächlich Frischluftentstehung** Orientierung nach VDI Klimaeigenschaft: **Waldklima**. Hochrelevante Flächen für Frischluft- und Kaltluftentstehung, hauptsächlich mit dichtem Baumbestand.
	Abkühlungs-potenzial	**Misch- und Übergangsklimate** Orientierung nach VDI Klimaeigenschaft: **Klima innerstädtischer Grünflächen**. Flächen mit hohem Vegetationsanteil, die zur Abmilderung von Wärmeinseln beitragen.
	Geringe Überwärmung	**Schwache Ausprägung von Wärmeinsel** Orientierung nach VDI Klimaeigenschaft: **Vorstadtklima**. Baulich geprägte Bereiche mit versiegelten Flächen, aber mit viel Vegetation in den Freiräumen, größtenteils ausreichende Belüftung.
	Moderate Überwärmung	**Ausgeprägte Wärmeinseln** Orientierung nach VDI Klimaeigenschaft: **Stadtklima**. Dichte Bebauung, hoher Versiegelungsgrad und wenig Vegetation in den Freiräumen. Durch Barrieren können Belüftungsdefizite in dicht bebauten Bereichen entstehen.
	Starke Überwärmung	**Ausgeprägte Wärmeinseln mit hoher Belastung** Orientierung nach VDI Klimaeigenschaft: **Innenstadtklima**. Stark verdichtete Innenstadtbereiche/City, Industrie- und Gewerbeflächen mit wenig Vegetationsanteil und teilweise geringer Belüftung der dichten Bebauung.

+ *klimaökologische Wertigkeit* -

- *Wärmebelastung / heat load* +

Hervorhebung dynamische Komponente

Kategorie	Name	Beschreibung
	**Wirkrichtung Luftleitbahn**	Luftleitbahn mit lokaler und regionaler Bedeutung. Durch Ausrichtung, Oberflächenbeschaffenheit und Breite bevorzugte Fläche für den Luftmassenaustausch.
	**Gutes Kaltluftdurchlüftungspotential**	Die Ausrichtung des Pfeilsymbols entspricht der Abflussrichtung der bodennahen Kaltluft. Kaltluftvolumenstrom > 15 m³/m*s
	Kaltluftdurchlüftungspotential	Die Ausrichtung des Pfeilsymbols entspricht der Abflussrichtung der bodennahen Kaltluft. Kaltluftvolumenstrom < 15 m³/m*s
	**Kaltluftabfluss-korridor**	Thermisches, während der Nacht induziertes Windsystem. Dabei fließt die am Hang bodennah erzeugte Kaltluft ab. Die bodennahen Kaltluftabflüsse werden durch Temperatur- und Dichteunterschiede initiiert.
	**Durchlüftung/ Durchlüftungsbahn**	Innerstädtische Luftbahn, die insbesondere bei windstärkeren Wetterlagen Durchlüftung ermöglicht. Korridore (Gleisanlagen, breite Straßen, etc.) die zusätzliche belüftend wirken. Kanalisierung von Luftströmungen.

Abbildung 8: Legende der Klimaanalysekarte Stadt Bendorf 2026

5.3 Klimaanalysekarte Stadt Bendorf - 2026

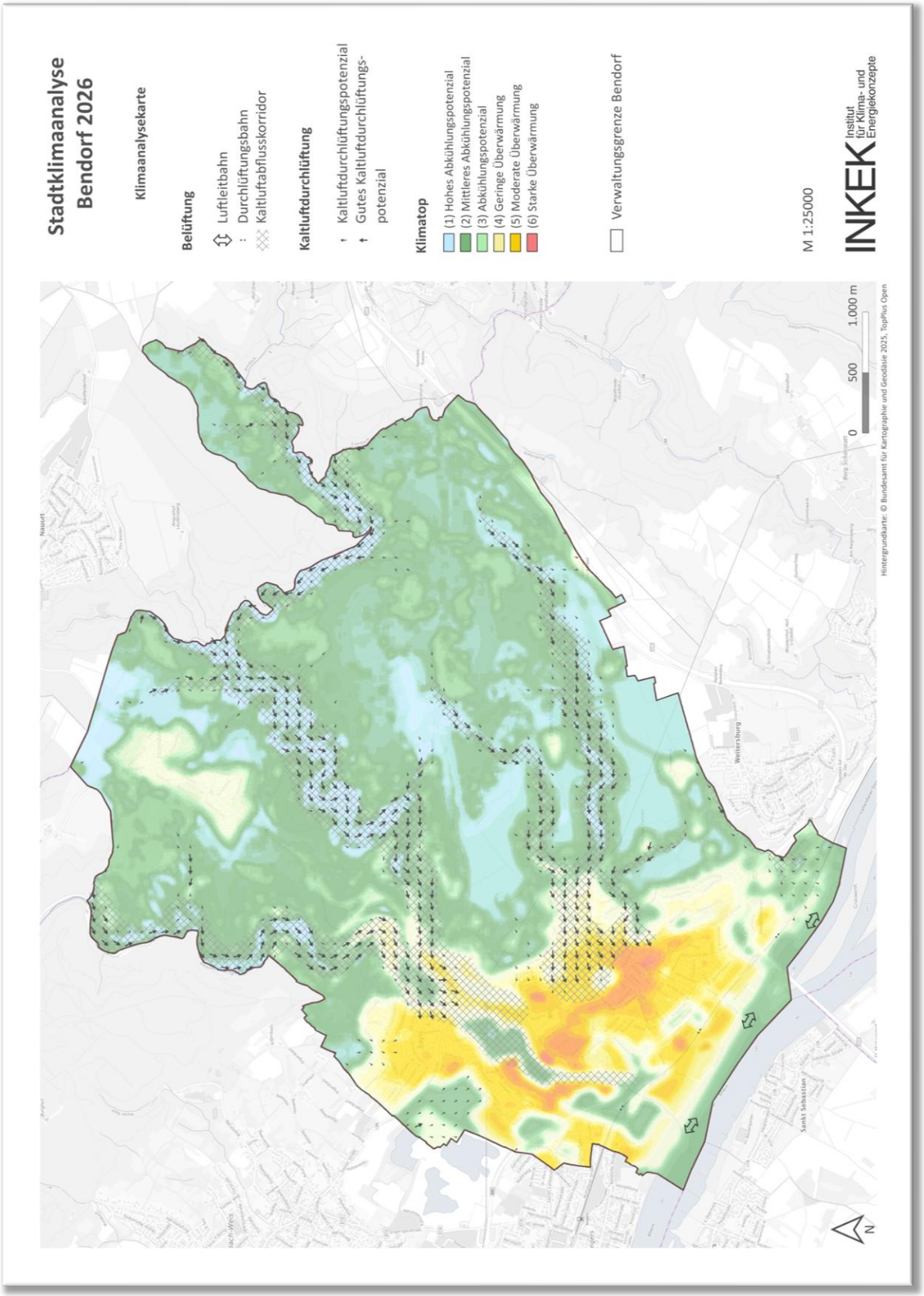


Abbildung 9: Klimaanalysekarte Stadt Bendorf 2026, ohne Maßstab (Original im Anhang)

5.4 Kaltluftmodellierung

KLAM_21 ist ein zweidimensionales, mathematisch-physikalisches Simulationsmodell des Deutschen Wetterdienstes zur Berechnung von Kaltluftflüssen und -ansammlungen in orographisch gegliedertem Gelände. Als Ergebnis erhält man die flächenhafte Verteilung der Kaltlufthöhe und ihrer mittleren Fließgeschwindigkeit oder der Volumenströme zu beliebig abgreifbaren Simulationszeitpunkten (DWD 2016).

Eingangsdaten: ATKIS® Basis-DLM Rheinland-Pfalz (Landnutzung) und Digitales Geländemodell (DGM).

Bearbeitung: Der Start der Simulation liegt kurz vor Sonnenuntergang. Zu diesem Zeitpunkt wird eine annähernd adiabatisch geschichtete Atmosphäre vorausgesetzt, in der keine horizontalen Gradienten der Lufttemperatur und der Luftdichte vorhanden sind. Es werden während der gesamten Nacht gleichbleibend gute Ausstrahlungsbedingungen, das heißt eine geringe Bewölkung, angenommen (DWD 2016).

Für die Klimaanalyse der Stadt Bendorf wurde eine horizontale Auflösung von 5 m je Gitterzelle gewählt, um Aussagen zu den kleinräumigen klimatischen Wechselwirkungen und den kaltluftproduzierenden Flächen treffen zu können.

In Abbildung 10 sind die Ergebnisse in Form der Kaltlufthöhe 180 Minuten nach Sonnenuntergang abgebildet. Die Kaltlufthöhe gibt flächendeckend die Höhe der Kaltluftschicht an. Diese ist abhängig von der Kaltluftproduktion der jeweiligen Fläche, sowie von den jeweiligen Kaltluftzuflüssen und Kaltluftabflüssen von benachbarten Flächen. Der Kaltluftvolumenstrom (Abbildung 11) ist das Produkt aus Fließgeschwindigkeit und Kaltlufthöhe. Er gibt an, wie viel Kaltluft pro Zeiteinheit durch einen 1 m breiten Querschnitt (zur Flussrichtung, von der Erdoberfläche bis zur Kaltluftobergrenze) strömt. Der Kaltluftvolumenstrom bestimmt das Durchlüftungspotential in m^3/ms.

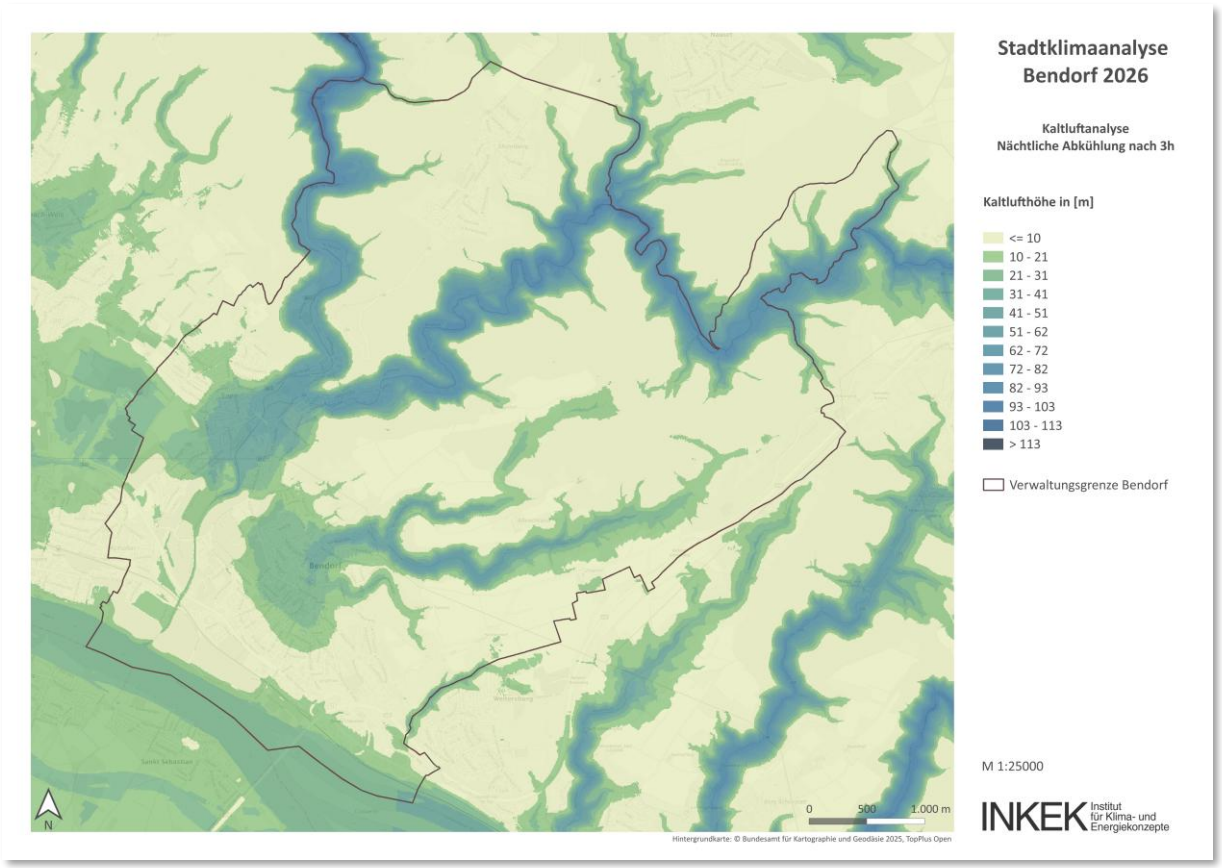


Abbildung 10: Kaltlufthöhe, 3 Stunden nach Einsetzen der Kaltluftbildung. Berechnet mit dem Kaltluftmodell des Deutschen Wetterdienstes KLAM_21 (Original im Anhang)

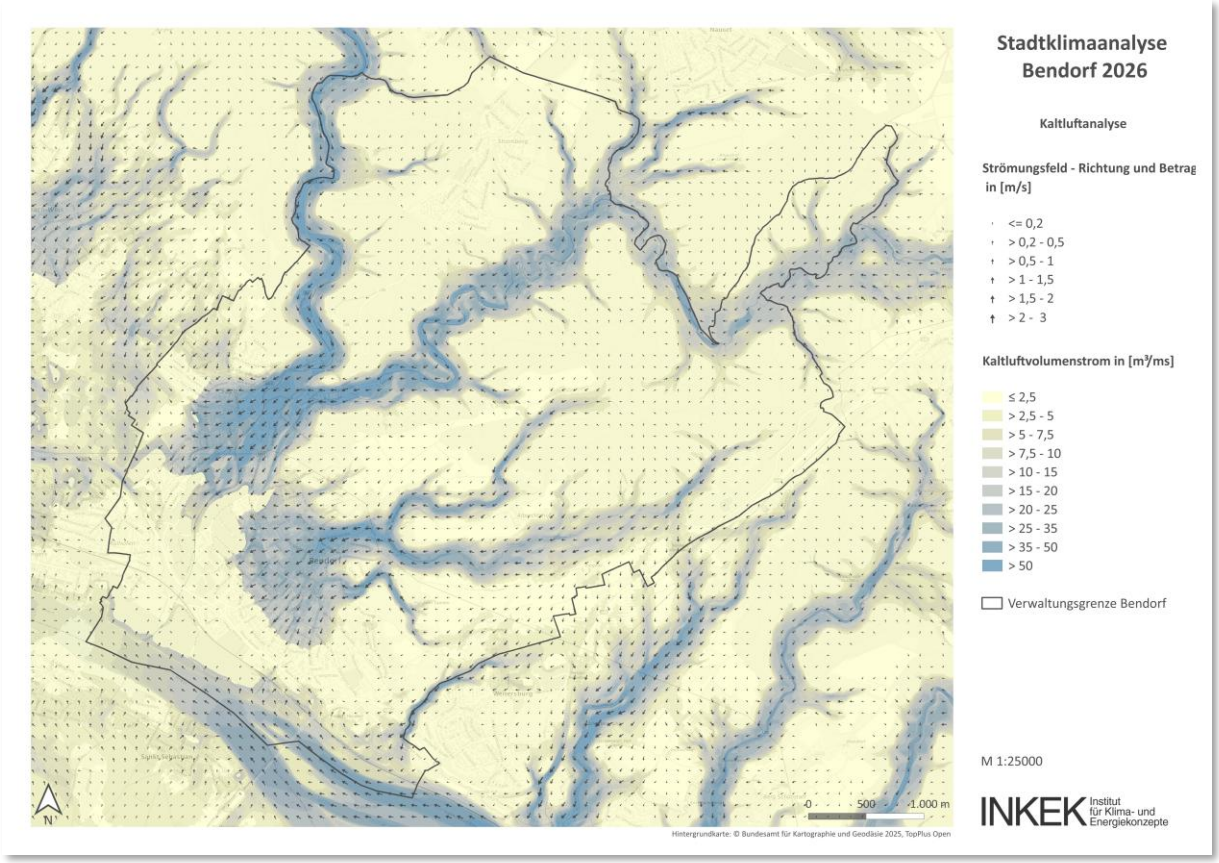


Abbildung 11: Kaltluftvolumenstrom, 3 Stunden nach Einsetzen der Kaltluftbildung. Berechnet mit dem Kaltluftmodell des Deutschen Wetterdienstes KLAM_21 (Original im Anhang)

5.5 Grünvolumen- und Versiegelungsanalyse

Neben der Klimaanalysekarte wurden ergänzend der Versiegelungsgrad sowie das Grünvolumen in feiner horizontaler Auflösung für die Stadt Bendorf berechnet.

Das Grünvolumen errechnet sich dabei als das Produkt der vegetationsbestandenen Fläche und der Vegetationshöhe. Mithilfe des Vegetationsindex NDVI und dem digitalen Oberflächenmodell konnten so, sämtliche Grünflächen und deren vertikale Ausdehnung erfasst werden.

Innerhalb der Ortslagen sticht insbesondere das Saynbachtal mit sehr hohem Grünvolumen hervor. Auch der Schlosspark Sayn weist ein sehr hohes Maß an Grün auf. Im Innenstadtbereich von Bendorf sind es vor allem der Stadtpark, sowie im Osten der Friedhof, welche mit dichtem Baumbestand für ein hohes Grünvolumen sorgen.

Daneben besitzt Bendorf ausgedehnte Wald- und Grünlandflächen. Abbildung 12 zeigt jedoch nur das Grünvolumen innerhalb der Ortslagen (Siedlungsbereich = Stadtklimatischer Lastraum) als relevante Flächen, Wald und Grünland im Außenbereich wurden ausgeblendet.

Der Versiegelungsgrad wurde anhand der ALKIS- und ATKIS-Landnutzungsdaten erstellt. Niedrige Versiegelungsgrade weisen Waldflächen, landwirtschaftliche Gebiete sowie Gewässer auf, die höchsten Werte entsprechen Straßen und weiteren versiegelten Plätzen. Die IST-Situation der Versiegelung ist in Abbildung 13 dargestellt. Darauf ist der Versiegelungsgrad in Prozent zu sehen. Der prozentuale Anteil bezieht sich dabei jeweils auf Einzelkacheln eines Rasternetzes, welches in gleicher horizontaler Auflösung wie auch das Grünvolumen berechnet wurde. 0% entsprechen dabei einer unversiegelten Freifläche, 100% stehen für eine vollständig versiegelte Fläche.

Von einem hohem Versiegelungsgrad betroffen sind demnach innerhalb der Kernstadt insbesondere ein Bereich zwischen Bergstraße, Poststraße, Untere Vallendarer Straße und dem Kirchplatz. Ebenso zeigt sich das Areal um das Einkaufszentrum Bendorf hochgradig versiegelt. Des Weiteren stechen neben den Verkehrsflächen auch die Industrie- und Gewerbegebiete z. B. entlang des Rheins hervor.

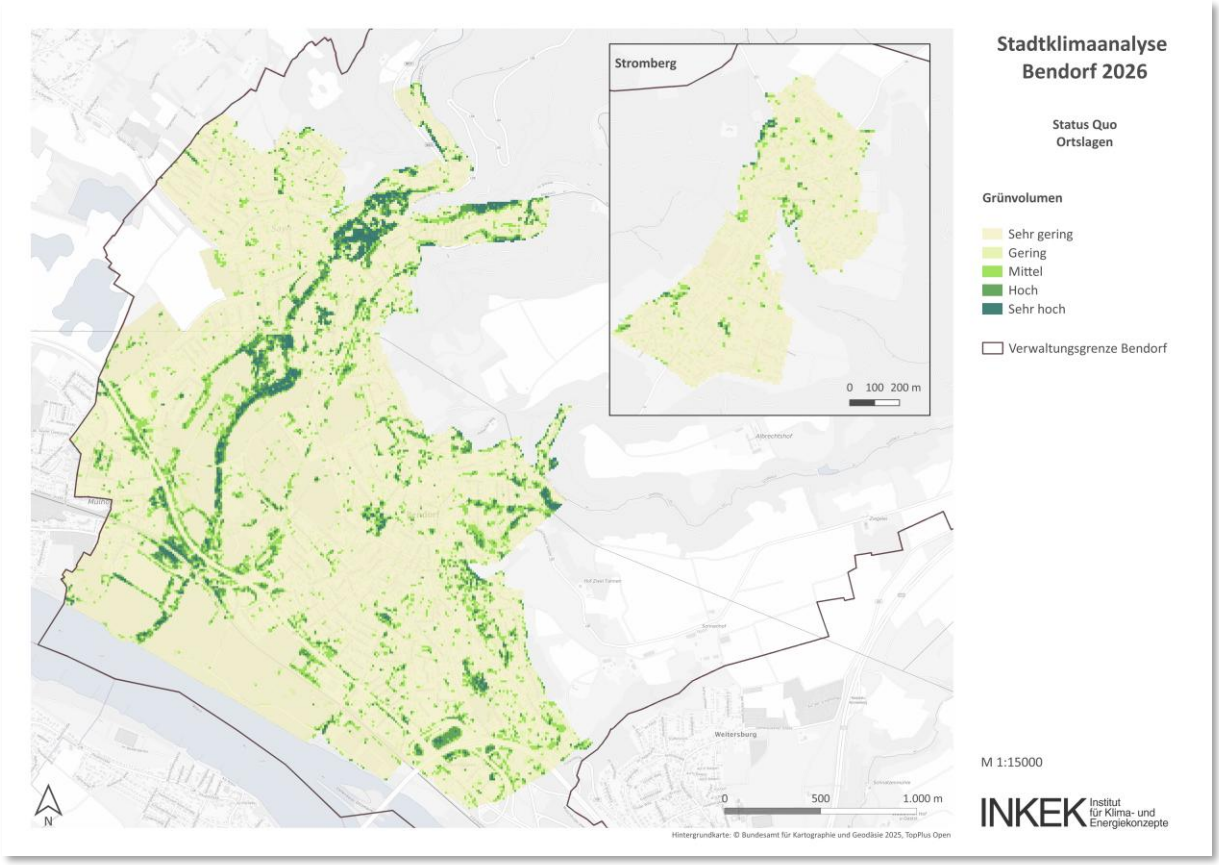


Abbildung 12: Grünvolumen, nur innerhalb der Ortslagen. (Original im Anhang)

Die Ortsteile Stromberg, Sayn und Mülhofen sowie große Teile der Kernstadt Bendorf zeigen sich innerhalb der Wohnbebauung hinsichtlich der Versiegelung hingegen weniger kritisch, da diese über ausgedehnte Gärten mit hohem Grünanteil und unversiegelten Flächen verfügen.

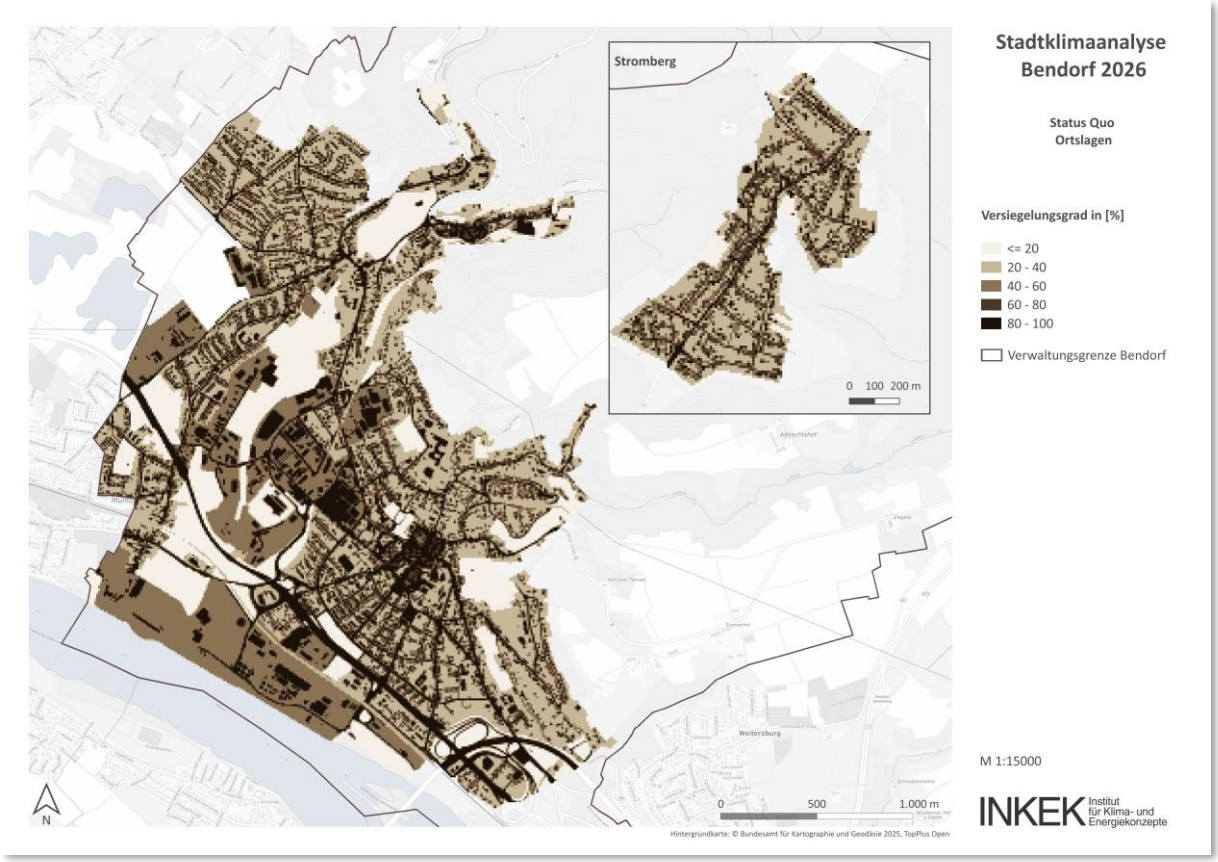


Abbildung 13: Versiegelungsgrad, nur innerhalb der Ortslagen. (Original im Anhang)

Durch die Kombination der beiden Einzelparameter, Grünvolumen und Versiegelung, konnten somit Flächen identifiziert werden, welche einen hohen Versiegelungsgrad sowie ein geringes Grünvolumen aufweisen (siehe Abbildung 14).

In der Funktionskarte Versiegelung & Grünvolumen treten vor allem die Gewerbegebiete und die Innenstadtbereiche entlang der Hauptstraße als besonders stark versiegelt und mit einem geringen Grünvolumen hervor. Beide Faktoren wirken sich ungünstig auf das Stadtklima aus und deuten auf Nachteile im klimatischen Lastraum hin. Bereiche mit bioklimatischen Nachteilen sind das Resultat, so dass Anpassungsmaßnahmen zur Förderung des Kaltluftabflusses und zur thermischen Entlastung an diesen Orten als zielführend eingeordnet werden. Diese Ergebnisse werden ebenfalls in der Klimaanalysekarte und der Klimatopanalyse bestätigt.

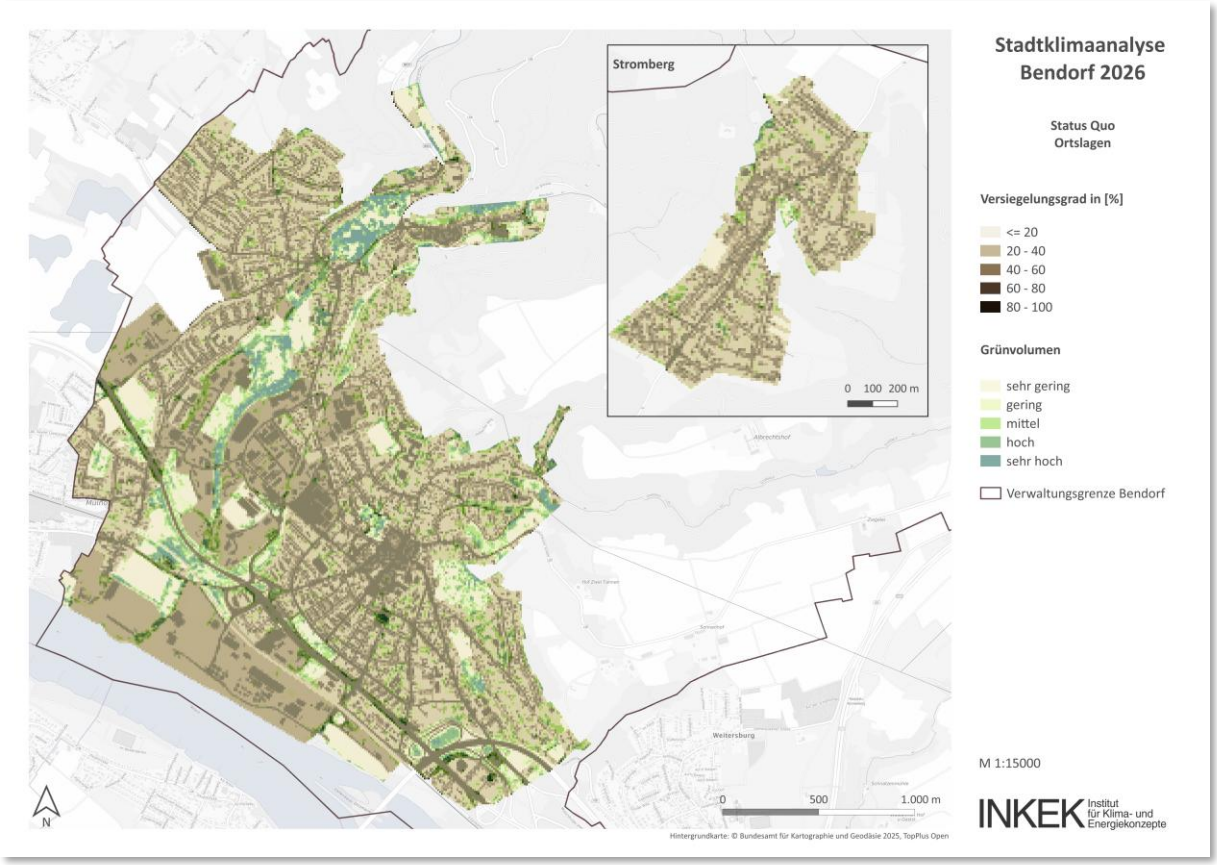


Abbildung 14: Funktionskarte Versiegelung & Grünvolumen

Die Klimaanalysekarte zeigt Bendorf und deren Überwärmungs- und Belüftungsverhältnisse. Die ermittelten Kaltluftbarrieren sind eine Folge aus beidem. Abfließende Kaltluft aus Norden und Nordosten kann so lange in die bebauten Gebiete eindringen, bis die Überwärmung und Barrierewirkung der Gebäude zu hoch ist. Diese verdichteten und versiegelten Bereiche wirken als Hindernis für die Kaltluft, weshalb es zu Kaltluftstau kommt und die Kaltluft nur verzögert in diese Bereiche einströmen kann (siehe Abbildung 15).

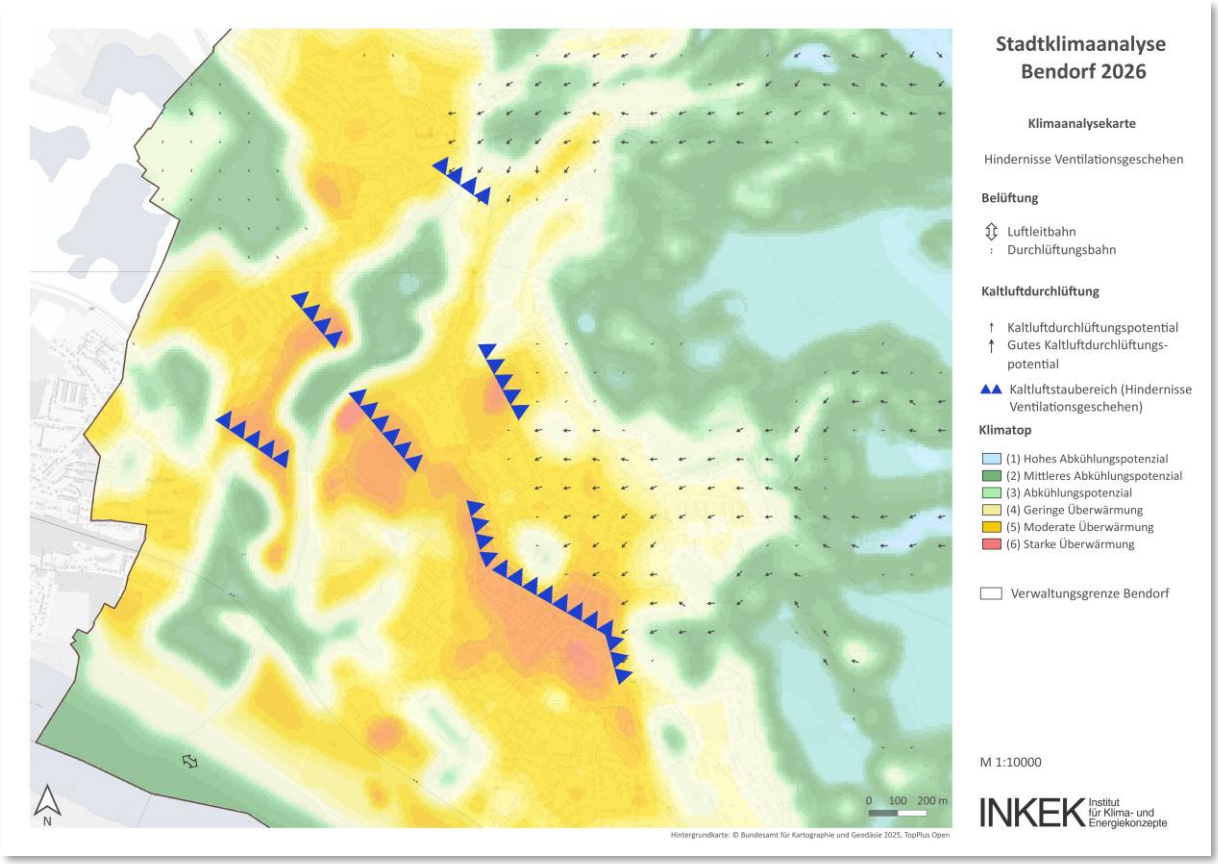


Abbildung 15: Ausschnitt Klimaanalysekarte Bendorf 2026 mit Verortung der Hindernisse im Ventilationsgeschehen

6 Potentialanalyse Entsiegelung

Die Folgen des Klimawandels sind vielschichtig und betreffen diverse Bereiche wie Stadtentwicklung, Bevölkerungsschutz, Biodiversität, Landwirtschaft, Tourismus und Wasserversorgung. Eine nachhaltige und klimasensible Stadtentwicklung ist daher essenziell. Dafür ist die enge Zusammenarbeit von u.a. Stadtplanung, Verkehrsplanung, Grünflächenmanagement und Wasserwirtschaft notwendig. Dies stellt hohe Anforderungen an die Koordination und die Bereitstellung von Ressourcen und in die Genehmigungsprozesse.

Bei der Hitzevorsorge zeigt sich, dass beispielsweise Verschattungsmaßnahmen, Trinkwasserversorgung im öffentlichen Raum, Verdunstungskühlung und gesundheitliche Schutzmaßnahmen – insbesondere für ältere Menschen – nur interdisziplinär umgesetzt werden können.

Die Auswirkungen des Klimawandels werden auch in Bendorf zunehmend spürbar. Die Dringlichkeit effektiver Anpassungsmaßnahmen ist daher sehr hoch. Vor diesem Hintergrund wurde aufbauend auf die Bestandsanalyse der vorangegangenen Kapitel eine Potentialanalyse mit anschließender Überprüfung der Wirksamkeit der entwickelten Maßnahmen durchgeführt.

6.1 Funktionskarte Cold-& Hotspots

Durch eine Verschneidung der Klimaanalysekarte, der Versiegelung, des Grünvolumens sowie der Kaltluftanalyse lassen sich Ausgleichs- und Lasträume lokalisieren. Danach liegt für ein Gebiet in der Bendorfer Innenstadt, zwischen Hauptstraße und Concordiastraße bzw. Unterer Vallendarer Straße sowie beginnend am Einkaufszentrum bis zur Steinstraße und dem Kirchplatz ein Siedlungsraum mit hoher bioklimatischer Belastung vor. Gleiches gilt für das Gewerbegebiet westlich der Bahnstrecke um die Feld-Vorstmann-Straße sowie die Gewerbeareale entlang der August-Thyssen-Straße und der Dieter-Trennheuser-Straße. Alle weiteren Siedlungsräume sind bioklimatisch nur gering belastet oder liegen sogar im Wirkbereich eines Ausgleichsraums.

Die Bendorfer Innenstadt bildet hier eindeutig den Lastraum mit höchstem Handlungsbedarf, da dieser neben der Wohnfunktion weitere Nutzungen für die Bendorfer Bevölkerung abdeckt. So finden sich in diesem Areal eine Vielzahl verschiedener Dienstleistungen wieder, welche für alle Bevölkerungsgruppen von Bedeutung sind. Die Potentialanalyse fokussiert sich daher auf diesen Bereich (siehe Abbildung 16).

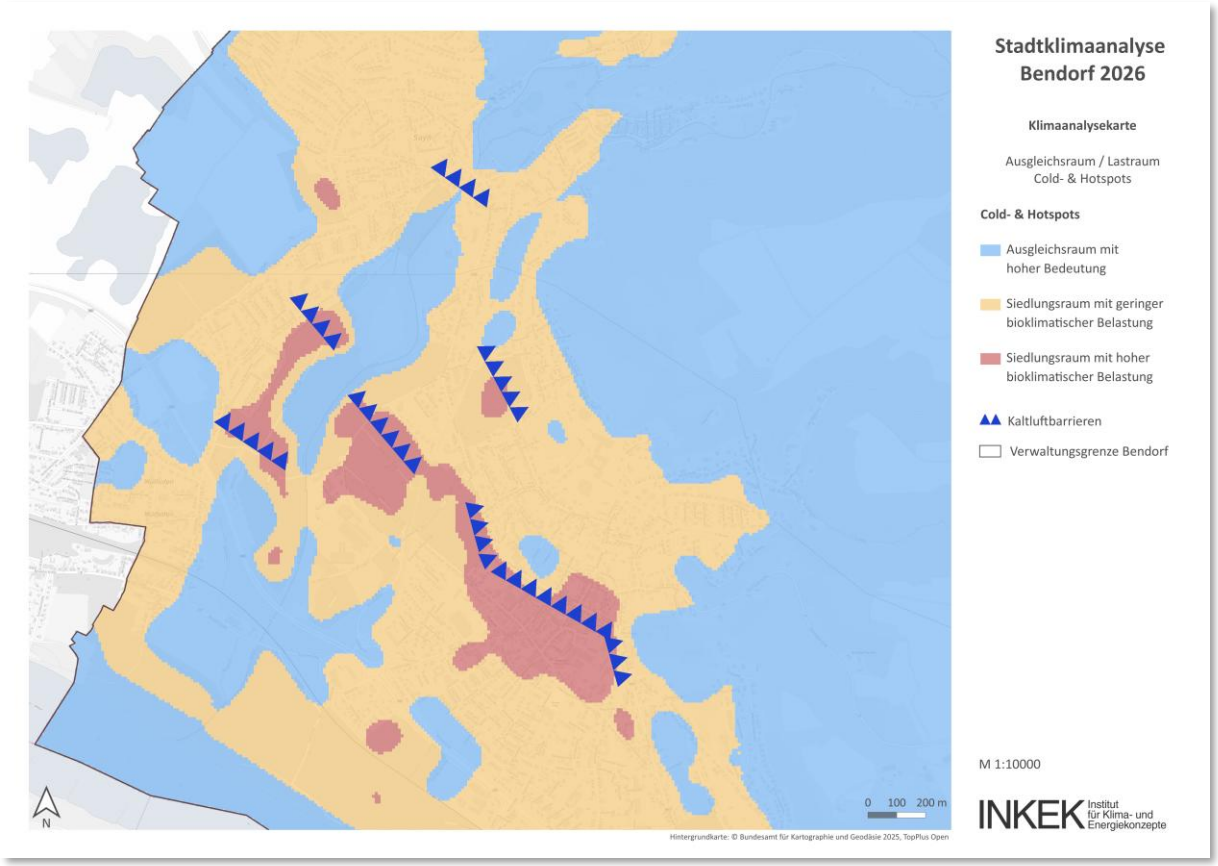


Abbildung 16: Ausschnitt Cold- und Hotspotkarte Bendorf zur Verortung von Ausgleichs- und Lasträumen

6.2 Funktionskarte Anpassungspotentiale

Die in Kap. 6.1 aufgezeigten großflächigen Hotspots lassen sich in der Kernstadt Bendorf verorten, besondere Relevanz ergibt sich für den innerstädtischen Raum. Aufgrund des Ventilationsgeschehens ergeben sich zwei unterschiedliche Handlungserfordernisse. Straßenzüge, welche zum Rhein hin verlaufen (Straßentyp B), wie die Bachstraße oder Frankenstraße, liegen in Fließrichtung der Kaltluft und weisen daher in den Abendstunden ein gutes Durchlüftungspotential auf. Anders zeigen sich Straßen, welche senkrecht zur Kaltluftströmung liegen (Straßentyp A), wie die Hauptstraße oder Concordiastraße, siehe Abbildung 17.

Aufgrund dieser Gegebenheiten wurden für die beiden Straßentypen differenzierte Maßnahmen entwickelt. Für Straßen, welche quer zur Kaltluft verlaufen, wurde ein deutlich erhöhter Grünanteil angenommen. Besonders an den nördlich verlaufenden Straßenseiten können großkronige Bäume die Hitzebelastung durch ihren Schattenwurf massiv senken und verhindern, dass in den Tagstunden ein hoher Hitzeeintrag in den Straßenraum stattfindet.

Für Straßentyp B liegt die Vernetzung der Kaltluftflüsse im Vordergrund. Deshalb sollten diese Straßenzüge weniger dicht begrünt werden als Straßen des Typs A, um den Kaltluftabfluss nicht zu behindern. Bäume als Hochstamm ausgebildet sollten gezielt zur Verschattung eingesetzt werden. Entsiegelungsmaßnahmen und das Anlegen von Grünstreifen sind wichtige Maßnahmen für die Kaltluftbildung in den frühen Abendstunden.

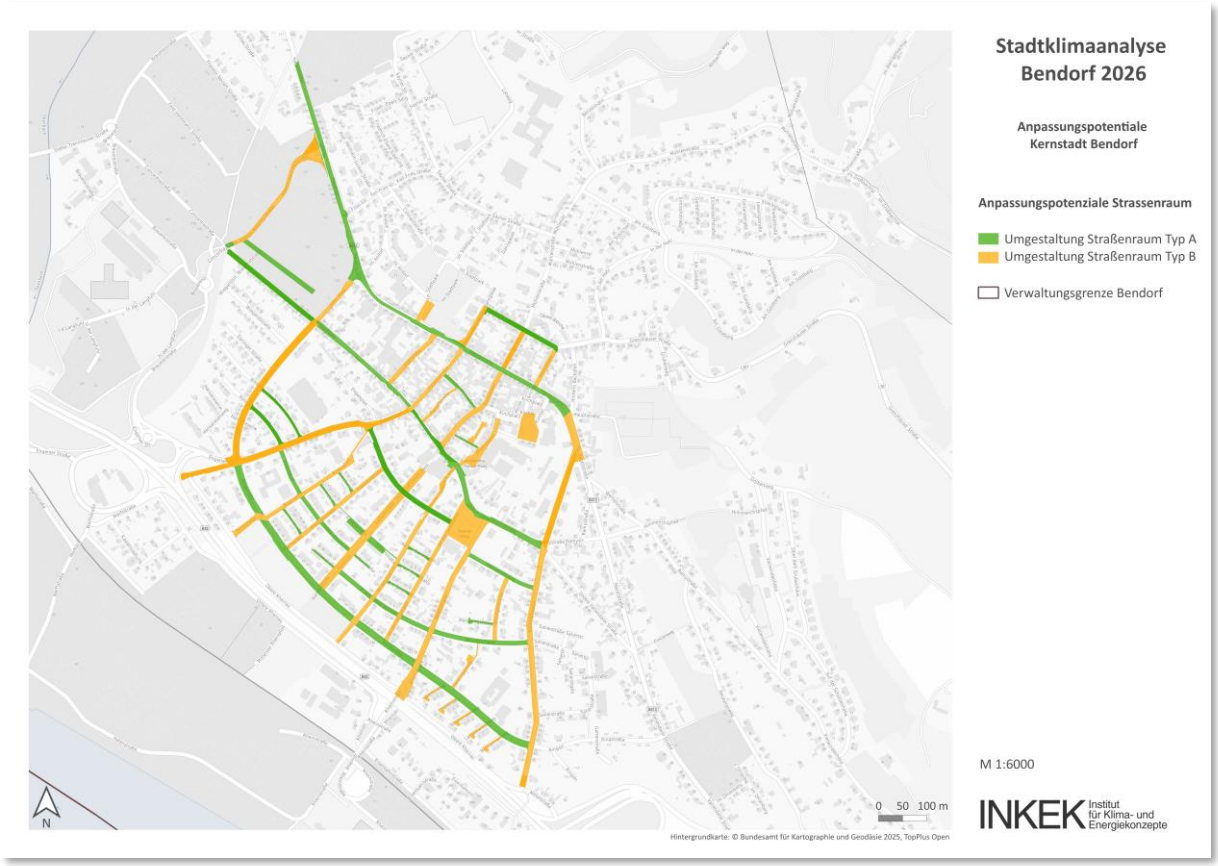


Abbildung 17: Anpassungspotentiale Bendorf



Abbildung 18: Beispiel Straßenraumtyp A (eigene Abbildung)



Abbildung 19: Beispiel Straßenraumtyp B (eigene Abbildung)

6.3 Zukunftsprojektionen

Zur Überprüfung der Wirksamkeit der vorgeschlagenen Maßnahmen im Straßentyp A und B wurde das Bestandsmodell entsprechend angepasst. Die versiegelten Flächen im Bestand wurden durch die beschriebenen Anpassungsmaßnahmen im Straßenraum umgestaltet. Anschließend konnte eine weitere Kaltluftsimulation durchgeführt werden und ein Vorher-Nachher-Vergleich angefertigt werden. Eine Quantifizierung der Wirksamkeit ist durch Differenzkarten möglich.

Die Ergebnisse dessen sind für den Parameter Kaltlufthöhe für die Situation 1 Stunde und 2 Stunden nach Sonnenuntergang aufbereitet, so dass der erwünschte Effekt in den frühen Abendstunden gut abgebildet werden kann.

6.3.1 Kaltlufthöhe (Vorher-Nachher-Vergleich)

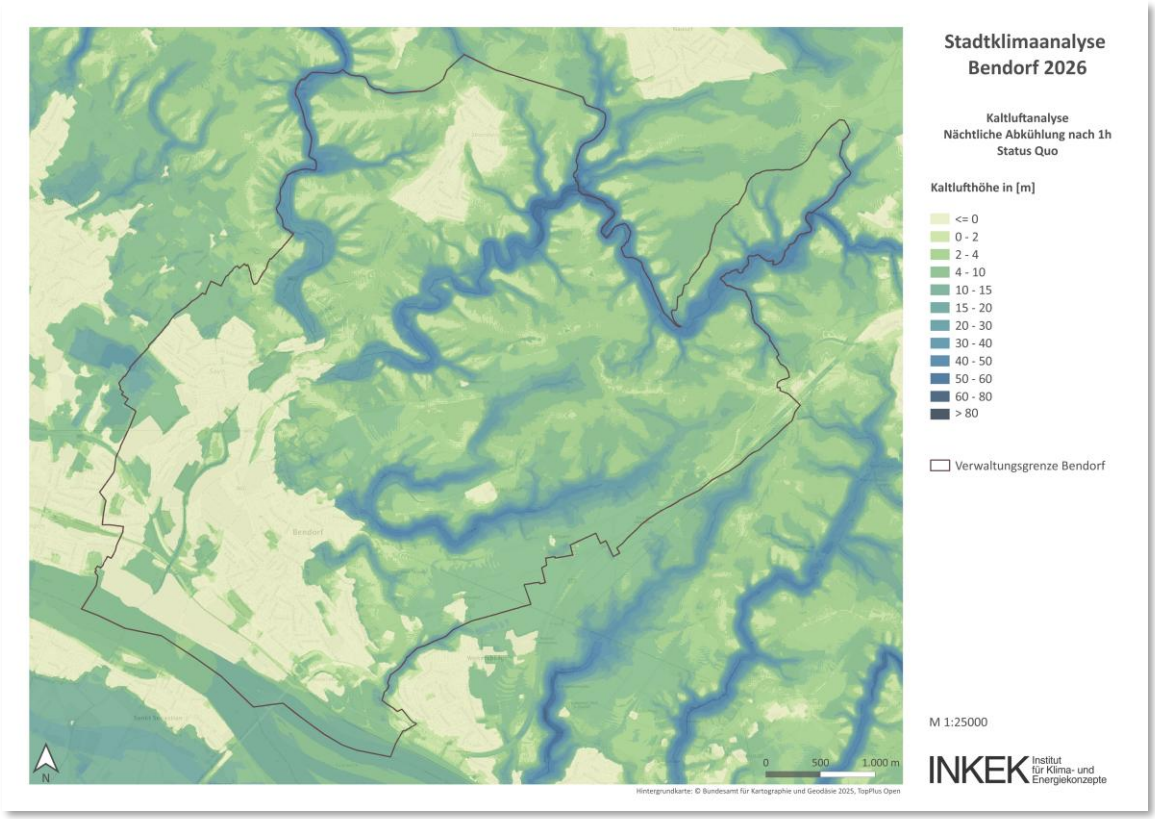


Abbildung 20: Vergleich der Kaltlufthöhe eine Stunde nach Sonnenuntergang. Bestand

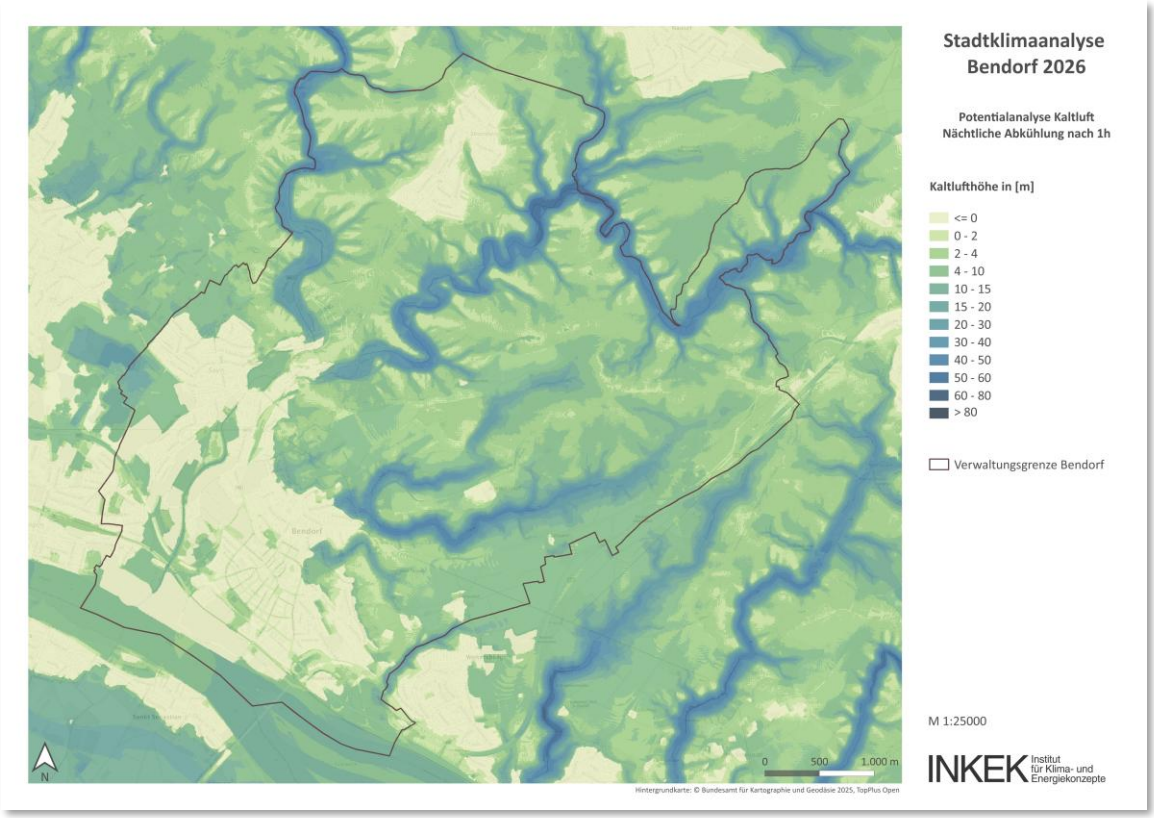


Abbildung 21: Vergleich der Kaltlufthöhe eine Stunde nach Sonnenuntergang: Bestand mit Anpassungsmaßnahmen

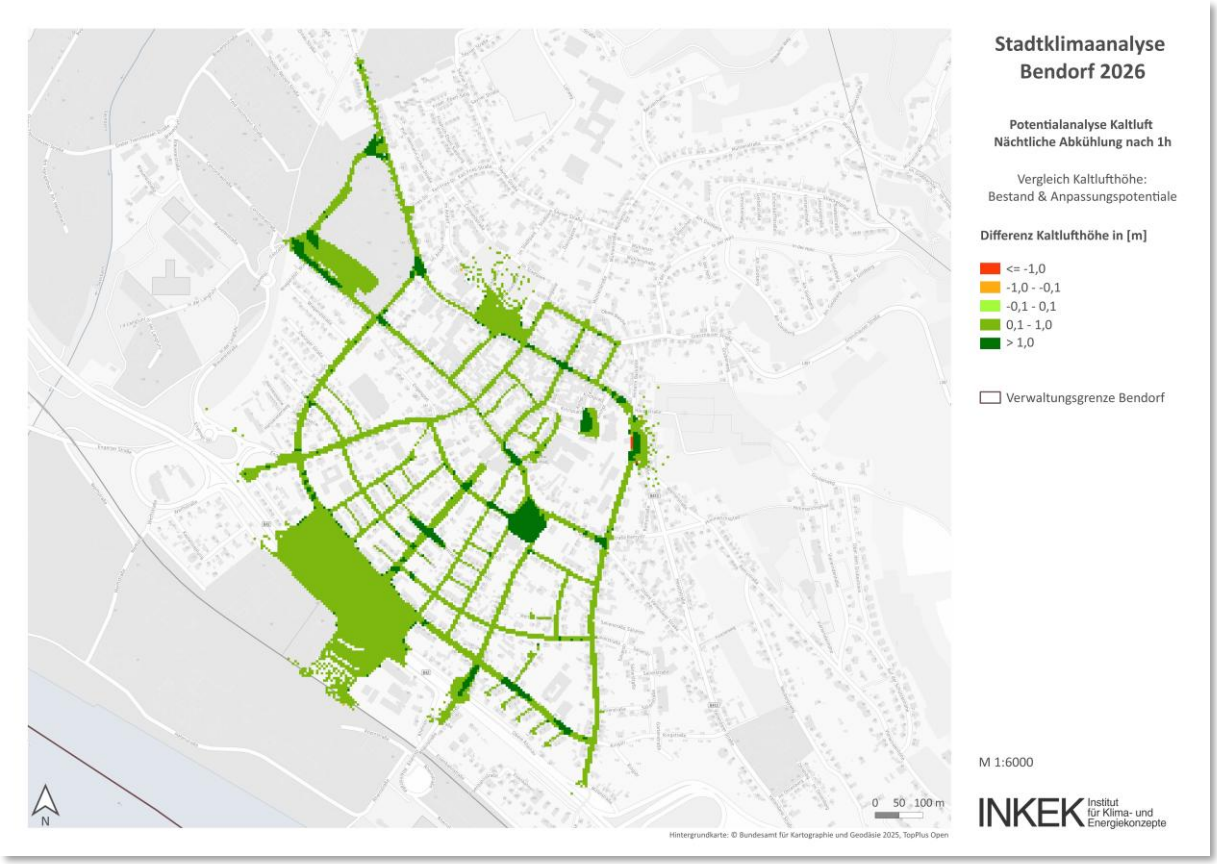


Abbildung 22: Vergleich der Kaltlufthöhe 1h nach Sonnenuntergang. Differenz der Kaltlufthöhe

Aus Abbildung 20, Abbildung 21 und Abbildung 22 nach einer Stunde sowie aus Abbildung 23, Abbildung 24 und Abbildung 25 nach zwei Stunden zeigt sich der Effekt von potentieller Entsiegelung und Erhöhung des Grünanteils entlang der Straßen im Gebiet. Sowohl die Förderung von Kaltluftentstehung als auch die Vernetzung der Kaltluftabflüsse führt zu einer Erhöhung der Kaltlufthöhe. Insbesondere im südlichen Bereich entlang der Ringstraße und B42 zeigt sich dessen Wirkung auch über den unmittelbaren Straßenraum hinaus. Nach zwei Stunden erhöht sich die Kaltlufthöhe um bis zu 1 m im nord-östlichen Teil der Innenstadt Bendorfs. Diese Auswirkung resultiert aus der Vernetzung der bestehenden Kaltluftflüsse von den Wald- und landwirtschaftlichen Flächen außerhalb Bendorfs und der begünstigten Kaltluftsituation innerhalb der Bebauung.

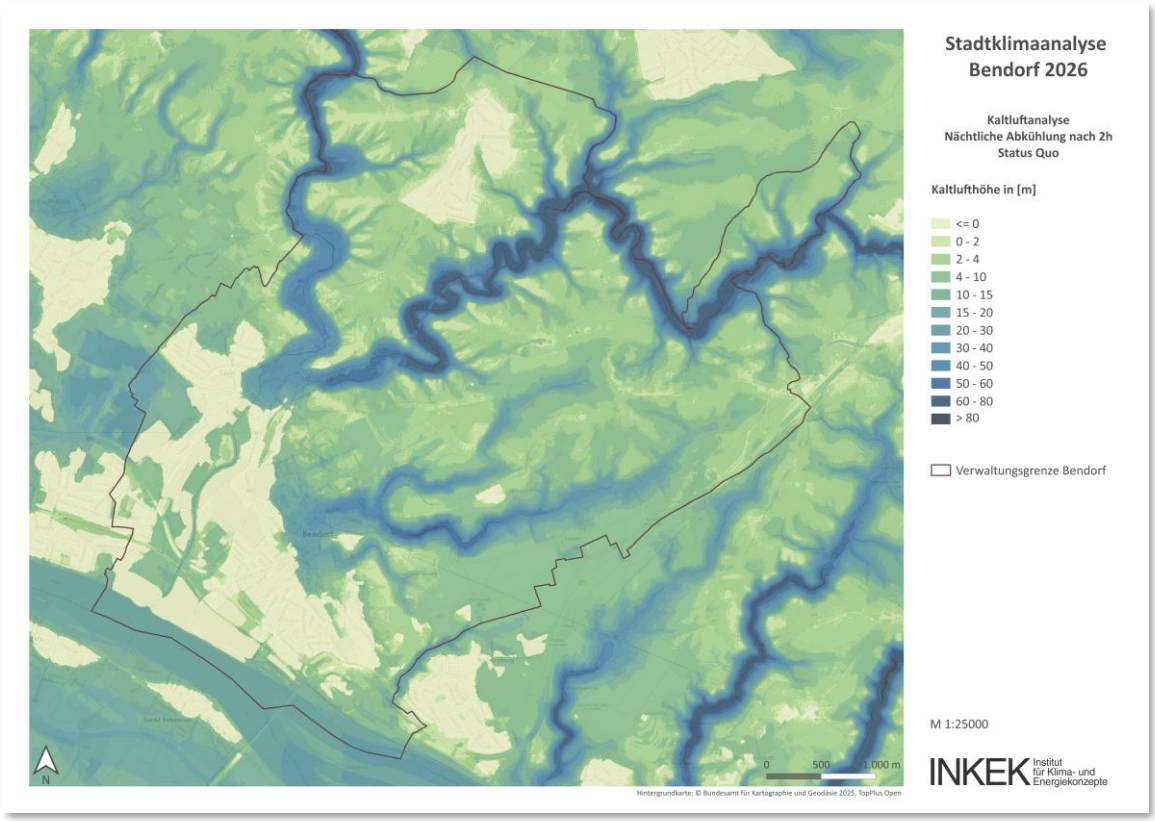


Abbildung 23: Vergleich der Kaltlufthöhe 2h nach Sonnenuntergang: Bestand

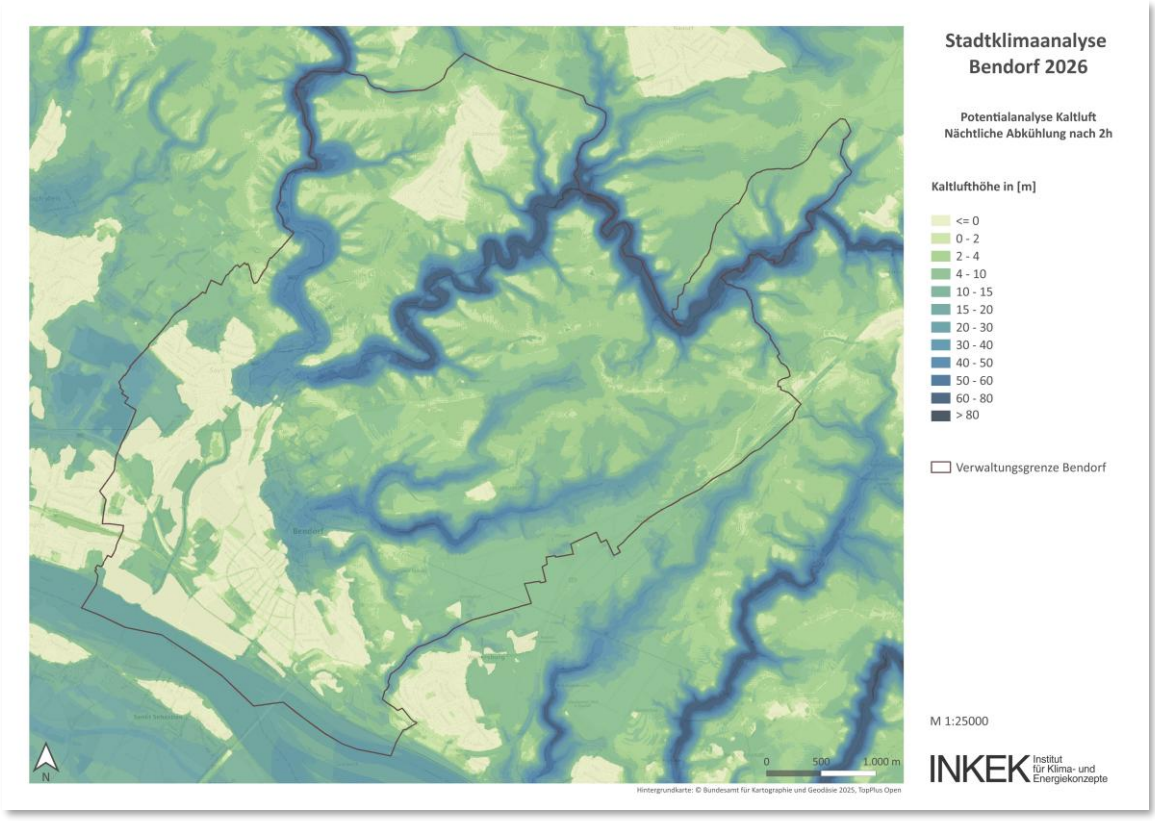


Abbildung 24: Vergleich der Kaltlufthöhe 2h nach Sonnenuntergang: Bestand mit Anpassungsmaßnahmen

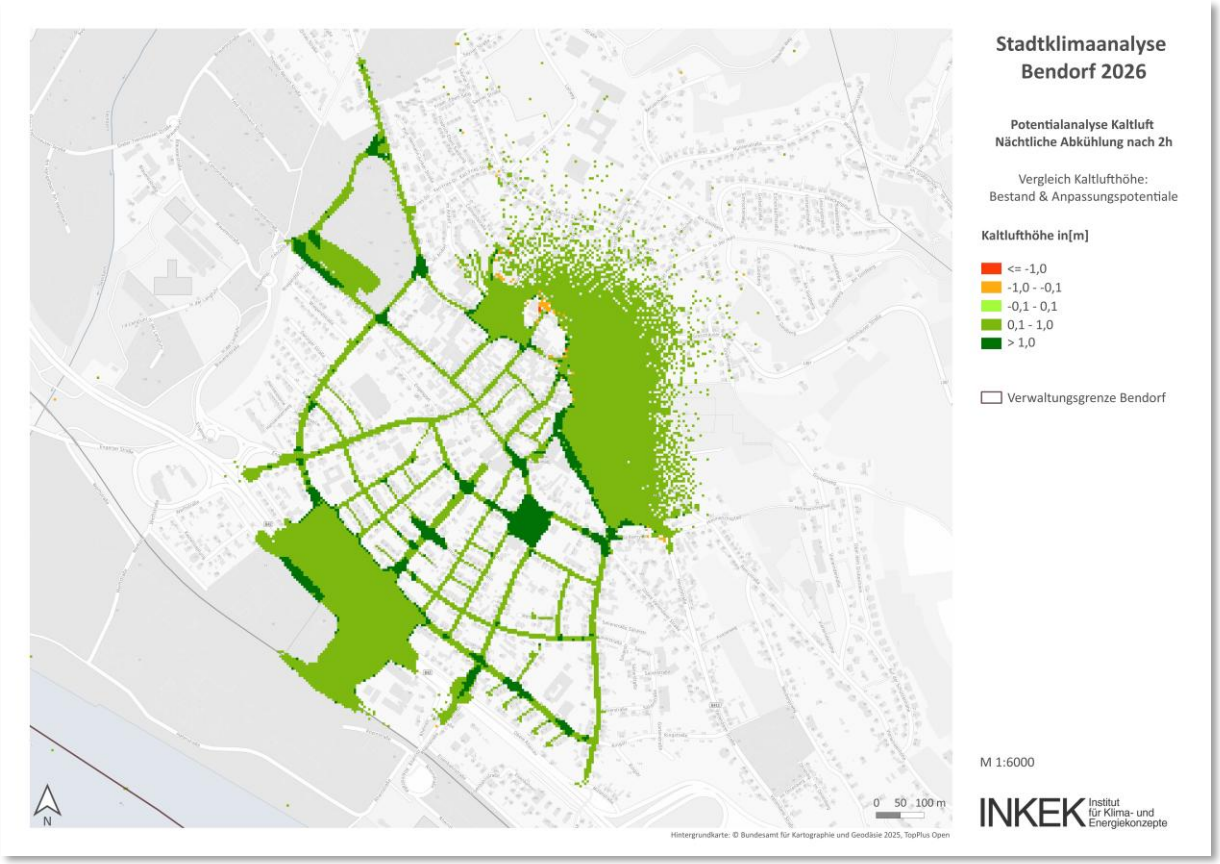


Abbildung 25: Vergleich der Kaltlufthöhe 2h nach Sonnenuntergang: Differenz der Kaltlufthöhe

7 Fazit

Laut der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS, Fortschrittsbericht 2020) nimmt die Stadt- und Raumplanung eine „Schlüsselrolle im Bereich der Klimaanpassung“ ein. Da sich die steigende Hitzebelastung negativ auf die menschliche Gesundheit auswirkt, ist im Themenbereich „Stadtklima und Luftqualität“ ein großer Handlungsbedarf gegeben.

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, die Stadt Bendorf in der Ist-Situation zu analysieren, um Grundlagen für die räumliche Interpretation zur Klimawirkung von Vegetation, Baudichten bzw. Bauhöhen etc. zu erhalten, womit flächenbezogene Aussagen ermöglicht werden. Mit der Klimaanalysekarte für Bendorf werden die Wärmebelastung, das Kaltluftprozessgeschehen hinsichtlich Kaltluftentstehung und Kaltluftfluss zusammengeführt und präzisiert.

Die Ergebnisse der Klimaanalyse zeigen, dass die Stadt Bendorf eine sehr günstige naturräumlichen Lage aufweist. Durch die umgebenden Ausgleichsräume und die topografischen Bedingungen stellt sich ein sehr aktives Kaltluftgeschehen ein. Dieser lokale Kaltluftabfluss ist eine natürliche Ressource mit der Eigenschaft überwärmte Areale abzukühlen und somit die thermische Belastung abzumildern. Vor allem hinsichtlich der projizierten Klimaerwärmung und hinsichtlich der steigenden bioklimatischen Belastung ist dies besonders wichtig. Allerdings führt die Bebauung und Versiegelung zu einer Reduzierung der Kaltluftabflüsse in den frühen Abendstunden, so dass der bedeutende Effekt erst nach 3 bis 4 Stunden nach Sonnenuntergang den Großteil der Ortslagen erreichen kann.

Um vor allem die Zeit nach Sonnenuntergang bis etwa 2 Stunden nach Sonnenuntergang zu überbrücken, bevor die Kaltluftabflüsse alle Bereiche erreichen, ist eine lokale Verbesserung der Kaltluftproduktion und der Ausbau der Vernetzung notwendig. Da der höchste Effekt im Straßenraum erzielt werden kann und der größte Handlungsbedarf anhand der Funktionskarte Cold- & Hotspots innerhalb der Kernstadt verortet wurde, wurden zwei Maßnahmentypen entwickelt und in ihrer Wirksamkeit überprüft.

Durch die Maßnahmen konnte der gewünschte Effekt erzielt werden, die Begrünungstypen können bereits direkt nach Sonnenuntergang ihre Wirkung entfalten und einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung des Bioklimas leisten.

Neben der Tatsache, dass eine Verbesserung der klimaökologischen Situation in den Lasträumen entsteht, ermöglichen die naturbasierten Maßnahmen einen zusätzlichen positiven Effekt im Fall eines Starkregenereignisses. Durch die entsiegelten Flächen und einer geschickten Gestaltung des Straßenraums mit der empfohlenen Grünausstattung entsteht eine Ergänzung, so dass das Thema Hitze und Starkregen als die dringendsten Gefahren durch den Klimawandel, gemeinsam angegangen werden können.

Die entwickelten Maßnahmen greifen die bereits vorhandenen Maßnahmen im Klimaanpassungskonzept der Stadt Bendorf auf und verorten diese (SP2 Entsiegelung und Frischluft, SP4 Ausbau der grün-blauen Infrastruktur sowie MGuK2 Bauliche und infrastrukturelle Maßnahmen) für eine klimaangepasste Stadt.

Quellen

Baugesetzbuch (BauGB):
Baugesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 3. November 2017 (BGBl. I S. 3634), zuletzt geändert durch Art. 3 G v. 20.12.2023 I Nr. 394.

Baumüller, J. und Katzschner, L. 2023:
Stadtklima und Klimaanpassung in der städtebaulichen Planung, DWD Promet, Heft 106, S. 115-125.

BMUV (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz) 2020:
Zweiter Fortschrittsbericht zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel.

Brandenburg C. und Matzarakis, A., 2007:
Das thermische Empfinden von Touristen und Einwohnern der Region Neusiedler See. In: Matzarakis, A., und Mayer, H. (Hrsg.), Proceedings zur 6. Fachtagung BIOMET. Ber. Meteor. Inst. Univ. Freiburg Nr. 16, 67-72.

Brasseur, G., Jacob, D. und Schuck-Zöller, S. (Hrsg.) 2023:
Klimawandel in Deutschland. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.

Bund Deutscher Landschaftsarchitekten bdla (Hrsg.) 2023:
KLIMAANPASSUNG IM STÄDTEBAU. Acht Empfehlungen für eine angemessene Berücksichtigung der Klimaanpassung im Städtebaurecht.

DWD 2016:
Das Kaltluftabflussmodell KLAM_21. Deutscher Wetterdienst, Klima- und Umweltberatung.

GERICS 2021:
Klimaausblick für Landkreise. Helmholtz-Zentrum hereon GmbH, Climate Service Center Germany (GERICS), Hamburg.

Hahne, J., Katzschner, L. und Kupski, S. 2025:
Stadtklimabewertung für Hitzeaktionspläne. In: Filho, W.L., Scherenberg, V. (eds) SDG 13: *Maßnahmen zum Klimaschutz. Globale Ziele für nachhaltige Entwicklung*. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg.

HLNUG (Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie) 2025:
„Klima der Zukunft“ in Hessen. Online: Klima der Zukunft (aufgerufen am 02.07.2025).

Höppe, P. 1999:
The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. Int. J. Biometeorol. 43, 71-75.

Katzschner, L. 2004:
Beitrag der Stadtklimatologie zu den Zielen einer neuen Urbanität UVP Report, Nr. 1/2004, Hamm.

Katzschner L. und Kupski, S. 2019:
Bedeutung der Kaltluft und Ventilation in Städten. In: Lozán J. L. S.-W. Breckle, H. Grassl, W. Kuttler & A. Matzarakis (Hrsg.). Warnsignal Klima: Die Städte. pp. 48-52. Online: www.klimawarnsig nale.uni-hamburg.de. doi:10.25592/warnsignal.klima.die-staedte.07.

Katzschner, L., Katzschner, A. und Kupski, S. 2010:
Abschlussbericht des BMBF Verbundprojekts KLIMES. Teilvorhaben Planerische Bewertung der kleinräumigen Stadtklimaanalyse zur Umsetzung der Maßnahmen „Anpassung an Klimaextreme“. Meteorologisches Institut der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg [Hg.].

Kupski S. 2017:
Klimagerechte Materialien – Hitze Hotspot Stadt. Natürlich Technik: Mit neuen Materialien dem Klimawandel trotzen. In Garten + Landschaft 07/2017, Georg D.W. Callwey GmbH & Co. KG, München.

Kuttler, W. 2019:
Stadtklima: Charakteristika, Nachweismöglichkeiten. In: Lozán, J.L., Breckle, S.-W., Graßl, H., Kuttler, W. und Matzarakis, A. [Hg.], Warnsignal Klima, Die Städte. Hamburg: Wissenschaftliche Auswertungen GEO. S.21-28.

Kuttler, W., Halbig, G. und Oßenbrügge, J. 2023:
Städte im Klimawandel. In: Brasseur, G.P., Jacob, D. und Schuck-Zöllner, S. [Hg.], Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Berlin: Springer Nature, 2. Auflg., S. 275-288. Online: https://doi.org/10.1007/978-3-662-66696-8 (aufgerufen am: 05.06.2024).

Oke, T. R. 2006:
Boundary layer climates. London,New York: Routledge.

Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen 2026:
Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen. https://www.klimawandel.rlp.de/ (zuletzt abgerufen am 18.05.2026)

Scherer, D. 2023:
Temperatur und Hitze in der Stadt, DWD Promet, Heft 106, S. 15-27.

Schlegel, I., und Mücke, H. 2021:
Einfluss des Klimawandels auf die Morbidität und Mortalität von Atemwegserkrankungen: Abschlussbericht. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

VDI 2024:
VDI-Handlungsempfehlung Modellbasierte Bestimmung hitzegefährdeter Siedlungsräume. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.

VDI 2024a:
Richtlinie 3787 Blatt 7: Umweltmeteorologie – Klimaindikatoren (Entwurf). Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.

VDI 2023:
VDI-Richtlinie 3785 Blatt 2 Umweltmeteorologie: Methoden bodengebundener Stadt- und Standortklimamessungen mit mobilen Messsystemen. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.

VDI 2015:
Richtlinie 3787 Blatt 1 Umweltmeteorologie – Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.

VDI 2008:
Richtlinie 3787 Blatt 2 Umweltmeteorologie – Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung – Teil I: Klima. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.

VDI 2003:
Richtlinie 3787 Blatt 5 Umweltmeteorologie – Lokale Kaltluft. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.

Anlagen