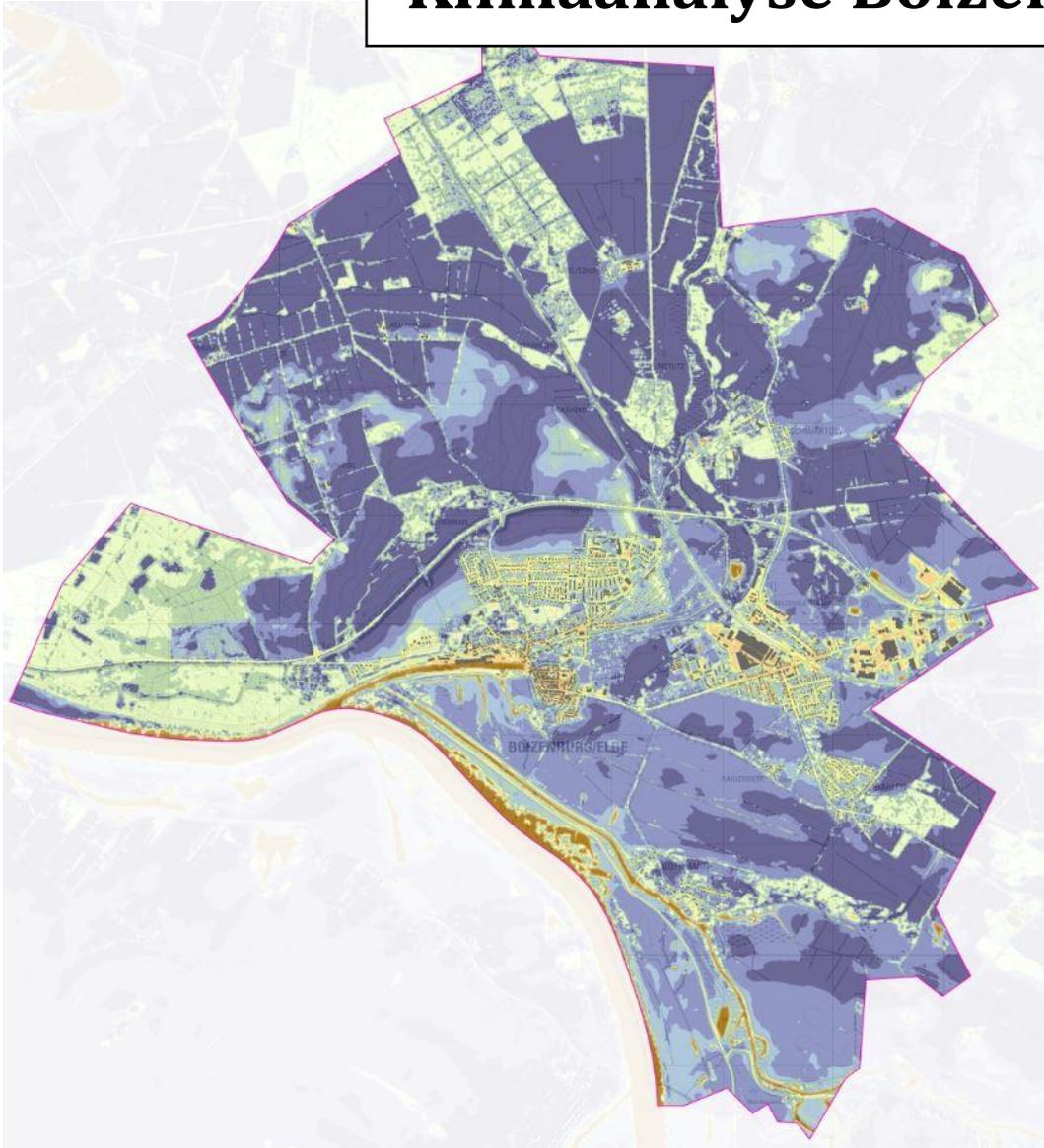


Klimaanalyse Boizenburg/Elbe



Erstellt von:

GEO-NET Umweltconsulting GmbH, Hannover



Auftraggeber:

Helmholtz-Zentrum Hereon

Climate Service Center Germany (GERICS)

Oktober 2021

Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS	II
GLOSSAR	III
1. EINFÜHRUNG	5
2. FACHLICHE GRUNDLAGEN	5
2.1 Der Wärmeinseleffekt	5
2.2 Klima in Boizenburg/Elbe	7
3. METHODIK DER MODELLGESTÜTZTEN STADTKLIMAANALYSE	9
3.1 Untersuchungsgebiet	9
3.2 Betrachtete Wetterlage	10
3.3 Das Modell FITNAH 3D	11
3.4 Modelleingangsdaten	12
4. MODELLERGEBNISSE	13
4.1 Nächtliches Temperaturfeld	13
Ergebnisse	14
4.2 Kaltluftproduktion	15
Ergebnisse	15
4.3 Kaltluftströmungsfeld	16
Ergebnisse	17
4.4 Thermische Belastung am Tage	20
Ergebnisse	21
5. ZUSAMMENFASSUNG	22
QUELLENVERZEICHNIS	24
ANHANG	I

Glossar

Albedo: Rückstrahlvermögen einer Oberfläche (Reflexionsgrad kurzwelliger Strahlung). Verhältnis der reflektierten zur einfallenden Lichtmenge. Die Albedo ist abhängig von der Beschaffenheit der bestrahlten Fläche sowie vom Spektralbereich der eintreffenden Strahlung.

Allochthone Wetterlage: Durch großräumige Luftströmungen bestimmte Wetterlage, die die Ausbildung kleinräumiger Windsysteme und nächtlicher Bodeninversionen verhindert. Dabei werden Luftmassen, die ihre Prägung in anderen Räumen erfahren haben, herantransportiert.

Austauscharme Wetterlage: → *Autochthone Wetterlage*

Autochthone Wetterlage: Durch lokale und regionale Einflüsse bestimmte Wetterlage mit schwacher Windströmung und ungehinderten Ein- und Ausstrahlungsbedingungen, die durch ausgeprägte Tagesgänge der Lufttemperatur, der Luftfeuchte und der Strahlung gekennzeichnet ist. Die meteorologische Situation in Bodennähe wird vornehmlich durch den Wärme- und Strahlungshaushalt und nur in geringem Maße durch die Luftmasse geprägt, sodass sich lokale Klimate wie das Stadtklima bzw. lokale Windsysteme wie z.B. Berg- und Talwinde am stärksten ausprägen können.

Bioklima: Beschreibt die direkten und indirekten Einflüsse von Wetter, Witterung und Klima (= atmosphärische Umgebungsbedingungen) auf die lebenden Organismen.

Humanbioklima: Auswirkung des Klimas und einzelner Klimaelemente auf den Menschen.

Bioklimatische Belastung: Beeinträchtigung des menschlichen *Bioklimas*, die zu Unwohlsein oder sogar gesundheitlichen Auswirkungen führen kann.

Flurwind: Thermisch bedingte, relativ schwache Ausgleichsströmung, die durch horizontale Temperatur- und Druckunterschiede zwischen vegetationsgeprägten Freiflächen im Umland und (dicht) bebauten Gebieten entsteht. Flurwinde strömen vor allem in den Abend- und Nachtstunden schubweise in Richtung der Überwärmungsbereiche (meist Innenstadt oder Stadtteilzentrum).

Grünfläche: Als „Grünfläche“ werden in dieser Arbeit unabhängig von ihrer jeweiligen Nutzung diejenigen Flächen bezeichnet, die sich durch einen geringen Versiegelungsgrad von maximal ca. 25 % ihrer Gesamtfläche auszeichnen. Neben Parkanlagen, Kleingärten, Friedhöfen und Sportanlagen umfasst dieser Begriff damit auch landwirtschaftliche Nutzflächen sowie Forsten und Wälder.

Kaltluft: Luftmasse, die im Vergleich zu ihrer Umgebung bzw. zur Obergrenze der entsprechenden Bodeninversion eine geringere Temperatur aufweist und sich als Ergebnis des nächtlichen Abkühlungsprozesses der bodennahen Atmosphäre ergibt. Der ausstrahlungsbedingte Abkühlungsprozess der bodennahen Luft ist umso stärker, je geringer die Wärmekapazität des Untergrundes ist, und über Wiesen, Acker- und Brachflächen am höchsten. Konkrete Festlegungen über die Mindesttemperaturdifferenz zwischen Kaltluft und Umgebung oder etwa die Mindestgröße des Kaltluftvolumens, die das Phänomen quantitativ charakterisieren, gibt es bisher nicht (VDI 2003).

Kaltluftvolumenstrom: Das Produkt der Fließgeschwindigkeit der *Kaltluft*, ihrer vertikalen Ausdehnung (Schichthöhe) und der horizontalen Ausdehnung des durchflossenen Querschnitts (Durchflussbreite; Einheit $m^3/(s \cdot m)$). Der Kaltluftvolumenstrom beschreibt somit diejenige Menge an *Kaltluft*, die in jeder Sekunde durch den Querschnitt beispielsweise eines Hanges fließt. Anders als das *Strömungsfeld* berücksichtigt der Kaltluftvolumenstrom somit auch Fließbewegungen oberhalb der bodennahen Schicht.

Klimaökologie: untersucht Funktionsbeziehungen zwischen Klimaelementen und dem Landschaftsökosystem.

PET (Physiologisch äquivalente Temperatur): Humanbioklimatischer Index zur Kennzeichnung der Wärmebelastung des Menschen, der Aussagen zur Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit sowie kurz- und langwelligen Strahlungsflüssen kombiniert und aus einem Wärmehaushaltsmodell abgeleitet wird.

Rauigkeit: Größe zur Beschreibung der „Unebenheit“ des Untergrundes. Die Erdoberfläche ist nicht glatt sondern wird aufgrund der vorhandenen Rauigkeitselemente wie Sandkörner, Bewuchs und Bebauung beschrieben. Diese Elemente bremsen beispielsweise den Wind in Bodennähe stark ab.

Städtische Wärmeinsel (*Urban Heat Island*): Städte weisen im Vergleich zum weitgehend natürlichen, unbebauten Umland aufgrund des anthropogenen Einflusses (u.a. hoher Versiegelungs- und geringer Vegetationsgrad, Beeinträchtigung der Strömung durch höhere Rauigkeit, Emissionen durch Verkehr, Industrie und Haushalt) ein modifiziertes Klima auf, das im Sommer zu höheren Temperaturen und bioklimatischen Belastungen führt. Das Phänomen der Überwärmung kommt vor allem nachts zum Tragen und wird als Städtische Wärmeinsel bezeichnet.

Strahlungswetterlage → *Autochthone Wetterlage*

Strömungsfeld: Für den Analysezeitpunkt 04:00 Uhr morgens simulierte flächendeckende Angabe zur Geschwindigkeit und Richtung der *Flurwinde* in 2 m über Grund während einer *autochthonen Wetterlage*.

1. Einführung

Das Schutzgut *Klima* ist ein wichtiger Aspekt der räumlichen Planung und vor dem Hintergrund konkurrierender Planungsziele sind flächenbezogene Fachinformationen ein wichtiges Hilfsmittel zu dessen sachgerechter Beurteilung.

Dicht bevölkerte Städte mit dicht bebauten und hochversiegelten Siedlungsflächen unterliegen insbesondere nachts einer Überwärmung im Vergleich zu den sie umgebenden Grünflächen. Aber auch Städte mit einer kleineren Einwohnerzahl und einer vermeintlich geringen Baudichte können einer gewissen Überwärmung unterliegen und weisen humanbioklimatische Belastungen auf.

Aus der Kenntnis des in einer Stadt vorherrschenden Lokalklimas und den klimatischen Funktionszusammenhängen lassen sich Schutz- und Entwicklungsmaßnahmen zur Verbesserung des Klimas ableiten. Dieser Leitgedanke zielt auf die Erhaltung und Verbesserung günstiger bioklimatischer Verhältnisse ab.

Für die Stadt Boizenburg/Elbe wurde dem Stand der Technik entsprechend eine flächendeckende Modellanalyse in einer Auflösung von 5 m durchgeführt. Durch die kleinräumige Erfassung von Gebäuden und Grünstrukturen, samt derer individueller Strukturhöhe, können detaillierte Aussagen zum Einfluss des Stadtkörpers auf das Mikroklima getroffen werden. Die Ergebnisse der Modellrechnung spiegeln neben der Nachtsituation auch die bioklimatische Belastung am Tage wider und erlauben somit eine umfassende Betrachtung des lokalen Mikroklimas innerhalb des Stadtgebietes. Der vorliegende Bericht erläutert die Methodik der Klimaanalyse und beschreibt die Ergebnisse der Modellrechnung.

2. Fachliche Grundlagen

2.1 DER WÄRMEINSELEFFEKT

Durch den anthropogenen Einfluss herrschen in einer Stadt modifizierte Klimabedingungen vor, die tendenziell mit steigender Einwohnerzahl bzw. Stadtgröße stärker ausgeprägt sind (Oke 1973). Gründe hierfür sind bspw. der hohe Versiegelungsgrad, dem ein geringer Anteil an Vegetation und natürlicher Oberfläche gegenüber steht, die Oberflächenvergrößerung durch Gebäude (Beeinträchtigung der Strömung durch höhere Rauigkeit, Mehrfachreflexion der Gebäude) sowie Emissionen durch Verkehr, Industrie und Haushalte (anthropogener Wärmefluss). Im Vergleich zum weitgehend natürlichen, un bebauten Umland führen diese Effekte im Sommer zu höheren Temperaturen und bioklimatischen Belastungen. Das Phänomen der Überwärmung kommt vor allem nachts zum Tragen und wird als *Städtische Wärmeinsel* bezeichnet.

Für die Stadtbevölkerung können Belastungen vornehmlich bei Hochdruckwetterlagen, die durch einen ausgeprägten Tagesgang von Strahlung, Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Wind und Bewölkung bestimmt sind (autochthone Wetterlagen), entstehen. Unter diesen Rahmenbedingungen kommt es tagsüber zu einem konvektiven Aufsteigen warmer Luft über dem überwärmten Stadtkörper. Als Folge des entstehenden bodennahen Tiefdruckgebietes treten Ausgleichsströmungen auf, d.h. Luftmassen aus dem Umland können bis in das Stadtgebiet hineinströmen (Abb. 1). Am Tag führen Flurwinde in der Regel nicht

zum Abbau der Wärmebelastung in den Siedlungsflächen, da im Umland meist ein ähnliches Temperaturniveau vorherrscht. Sie können jedoch zur Durchmischung der bodennahen Luftschicht beitragen und eine Verdünnung von Luftschadstoffen bewirken. Nachts dagegen kann kühlere Umgebungsluft aus stadtnahen (und ggf. innerstädtischen) Grünflächen in das wärmere Stadtgebiet strömen und für Entlastung sorgen. Der bodennahe Zufluss dieser „Kaltluft“ erfolgt mit geringen Strömungsgeschwindigkeiten und reagiert sensibel auf Strömungshindernisse, sodass er nur entlang von Flächen ohne blockierende Bebauung bzw. sonstige Hindernisse erfolgen kann (insb. über sogenannte Kaltluftleitbahnen)¹.

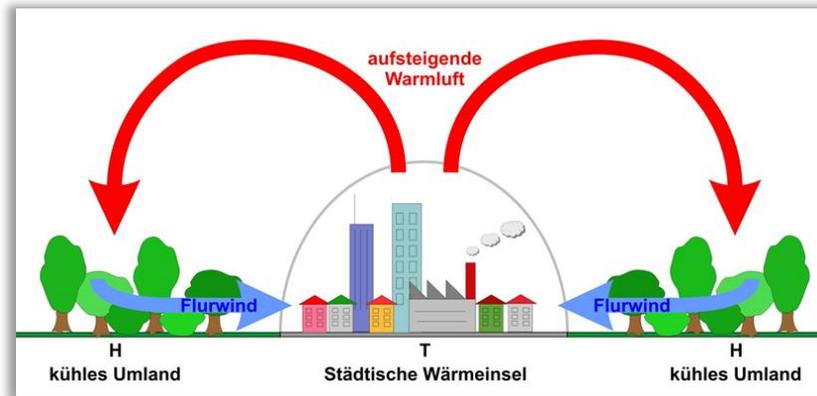


Abbildung 1: Prinzipskizze Flurwind.

Neben der vom Menschen freigesetzten Abwärme, kommt es durch den hohen Versiegelungsgrad zu einer Erwärmung des Stadtgebietes. Während unbebaute Flächen im Umland schnell auskühlen, erfolgt der Prozess des Abkühlens bei städtischen, versiegelten Flächen über einen längeren Zeitraum. Beispielsweise Beton und Asphalt besitzen eine geringe Albedo², sodass viel Strahlung absorbiert wird und sich die Flächen am Tag stark aufwärmen. In der Nacht kann die gespeicherte Wärme als langwellige Ausstrahlung an die Atmosphäre abgegeben werden (Häckel 2012, Malberg 2002). Aufgrund der stärkeren Versiegelung bzw. des geringeren Grünanteils im Vergleich zum Umland (und zudem meist geringerer Wasserverfügbarkeit) ist die Verdunstung und damit verbundene Kühlleistung in der Stadt herabgesetzt³ (Schönwiese 2008).

Verkehr, Industrie und Hausbrand bewirken nicht nur einen anthropogenen Wärmefluss, sondern führen auch zu vermehrten Emissionen. Entsprechend weist die Luft in der Stadt erhöhte Verunreinigungen durch Schadstoffe und Staub auf, die sich negativ auf die Gesundheit des Menschen auswirken können. Da die Windgeschwindigkeiten in der Stadt in der Regel herabgesetzt sind, kann kein ausreichender Luftaustausch stattfinden, um die Luftqualität merklich zu verbessern (Kuttler 2009).

¹ In den Nachtstunden sind autochthone Wetterlagen durch stabile Temperaturschichtungen der bodennahen Luft gekennzeichnet. Damit wird eine vertikale Durchmischung unterbunden und eine ggf. überlagerte Höhenströmung hat keinen Einfluss mehr auf das bodennahe Strömungsfeld, das entsprechend sensibel auf Hindernisse reagiert. Tagsüber sind die Verhältnisse weniger stabil. Durch das Aufsteigen von Warmluftblasen aus der bodennah nachströmenden Luft (Böigkeit) ist eine vertikale Durchmischung der Luftschichten möglich, sodass Strömungshindernisse ggf. überwunden werden können.

² Rückstrahlvermögen einer Oberfläche

³ In der Stadt steht dem geringeren latenten Wärmestrom ein höherer fühlbarer Wärmestrom gegenüber.

Dies erklärt die Notwendigkeit der Betrachtung des Stadtklimas, insb. da ein Großteil der Bevölkerung in Städten wohnt und demzufolge Belastungen so gering wie möglich gehalten werden sollten, um gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse sicherzustellen.

2.2 KLIMA IN BOIZENBURG/ELBE

Das aktuelle Klima Boizenburgs wurde anhand der DWD-Station Boizenburg (Stat-ID 591) abgeleitet. Diese liegt etwa 3 km nordwestlich der Innenstadt Boizenburgs in Streitheide. Das langjährige Mittel der Lufttemperatur liegt bei 9,0 °C. Die Jahresmitteltemperatur ist Schwankungen unterworfen, doch es zeigt sich ein klar zunehmender Trend über die letzten knapp 140 Jahre – insbesondere seit den 1990er Jahren wurden vorwiegend überdurchschnittlich warme Jahre beobachtet und so sind auch die fünf wärmsten Jahre in eben diesem Zeitraum zu finden (Abb. 2).

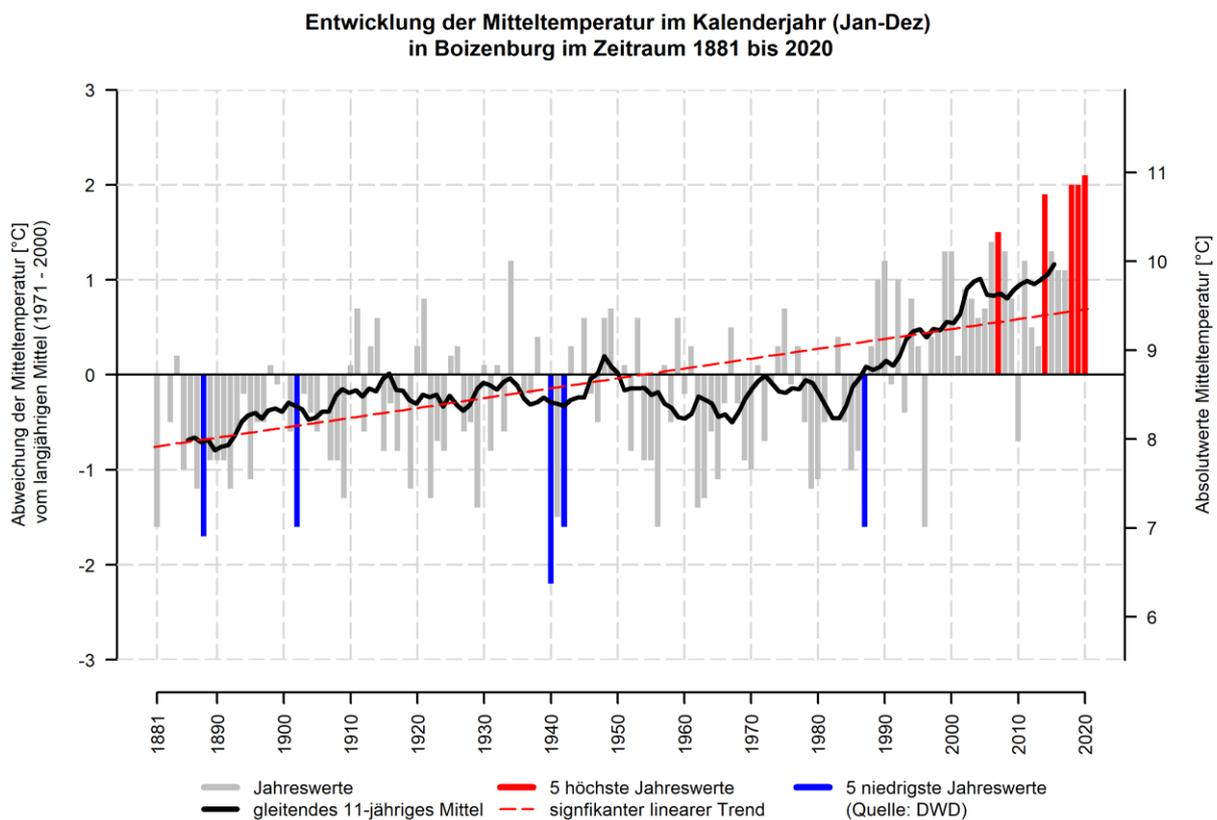


Abbildung 2: Entwicklung der Mitteltemperatur in Boizenburg im Zeitraum von 1881 bis 2020 (Quelle: eigene Berechnung nach DWD, 2021).

Die langjährige Windrichtungsverteilung im Raum Boizenburg zeigt vornehmlich südwestliche bzw. westliche Anströmungen (Abb. 3).

Fällt während autochthoner Sommernächte die übergeordnete Strömung weg, reduziert sich die Durchlüftung des Stadtgebiets (umgangssprachlich heißt es dann meist „die Luft steht“), was zu einer höheren thermischen Belastung führt. Entsprechend simuliert die vorliegende Stadtklimaanalyse eine solche Wetterlage, bei der Flurwinde als Ausgleichsströmungen in den Vordergrund rücken. In der Vergangenheit traten diese „windschwachen Strahlungsnächte“ im Sommer an etwa 5 - 7 Nächten pro Monat auf⁴ (ca. 20 % der Sommernächte; vgl. Abb. A 1 im Anhang). Im gesamten Jahr stellen sich in Boizenburg an 37 Nächten (ca. 10 % der Nächte) autochthone Wetterverhältnisse ein. Aber nur in den Sommermonaten (laut meteorologischer Definition Juni, Juli und August) bedeutet eine autochthone Wetterlage auch eine erhöhte Hitzebelastung für die Bevölkerung, deshalb wird der Fokus der vorliegenden Stadtklimaanalyse auf die Situation einer autochthonen Sommernacht gelegt.

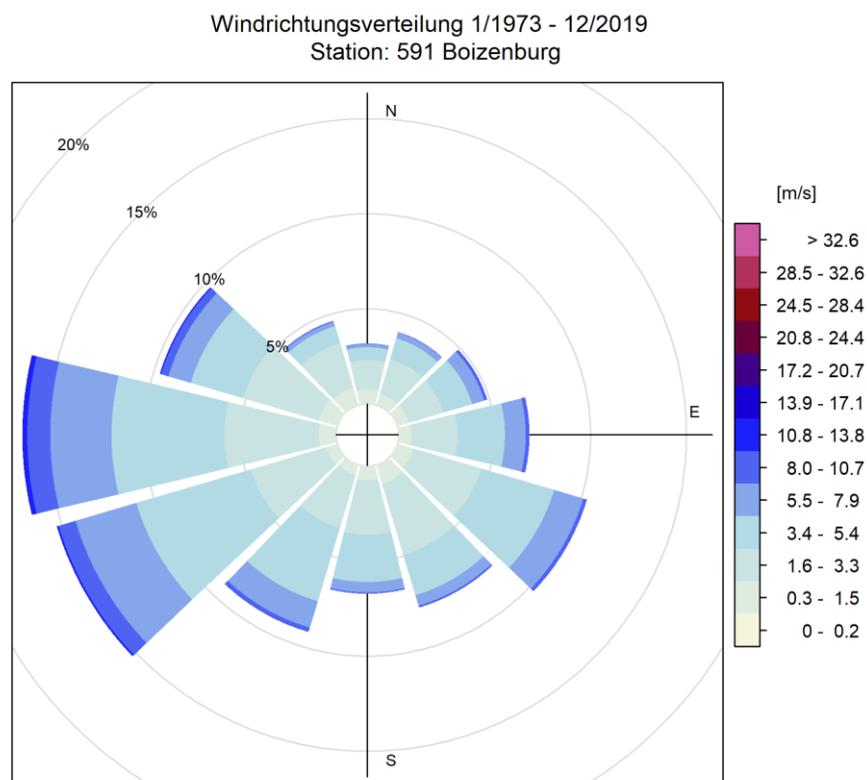


Abbildung 3: Windrichtungsverteilung in 10 m über Grund für den Zeitraum 1973-2019 an der DWD-Station Boizenburg (bezogen auf stündliche Werte; eigene Berechnung nach DWD 2021).

⁴ Monatliches Mittel der Anzahl windschwacher Strahlungsnächte an der DWD-Station Boizenburg im Zeitraum 1973-2019 anhand folgender Kriterien nach Augter/DWD (1997):

- Windgeschwindigkeit ≤ 2.7 m/s in 10 m ü.Gr. und Bedeckungsgrad höchstens vier Achtel in der Nacht
- Kriterien müssen für zehn Stunden innerhalb des Zeitraums 17:00 - 05:00 MEZ (Lücken erlaubt) oder an sieben aufeinanderfolgenden Stunden innerhalb desselben Zeitraums erfüllt sein (ohne Lücke)

3. Methodik der modellgestützten Stadtklimaanalyse

3.1 UNTERSUCHUNGSGBIET

Die Stadt Boizenburg/Elbe liegt im Dreiländereck Mecklenburg-Vorpommern/Niedersachsen/Schleswig-Holstein an der Elbe, etwa 50 km südöstlich von Hamburg. Das Stadtgebiet zeichnet sich durch große Anteile an Frei- und Grünflächen aus.

Das Stadtgebiet Boizenburgs erstreckt sich über eine Fläche von 47,4 km². Das für die Modellrechnung verwendete rechteckige Untersuchungsgebiet spannt eine Fläche von etwa 121 km² auf (ca. 11 km x 11 km), damit die im Umland gelegenen Höhenunterschiede sowie die angrenzenden Wasser- und Grünflächen mit erfasst werden (Abb. 4 a und b).

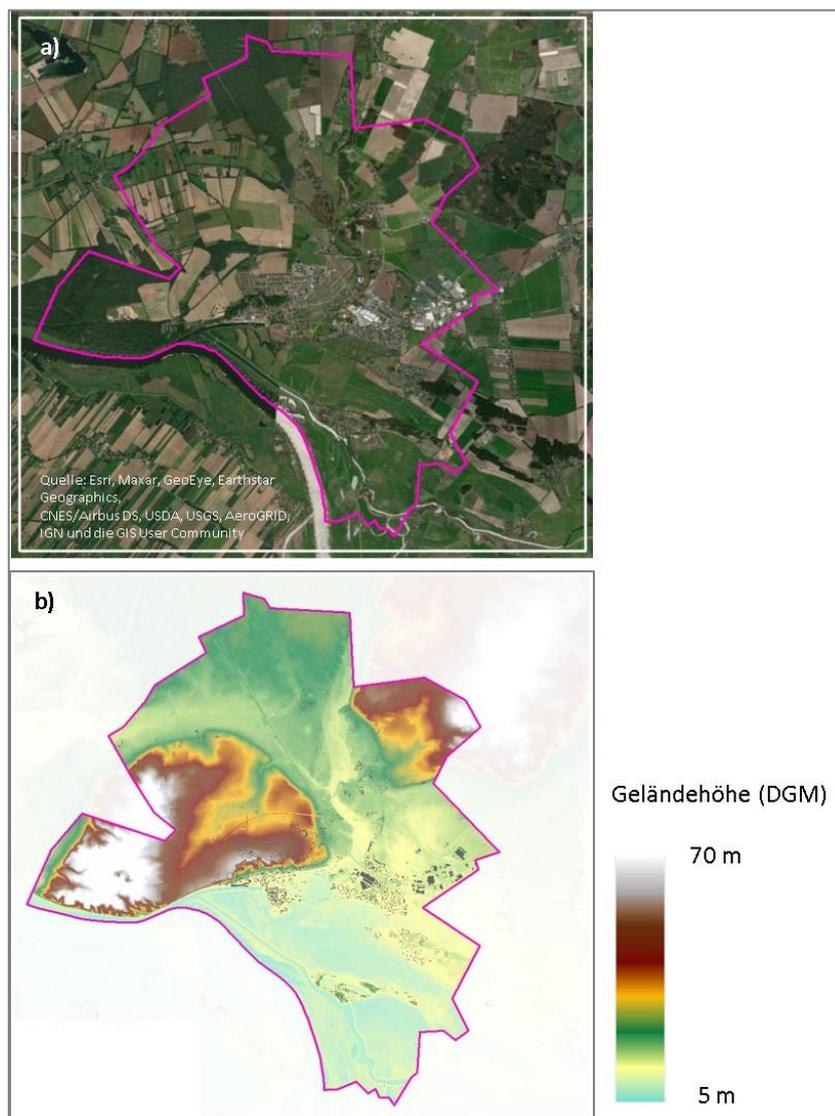


Abbildung 4: Untersuchungsgebiet für die Modellanalyse. Die pinke Umrandung zeigt die Umrandung des Stadtgebietes. Abb. 4 a) zeigt einen Überblick mit Hilfe eines Luftbildes, Abb. 4 b) zeigt die Geländehöhe im Stadtgebiet.

3.2 BETRACHTETE WETTERLAGE

Die Klimaanalyse legt einen autochthonen Sommertag als meteorologische Rahmenbedingung für die Modellrechnung zugrunde. Autochthone Bedingungen herrschen im Sommer (Juni, Juli, August) in Boizenburg an 5 – 7 Tagen/Monat vor. Diese werden durch wolkenlosen Himmel und einen nur sehr schwach überlagernden synoptischen Wind gekennzeichnet, sodass sich die lokalklimatischen Besonderheiten einer Stadt bzw. Region besonders gut ausprägen. Charakteristisch für solch eine (Hochdruck-) Wetterlage ist die Entstehung von Flurwinden, d.h. durch den Temperaturunterschied zwischen kühleren Freiflächen und wärmeren Siedlungsräumen angetriebene Ausgleichsströmungen.

In Abbildung 5 sind schematisch die für eine austauscharme sommerliche Wetterlage simulierten tageszeitlichen Veränderungen der Temperatur und Vertikalprofile der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit für die Landnutzungen Freiland, Stadt und Wald dargestellt. Beim Temperaturverlauf zeigt sich, dass unversiegelte Freiflächen wie z.B. Wiesen und bebaute Flächen ähnlich hohe Temperaturen zur Mittagszeit aufweisen können, während die nächtliche Abkühlung über Siedlungsflächen deutlich geringer ist (Wärmeinseleffekt). Waldflächen nehmen eine mittlere Ausprägung ein, da die nächtliche Auskühlung durch das Kronendach gedämpft wird. Hinsichtlich der Windgeschwindigkeit wird die Hinderniswirkung von Bebauung und Vegetationsstrukturen im Vertikalprofil deutlich.

Typischerweise führt ein autochthoner Sommertag aufgrund der hohen Einstrahlung und des geringen Luftaustauschs zu den höchsten thermischen Belastungen. Auch wenn es sich dabei um eine besondere Situation handelt, tritt solch eine Wetterlage regelmäßig und jeden Sommer mehrfach auf (in Boizenburg in etwa 10 % der Nächte insgesamt und in 20 % der Sommernächte).

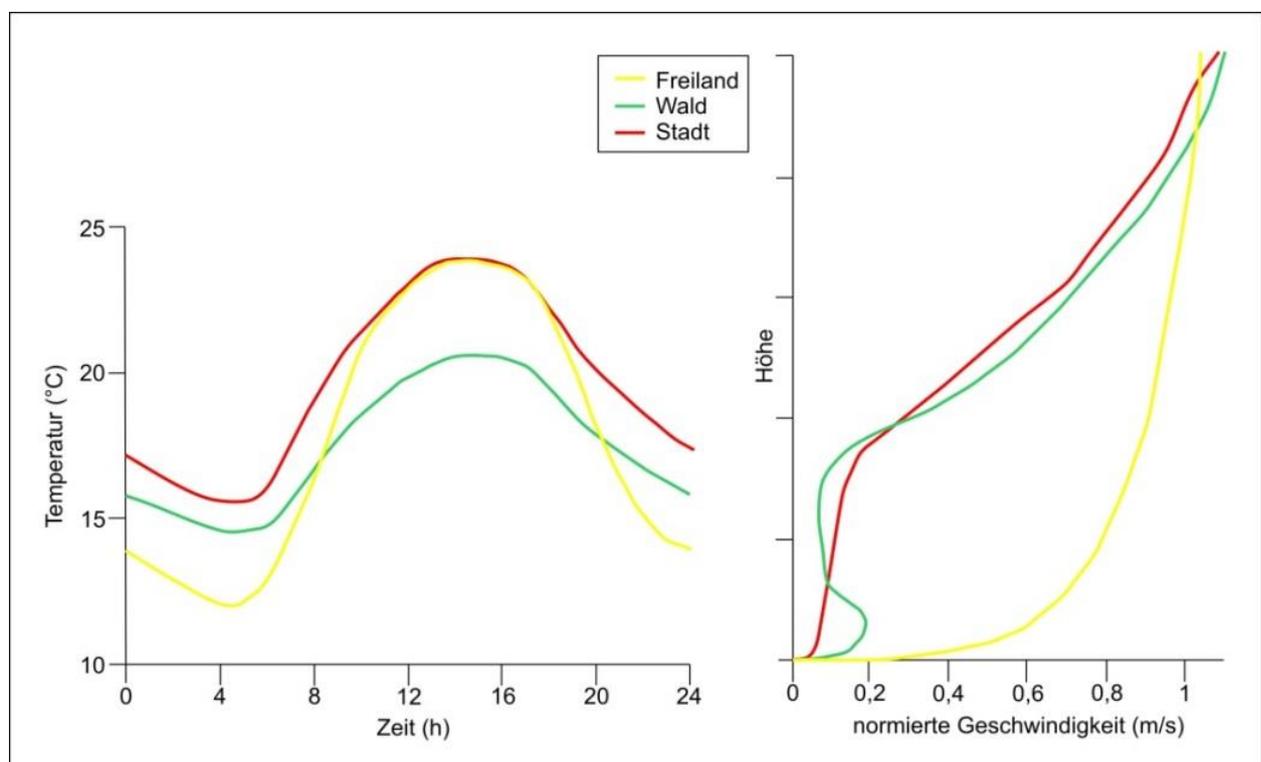


Abbildung 5: Schematische Darstellung des Tagesgangs der Lufttemperatur und Vertikalprofil der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit verschiedener Landnutzungen (eigene Darstellung nach Groß 1992).

3.3 DAS MODELL FITNAH 3D

In der Praxis spielen sich umweltmeteorologische Fragestellungen meist in der Größenordnung einer Stadt bzw. Region ab. Die dabei relevanten meteorologischen Phänomene weisen eine räumliche Erstreckung von Metern bis hin zu einigen Kilometern und eine Zeitdauer von Minuten bis Stunden auf. Als mesoskalige Phänomene werden dabei bspw. Flurwinde, Land-See-Winde oder die städtische Wärmeinsel bezeichnet, während der Einfluss von Hindernissen auf den Wind (z.B. Kanalisierung, Umströmung) oder die Wirkung verschattender Maßnahmen mikroskalige Effekte darstellen.

Obwohl die allgemeine Struktur und physikalischen Ursachen solch lokalklimatischer Phänomene im Wesentlichen bekannt sind, gibt es nach wie vor offene Fragen hinsichtlich der räumlichen Übertragbarkeit auf andere Standorte oder der Wechselwirkungen einzelner Strömungssysteme untereinander. Zwar kann die Verteilung meteorologischer Größen wie Wind und Temperatur durch Messungen ermittelt werden, aufgrund der großen räumlichen und zeitlichen Variation der meteorologischen Felder sind Messungen allerdings nur punktuell repräsentativ und eine Übertragung (insb. in komplexen Umgebungen) in benachbarte Räume nur selten möglich. Entsprechend schwierig ist es, aus einer beschränkten Anzahl von Beobachtungen eine umfassende (also flächenhafte) stadtklimatologische Bewertung vornehmen zu können.

Beginnend mit einem Schwerpunktprogramm der Deutschen Forschungsgemeinschaft wurden in Deutschland eine Reihe meso- und mikroskaliger Modelle konzipiert und realisiert (DFG 1988) und der heutige Entwicklungsstand dieser Modelle ist extrem hoch. Zusammen mit den über die letzten Dekaden gewonnenen Erfahrungen im Umgang mit diesen Modellen steht somit, neben Messungen vor Ort und Windkanalstudien, ein weiteres leistungsfähiges Werkzeug zur Bearbeitung umweltmeteorologischer Fragestellungen in der Stadt- und Landschaftsplanung zur Verfügung. Die Modelle basieren, genauso wie Wettervorhersage- und Klimamodelle, auf einem Satz sehr ähnlicher Bilanz- und Erhaltungsgleichungen. Das Grundgerüst besteht aus den Gleichungen für die Impulserhaltung (*Navier-Stokes Bewegungsgleichung*), der Massenerhaltung (*Kontinuitätsgleichung*) und der Energieerhaltung (*1. Hauptsatz der Thermodynamik*). Für tiefergehende Informationen zu FITNAH 3D wird u.a. auf Groß (1992) verwiesen.

Modelle wie FITNAH 3D können demnach deutlich besser zur Beantwortung stadtklimatologischer Fragestellungen herangezogen werden, als rein aus Messkampagnen gewonnene Werte, indem sie physikalisch fundiert die räumlichen und/oder zeitlichen Lücken zwischen den Messungen schließen, weitere meteorologische Größen berechnen und Wind- bzw. Temperaturfelder in ihrer raumfüllenden Struktur ermitteln. Die Modellrechnungen bieten darüber hinaus den Vorteil, dass Planungsvarianten und Ausgleichsmaßnahmen in ihrer Wirkung und Effizienz studiert und auf diese Art und Weise optimierte Lösungen gefunden werden können.

Die Lösung der Gleichungssysteme erfolgt in einem numerischen Raster. Die Rasterweite muss dabei so fein gewählt werden, dass die lokalklimatischen Besonderheiten des Untersuchungsraumes vom jeweiligen Modell erfasst werden können. Je feiner das Raster gewählt wird, umso mehr Details und Strukturen werden aufgelöst. Allerdings steigen mit feiner werdender Rasterweite die Anforderungen an Rechenzeit und die benötigten Eingangsdaten. Hier muss ein Kompromiss zwischen Notwendigkeit und Machbarkeit gefunden werden. In der vorliegenden Untersuchung beträgt die für die Modellierung mit FITNAH 3D verwendete horizontale räumliche Maschenweite 5 m (mikroskalige Modellrechnung). Die vertikale Gitterweite ist dagegen nicht äquidistant und in der bodennahen Atmosphäre besonders dicht

angeordnet, um die starke Variation der meteorologischen Größen realistisch zu erfassen. So liegen die untersten Rechenflächen in Höhen von 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50 und 70 m über Grund (ü.Gr.). Nach oben hin wird der Abstand immer größer und die Modellobergrenze liegt in einer Höhe von 3000 m ü.Gr. In dieser Höhe wird angenommen, dass die am Erdboden durch Orographie und Landnutzung verursachten Störungen abgeklungen sind.

3.4 MODELLEINGANGSDATEN

Ein numerisches Modell wie FITNAH 3D benötigt spezifische Eingangsdaten, die charakteristisch für die Landschaft des Untersuchungsgebiets sind. Geländehöhe und Nutzungsstruktur sind wichtige Eingangsdaten für die Modellierung, da über die Oberflächengestalt, die Höhe der jeweiligen Nutzungsstrukturen sowie deren Versiegelungsgrad das Strömungs- und Temperaturfeld entscheidend beeinflusst wird. Eine wichtige Modelleingangsgröße stellt zudem die Höhe der Baustrukturen dar, welche einen maßgeblichen Einfluss auf das lokale Windfeld ausübt. Von der Stadt Boizenburg wurden die Gebäudegeometrien als 3D-Modell zur Verfügung gestellt. Auf Grundlage dieser Informationen sowie unter Zunahme eines hochaufgelösten digitalen Oberflächenmodells (DOM) wurden den die Gebäude repräsentierenden Rasterzellen jeweils eine individuelle Strukturhöhe zugewiesen. Mit der hohen räumlichen Auflösung von 5 m x 5 m war es möglich, die Gebäudestrukturen realitätsnah zu erfassen und ihren Einfluss auf den nächtlichen Luftaustausch abzubilden. Ebenso war es anhand des DOM möglich Einzelbäume inklusive Strukturhöhe abzuleiten. Insgesamt wurden für das Boizenburger Stadtgebiet neun Landnutzungsklassen, welche jeweils unterschiedliche physikalische Eigenschaften besitzen, definiert (Abb. 6).

Die Klimaanalyse kann den Zustand des Stadtgebiets immer nur in einer bestimmten Situation abbilden. Die Eingangsdaten wurden in 2021 erstellt und hinsichtlich ihrer Plausibilität mittels eines Luftbildes (Stand 2020) sowie in Absprache mit dem Auftraggeber abgeglichen und gegebenenfalls ergänzt oder angepasst.

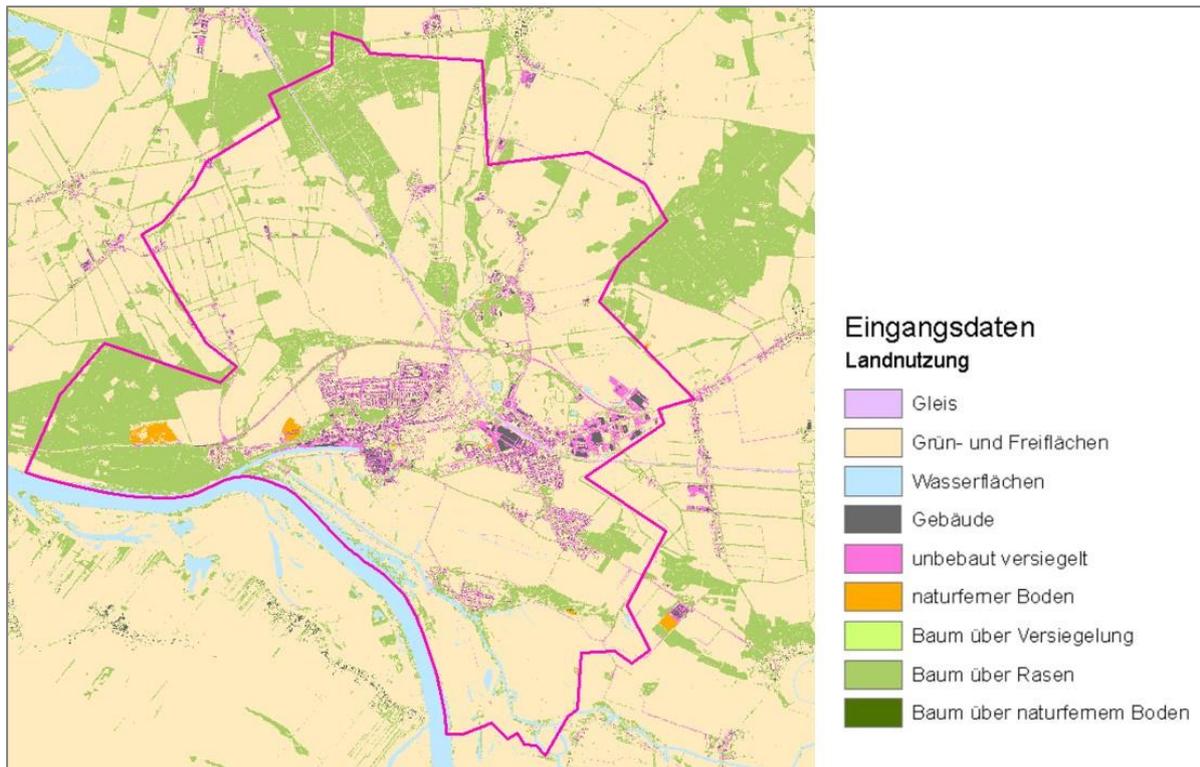


Abbildung 6: In das Modell eingegangene Nutzungsklassen.

4. Modellergebnisse

Im Folgenden werden die rasterbasierten Modellergebnisse der Parameter Lufttemperatur, Kaltluftproduktion, Kaltluftströmungsfeld und Kaltluftvolumenstrom (Nachtsituation) sowie Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET; Tagsituation) beschrieben. Die Ergebnisse basieren auf einer horizontalen räumlichen Auflösung von 5 m (pro Rasterzelle ein Wert) und einer autochthonen Sommerwetterlage. Sie gelten für den Aufenthaltsbereich des Menschen in 2 m über Grund und betrachten den Zeitpunkt 04 Uhr für die Nachtsituation (maximale Abkühlung) bzw. gelten für 1,1 m über Grund und den Zeitpunkt 14 Uhr für die Tagsituation (maximale Einstrahlung). Für die Darstellung in den Ergebniskarten wurden die Werte mittels einer bilinearen Interpolation geglättet.

4.1 NÄCHTLICHES TEMPERATURFELD

Die Ermittlung des bodennahen Temperaturfeldes ermöglicht es, Bereiche mit potentiellen bioklimatischen Belastungen abzugrenzen und die räumliche Ausprägung sowie Wirksamkeit von Kalt- bzw. Frischluftströmungen abzuschätzen. Die aufgeführten Absolutwerte der Lufttemperatur sind exemplarisch für eine autochthone Sommernacht in Boizenburg als besondere Wetterlage zu verstehen. Die daraus abgeleiteten relativen Unterschiede innerhalb verschiedener Bereiche bzw. zwischen den Nutzungsstrukturen gelten dagegen weitgehend auch während anderer Wetterlagen.

In der Nacht steht weniger der Aufenthalt im Freien, sondern die Möglichkeit eines erholsamen Schlafes im Innenraum im Vordergrund. Nach VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 besteht ein Zusammenhang zwischen

Außen- und Innenraumluft, so dass die Temperatur der Außenluft die entscheidende Größe für die Beurteilung der Nachtsituation darstellt (VDI 2008). Als optimale Schlaftemperaturen werden gemeinhin 16 - 18 °C angegeben (UBA 2016), während Tropennächte mit einer Minimumtemperatur ≥ 20 °C als besonders belastend gelten.

ERGEBNISSE

Abbildung 7 zeigt die Modellergebnisse für die nächtliche Lufttemperatur für das Stadtgebiet Boizenburgs. Je nach meteorologischen Verhältnissen, Lage bzw. Höhe des Standorts und den Boden- bzw. Oberflächeneigenschaften kann die nächtliche Abkühlung merkliche Unterschiede aufweisen, was auch für Boizenburg mit ihren verschiedenen Flächennutzungen deutlich wird. So umfasst die nächtliche bodennahe Lufttemperatur bei Minimalwerten von weniger als 16,0 °C über offenen Freiflächen und Maximalwerten bis knapp über 21,0 °C im Bereich hoch versiegelter Gebiete mit hoher Baudichte und über Wasserflächen eine Spannweite von etwa 5 °C. Das Ausmaß der Temperaturabweichung im Siedlungsbereich im Vergleich zur Umgebung ist vor allem von der Dichte der Überbauung abhängig. Dort wo die höchsten Bebauungsdichten bzw. ein hoher Versiegelungsgrad vorzufinden sind, tritt die stärkste nächtliche Überwärmung auf. So werden innerhalb der historischen Altstadt sowie im Bereich der Hafen- und ehemaligen Werftanlagen und im Bereich der Fliesenwerke relativ hohe nächtliche Temperaturen von über 19,5 °C erreicht.

In weniger dicht bebauten Gebieten, wie beispielsweise in der Wohnsiedlung nördlich des Stadtwaldes mit vorherrschender Einzelhausbebauung liegen die Temperaturen flächendeckend auf einem niedrigeren Niveau von bis zu 19,5 °C. Im nahen Bereich der Gebäude werden jedoch auch hier höhere Temperaturen von bis zu 20,5 °C erreicht. Grünflächen innerhalb der Siedlungsflächen kühlen während der Nacht relativ stark ab, die Lufttemperatur erreicht hier Werte von etwa 17 °C.

Über großen Grün- und Freiflächen entwickeln sich im Laufe der Nacht die niedrigsten Temperaturen von unter 16,0 °C, beispielsweise über den Rasenflächen südlich der Altstadt oder in Richtung Norden zwischen Siedlung und Bundesstraße B5. Verglichen mit den umliegenden Freiräumen sinkt die Lufttemperatur über kleinen innerstädtischen Grünflächen nur selten unter 18 °C (beispielsweise auf dem Kirchplatz), womit sie sich allerdings immer noch kühler darstellen als die sie umgebenden hochversiegelten Flächen.

Über mit Bäumen bestandenen Flächen dämpft das Kronendach die nächtliche Ausstrahlung und verringert damit die Abkühlung der nächtlichen Lufttemperatur in 2 m ü.Gr., sodass hier je nach Höhe und Dichte des Bewuchses Werte um bis zu 18,5 °C erreicht werden.

Über den Wasserflächen der Elbe und der Boize zeigen sich mit Temperaturen von bis zu $> 21,5$ °C relativ hohe Werte. Die hohe spezifische Wärmekapazität von Wasser sorgt für einen verringerten Tagesgang der Lufttemperatur, sodass die nächtlichen Temperaturen meist höher als in der Umgebung liegen und die Abkühlung der umliegenden Luftmassen verringern.

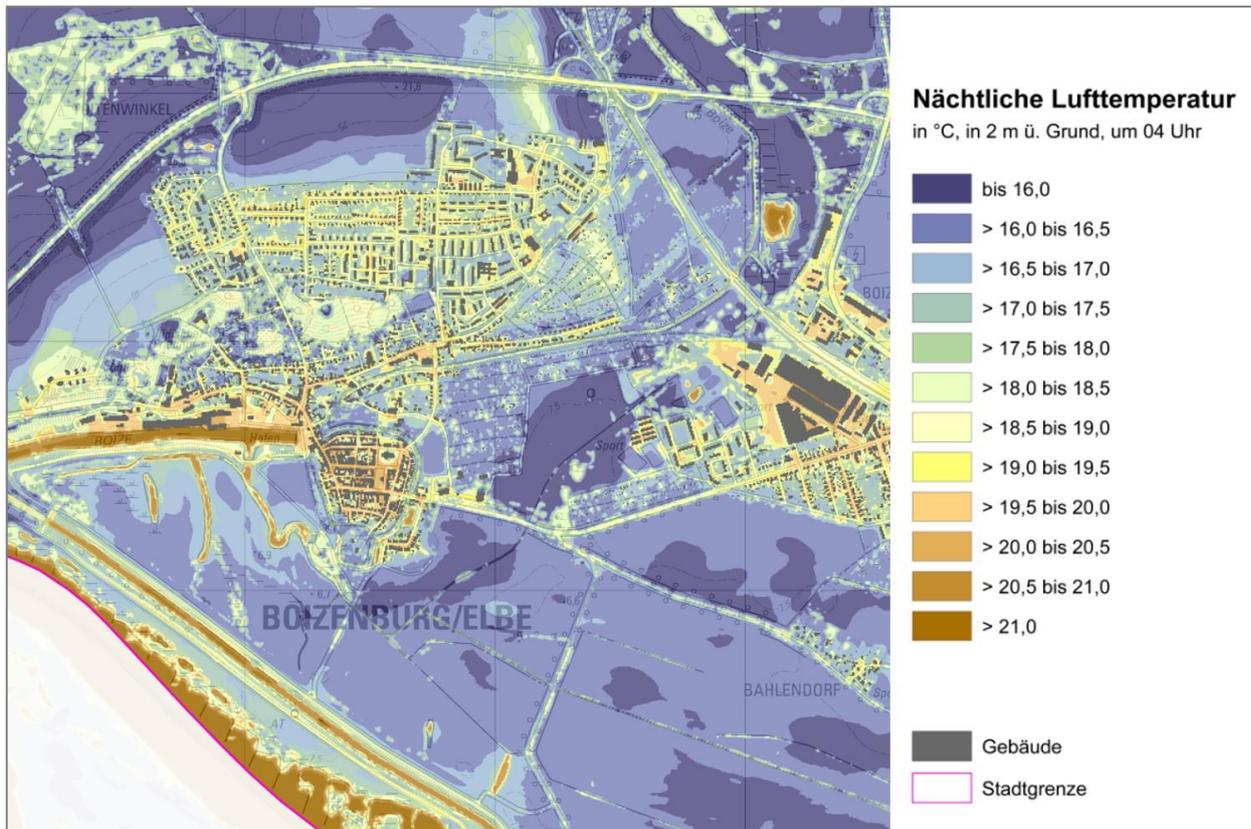


Abbildung 7: Ausschnitt des nächtlichen bodennahen Temperaturfeldes.

4.2 KALTLUFTPRODUKTION

Wie im vorherigen Kapitel gesehen, wirkt die Abkühlung der Bodenoberfläche maßgeblich auf das nächtliche Temperaturfeld. Als Maß für die Abkühlung kann die Kaltluftproduktionsrate dienen, die anzeigt wie viel Kaltluft über einer Fläche um 04 Uhr nachts entsteht. Sie wird in $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ angegeben.

ERGEBNISSE

Abbildung 8 zeigt die Ausprägung der nächtlichen Kaltluftproduktionsrate für das innerstädtische Stadtgebiet Boizenburgs. Es wird deutlich, dass die meiste Kaltluft über außerstädtischen Freiflächen ohne hohe Vegetation gebildet wird (beispielsweise nordwestlich der Altstadt in Richtung Bundesstraße B5), aber auch über Grünflächen in Siedlungsgebieten mit lockerer Bebauung findet eine gewisse Kaltluftproduktion statt (Siedlung nördlich der Altstadt). Nahezu gar keine Kaltluft wird über Wasserflächen und hoch versiegelten Flächen wie innerhalb der Altstadt produziert, da die nächtliche Abkühlung hier relativ gering ist.

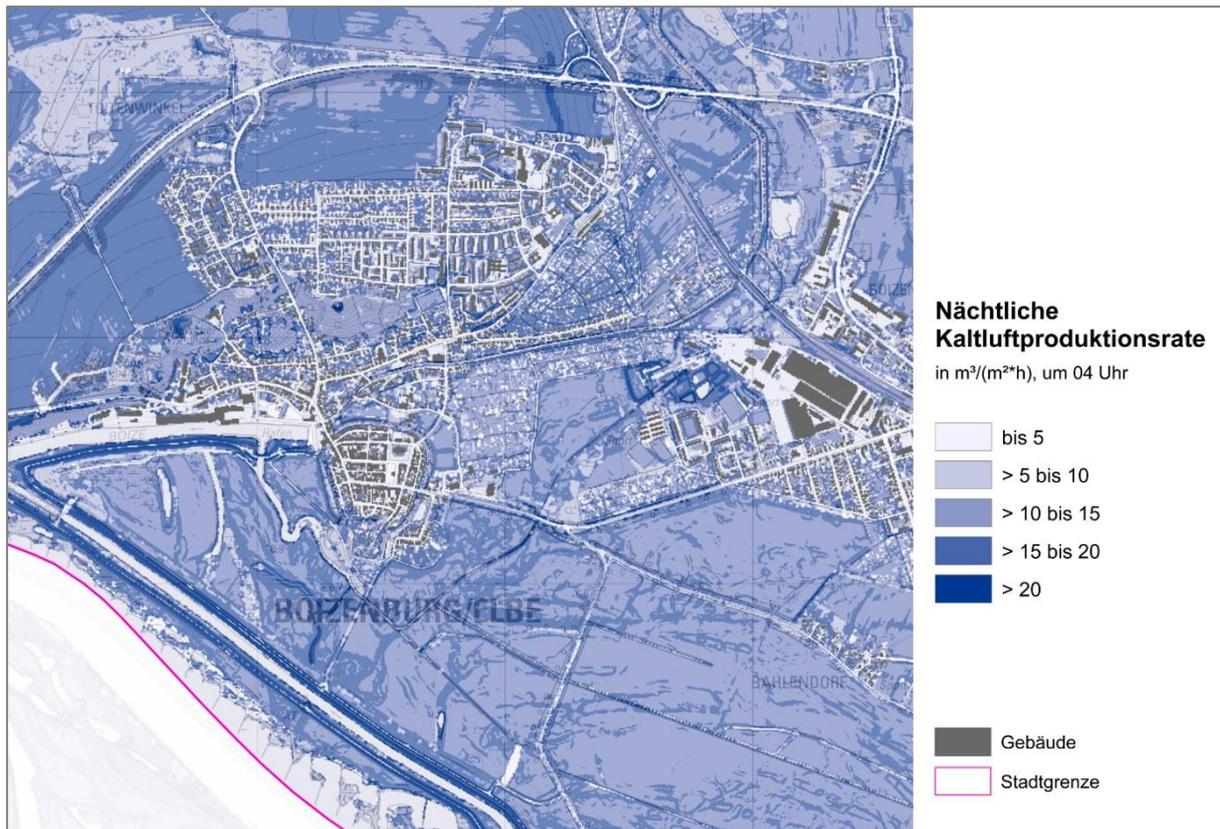


Abbildung 8: Ausschnitt der Ausprägung der nächtlichen Kaltluftproduktionsrate.

4.3 KALTLUFTSTRÖMUNGSFELD

Lokalen Strömungssystemen wie Flurwinden oder Hangabwinden kommt eine besondere landschaftsplanerische Bedeutung zu: Größere Siedlungen wirken aufgrund ihrer hohen aerodynamischen Rauigkeit als Strömungshindernis, sodass die Durchlüftung der Stadtkörper herabgesetzt ist. Die Abfuhr überwärmter und schadstoffbelasteter Luftmassen in den Straßenschluchten kann in Abhängigkeit von der Bebauungsart und -dichte deutlich eingeschränkt sein. Speziell bei austauschschwachen Wetterlagen wirken sich diese Faktoren bioklimatisch zumeist ungünstig aus. Daher können die genannten Strömungssysteme durch die Zufuhr kühlerer und frischer Luft eine bedeutende klima- und immissionsökologische Ausgleichsleistung für die Belastungsräume erbringen.

Weil die Ausgleichsleistung einer grünbestimmten Fläche nicht allein aus der Geschwindigkeit der Kaltluftströmung resultiert, sondern zu einem wesentlichen Teil durch ihre Mächtigkeit mitbestimmt wird (d.h. durch die Höhe der Kaltluftschicht), muss zur Bewertung der Grünflächen ein umfassenderer Klimaparameter herangezogen werden: der sogenannte Kaltluftvolumenstrom. Vereinfacht ausgedrückt stellt er das Produkt aus der Fließgeschwindigkeit der Kaltluft, ihrer vertikalen Ausdehnung (Schichthöhe) und der horizontalen Ausdehnung des durchflossenen Querschnitts dar. Er beschreibt somit diejenige Menge an Kaltluft in der Einheit m^3 , die in jeder Sekunde durch den Querschnitt bspw. eines Hanges oder einer Leitbahn fließt (Abb. 9).

Wie auch die anderen Klimaparameter ist der Kaltluftvolumenstrom eine Größe, die während der Nachtstunden in ihrer Stärke und Richtung veränderlich ist. Die sich im Verlauf der Nacht einstellenden Strömungsgeschwindigkeiten hängen im Wesentlichen von der Temperaturdifferenz der Kaltluft gegenüber der Umgebungsluft, der Hangneigung und der Oberflächenrauigkeit ab. Die Mächtigkeit der

Kaltluftschicht nimmt im Verlaufe einer Nacht in der Regel zu und ist, genau wie die Luftaustauschprozesse allgemein, meist erst in der zweiten Nachthälfte vollständig entwickelt.

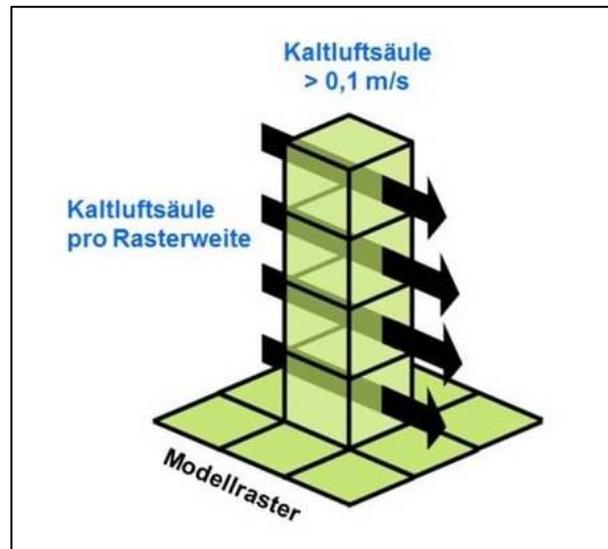


Abbildung 9: Prinzipskizze Kaltluftvolumenstrom

ERGEBNISSE

Die Abbildungen 10 zeigt das zum nächtlichen Analysezeitpunkt ausgeprägte bodennahe Kaltluftströmungsfeld in zwei Ebenen. Die Strömungsrichtung wird über die Pfeilrichtung in Form von Vektoren abgebildet. Der Übersichtlichkeit halber sind sie nicht in der originalen Auflösung von 5 m dargestellt, sondern wurden auf 100 m aggregiert. Die unterlegten Rasterzellen stellen zudem die Strömungsgeschwindigkeit flächenhaft in Farbstufungen dar. Die Werte beziehen sich auf eine Analysehöhe von 2 m über Grund. Die Geschwindigkeit der Kaltluftströmungen liegt verbreitet zwischen $< 0,1$ m/s und über $0,5$ m/s, wobei deren Dynamik räumlich variiert. Eine potentielle klimaökologische Wirksamkeit wird dabei ab einer Windgeschwindigkeit von $0,1$ m/s angenommen.

Der Farbgebung im Kartenausschnitt zeigt, dass relativ hohe Strömungsgeschwindigkeiten von bis zu $> 0,5$ m/s insbesondere über den Freiflächen mit einer geringen Rauigkeit auftreten (beispielsweise über Freiflächen westlich und südlich der Altstadt).

Am Rand von Stadtkörpern bilden sich häufig Flurwinde aus, die vom Umland in die Siedlungsbebauung strömen und die durch Temperaturunterschiede zwischen dem kühlen Umland und den wärmeren bebauten Flächen entstehen. Solche Flurwinde sind im Bereich der Altstadt und der nördlich angrenzenden Siedlungsgebiete jedoch nicht eindeutig zu erkennen (Abb. 10 a). Im Bereich der Altstadt kommt es aus nördlicher und südlicher Richtung zu einem gewissen Einströmen der Umgebungsluft in die Bebauung hinein, die über den großen westlich, südlich und östlich angrenzenden Freiflächen gebildete Kaltluft strömt jedoch parallel zur Bebauung bzw. sogar davon weg. Grund dafür ist, dass die historische Altstadt im Gelände einige Meter höher liegt als die umgebenden Freiflächen. Die Wärmeinsel der Altstadt ist nicht stark genug ausgeprägt, um die Kaltluft dem Gelände entgegen zu beschleunigen. Die Durchströmung der nördlich angrenzenden Siedlungsgebiete folgt ebenfalls dem Gelände. Das Geländemaximum liegt im Bereich des Stadtwaldes, der Straße *Am Stadtpark* sowie des Stadtparks selbst. Von hier fließt die Kaltluft, die sich über den nur locker bebauten Siedlungsflächen bildet, dem Gelände

folgend nach Norden durch die Siedlungsbebauung bzw. in Richtung Nordwesten zur Bundesstraße B5 sowie nach Süden in Richtung Altstadt. Weiterhin wird die Kleingartenanlage *Abendfrieden*, die in östlicher Richtung und ebenfalls in Hanglage liegt, relativ gut durchströmt.

Eine gewisse Ausbildung von Flurwinden ist weiter östlich im Stadtgebiet im Bereich des Bahnhofes und des östlich angrenzenden Gewerbegebietes zu erkennen (Abb. 10 b). Das Gelände ist hier flacher ausgeprägt, die Luft wird durch die oberflächennahen Temperaturunterschiede in Richtung der wärmeren Gebiete beschleunigt.

Die räumliche Ausprägung des Kaltluftvolumenstroms im Untersuchungsraum geht im Wesentlichen mit der des bodennahen Strömungsfeldes einher (Abb. 11). Hohe Kaltluftströme bilden sich insbesondere im Bereich der Hanglagen nördlich und westlich der Altstadt aus (Abb. 11 a). Nördlich des Stadtwaldes strömt der Kaltluftvolumenstrom hangabwärts durch das Siedlungsgebiet und wird im Verlauf durch die erhöhte Oberflächenrauigkeit und die erhöhte Lufttemperatur abgebremst. Durch die ausgeprägte Hangneigung in Richtung Altstadt bilden sich hier relativ hohe Kaltluftvolumenströme aus, die bis in die Altstadt reichen und dort von der Bebauung modifiziert werden. Östlich des Bahnhofs, wo die Kaltluft weniger durch das Gelände, sondern durch Temperaturunterschiede beschleunigt wird, bilden sich relativ hohe Kaltluftvolumenströme im Bereich der Siedlungs- und Gewerbeflächen aus, die von kühleren Grün- und Freiflächen umgeben sind (Abb. 11 b).

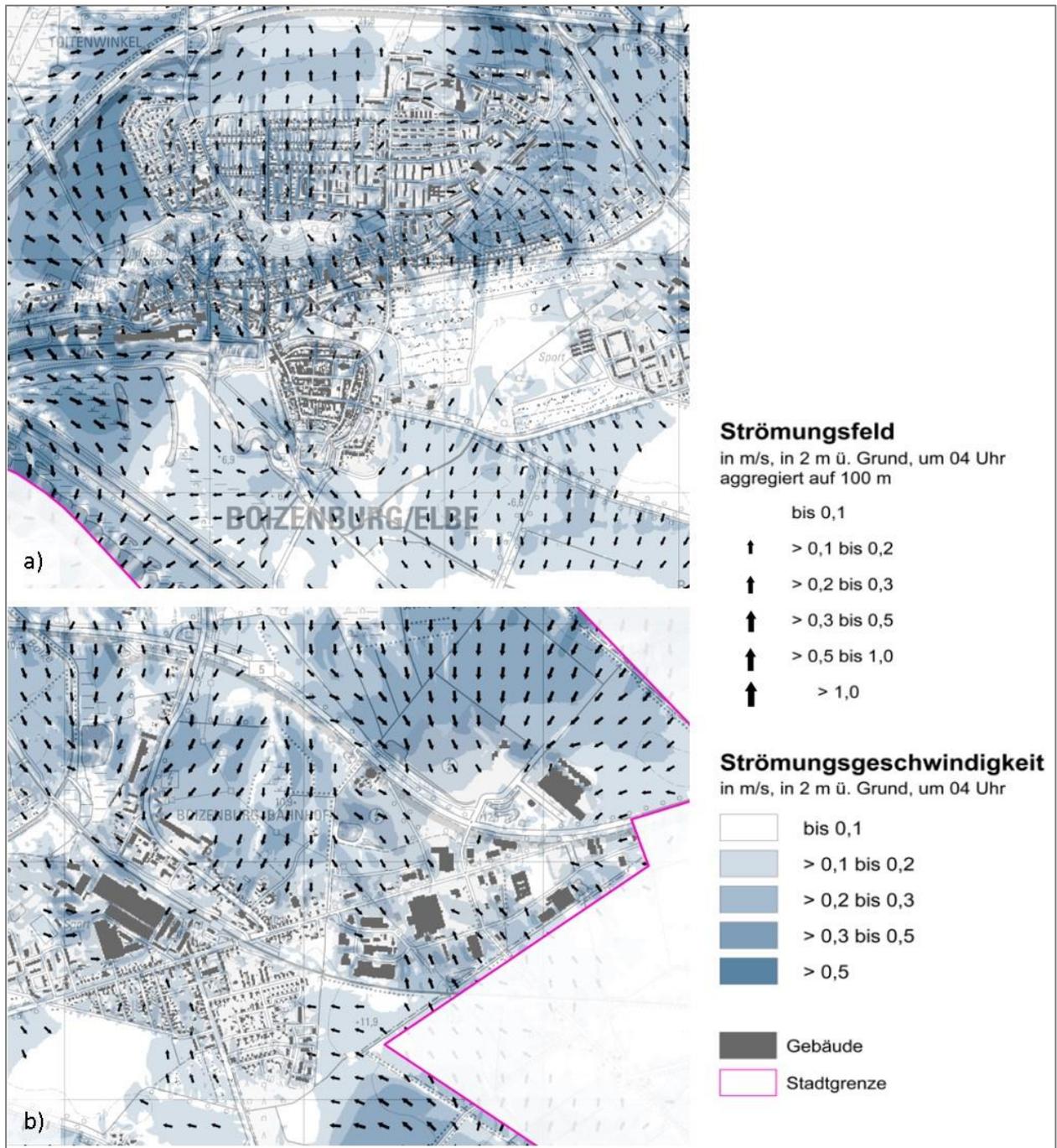


Abbildung 10: Ausschnitte der Ausprägung des Strömungsfeldes und der Strömungsgeschwindigkeit.

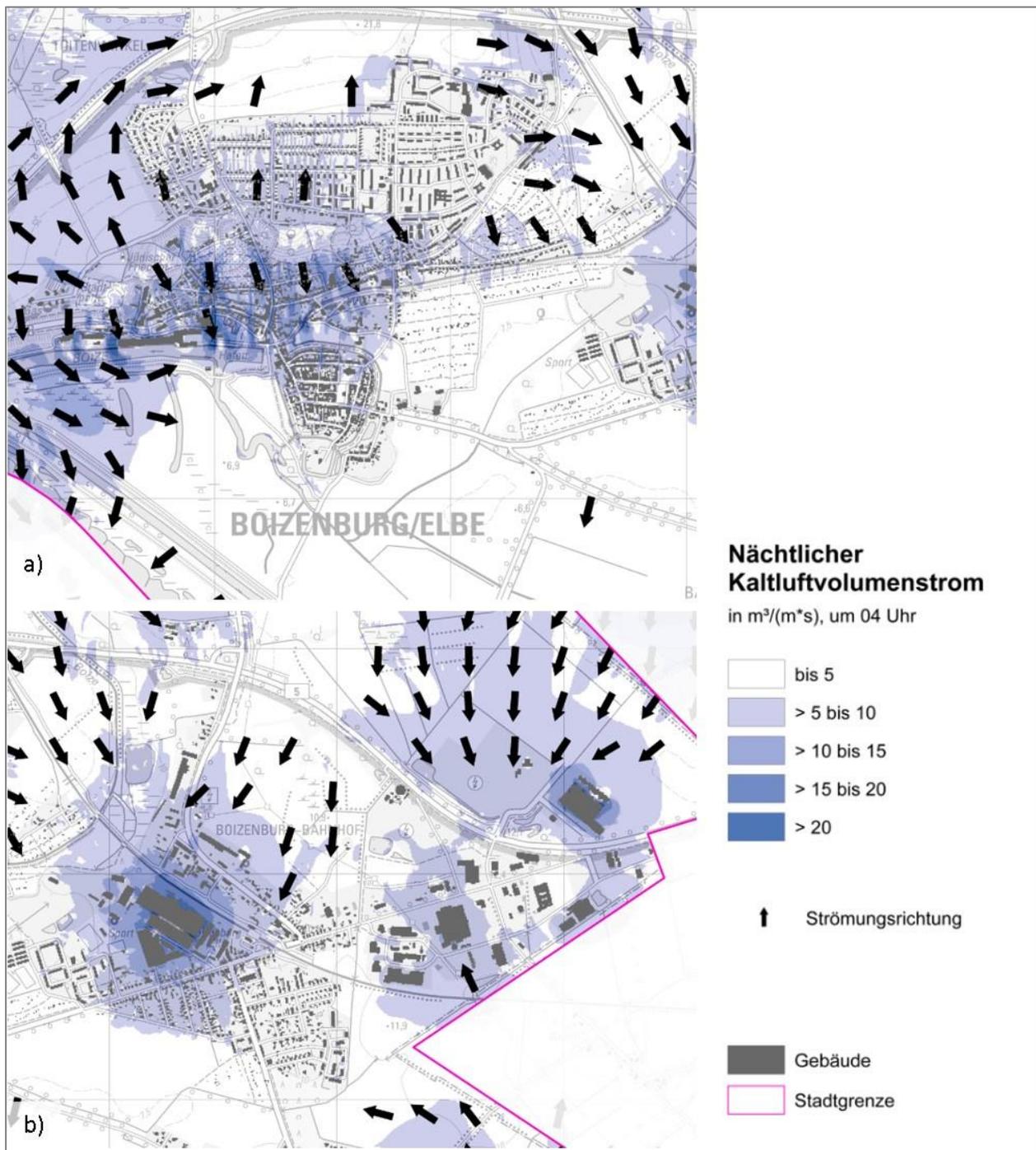


Abbildung 11: Ausschnitte der Ausprägung des Kaltluftvolumenstroms.

4.4 THERMISCHE BELASTUNG AM TAGE

Meteorologische Parameter wirken nicht unabhängig voneinander, sondern in biometeorologischen Wirkungskomplexen auf das Wohlbefinden des Menschen ein. Zur Bewertung werden Indizes verwendet (Kenngrößen), die Aussagen zur Lufttemperatur und Luftfeuchte, zur Windgeschwindigkeit sowie zu kurz- und langwelligen Strahlungsflüssen kombinieren. Wärmehaushaltsmodelle berechnen den

Wärmeaustausch einer „Norm-Person“ mit seiner Umgebung und können so die Wärmebelastung eines Menschen abschätzen⁵.

In der vorliegenden Analyse wird zur Bewertung der Tagsituation der humanbioklimatische Index PET um 14 Uhr herangezogen (Physiologisch Äquivalente Temperatur; Matzarakis & Mayer 1996). Gegenüber vergleichbaren Indizes hat die PET den Vorteil, aufgrund der °C-Einheit besser nachvollzogen werden zu können⁶. Darüber hinaus hat sich die PET in der Fachwelt zu einer Art „Quasi-Standard“ entwickelt, sodass sich die Ergebnisse mit denen anderer Städte vergleichen lassen. Wie die übrigen humanbiometeorologischen Indizes bezieht sich die PET auf außenklimatische Bedingungen und zeigt eine starke Abhängigkeit von der Strahlungstemperatur (Kuttler 1999). Mit Blick auf die Wärmebelastung ist sie damit vor allem für die Bewertung des Aufenthalts im Freien und am Tage einsetzbar. Für die PET existiert in der VDI-Richtlinie 3787, Blatt 9 eine absolute Bewertungsskala, die das thermische Empfinden und die physiologische Belastungsstufen quantifizieren (z.B. *Starke Wärmebelastung* ab PET 35 °C; Tab. A 1 im Anhang). Die PET bezieht sich auf eine Höhe von 1,1 m über Grund, dabei handelt es sich um den Körperschwerpunkt eines Norm-Menschen mit 1,75 m Körpergröße.

ERGEBNISSE

Im Vergleich zur nächtlichen Lufttemperatur weist die PET eine höhere Spannbreite im Untersuchungsgebiet auf (siehe Abbildung 12). Die geringsten Werte sind über bewaldeten Flächen (etwa 26 bis 28 °C) zu finden. Der Aufenthaltsbereich des Menschen in 1,1 m. ü. Gr. liegt unterhalb des Kronendachs und ist somit vor direkter Sonneneinstrahlung geschützt, so dass Wälder und Parks mit dichten Baumbeständen als Rückzugsort mit nur mäßiger Wärmebelastung dienen können. Vergleichbare PET-Werte werden lokal auch innerhalb der Siedlungsflächen unter Einzelbaumpflanzungen erreicht, so beispielsweise auf dem Kirch- und Rathausplatz, der ansonsten durch die fehlende Beschattung einer sehr hohen Wärmebelastung von über 41 °C unterliegt.

Weiterhin wird über den größeren Wasserflächen wie beispielsweise des Hafens und der Elbe eine relativ geringe Wärmebelastung mit Temperaturen von etwa 28 bis 32 °C erreicht. Die angrenzenden Flächen profitieren von der kühlenden Wirkung des Wassers und weisen eine geringere Wärmebelastung als weiter entfernt liegende Gebiete auf.

Maximale PET-Werte von über 42 °C werden über unbeschatteten Freiflächen erreicht. Die offenen Wiesen- und Ackerflächen im Umland und die hochversiegelten Gewerbeflächen im östlichen Stadtgebiet zeigen hierbei ein ähnliches Temperaturniveau. Die ungehinderte Sonneneinstrahlung sowie die fehlende Verdunstungskühlung über hochversiegelten Flächen sorgen hier für eine extreme Wärmebelastung. Eine vergleichbare Wärmebelastung zeigt verbreitet die Altstadt. Zwar wird die Wärmebelastung lokal durch den Schattenwurf von Bäumen und Gebäuden vermindert, jedoch überwiegen hochversiegelte und unbeschattete Freiflächen. Durch die an die Straßen und Plätze angrenzende Bebauung wird weiterhin die eingehende Strahlung reflektiert und kann auf diese Weise zu einer weiteren Erwärmung beitragen. Die enge Baukörperstellung kann darüber hinaus für eine Verminderung der Windgeschwindigkeit sorgen, was ebenfalls zur Wärmebelastung beiträgt.

Die Siedlungsgebiete, die im Kartenausschnitt zu sehen sind (Siedlung nördlich des Stadtwaldes, Siedlungsfläche südlich des Bahnhofes, Ortsteil Bahlendorf) unterliegen ebenfalls einer relativ hohen Wärmebelastung. Obwohl es sich hierbei um eine lockere Einzelhausbebauung mit einem relativ hohen

⁵ Energiebilanzmodelle für den menschlichen Wärmehaushalt bezogen auf das Temperaturempfinden einer Durchschnittsperson („Klima-Michel“ mit folgenden Annahmen: 1,75 m, 75 kg, 1,9 m² Körperoberfläche, etwa 35 Jahre; vgl. Jendritzky 1990).

⁶ Beispiele für weitere Kenngrößen sind der PMV (Predicted Mean Vote) und UTCL (Universeller thermischer Klimaindex).

Anteil von Grünflächen handelt, wird teilweise eine extreme Wärmebelastung erreicht. Zwar wurden einzelne Bäume in diesen Bereichen in der Modellaufbereitung nicht berücksichtigt, die relativ starke Überhitzung der Siedlungsflächen wird davon aber nur lokal beeinflusst und bleibt weiterhin bestehen.

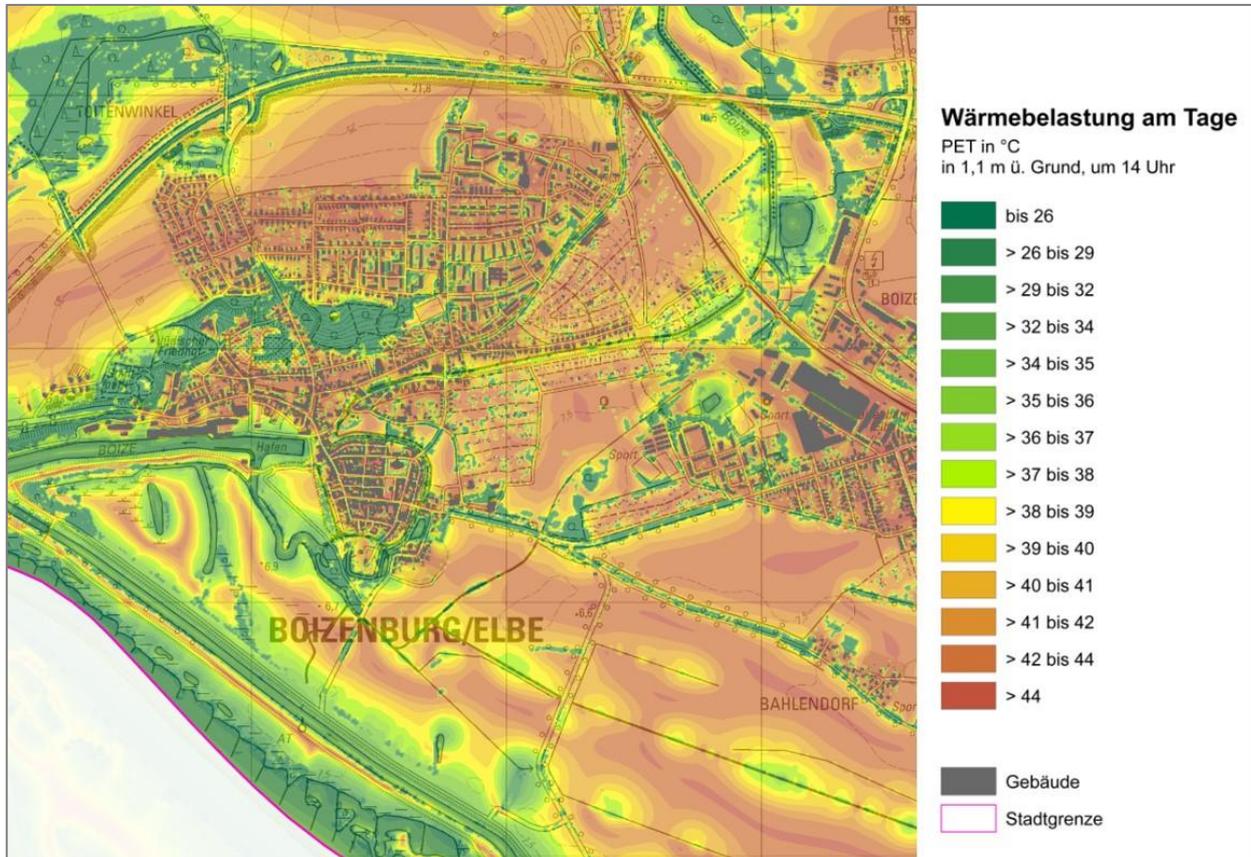


Abbildung 12: Ausschnitt der Ausprägung der Wärmebelastung am Tage (PET).

5. Zusammenfassung

In der vorliegenden Analyse wurde für das Stadtgebiet Boizenburg/Elbe eine Klimaanalyse durchgeführt. Dem Stand der Technik gemäß wurde eine mikroskalige Rechnung mit einer 5 m-Auflösung mit dem Stadtklimamodell FITNAH-3D durchgeführt, um hochaufgelöste flächendeckende Ergebnisse für das Untersuchungsgebiet zu erhalten. Die Modellrechnung beruht auf der Annahme einer sommerlichen Strahlungswetterlage (d.h. ohne Bewölkung), die typischerweise zu den höchsten Belastungen führt. In solch einer „autochthonen Sommernacht“ ist der Wärmeinseleffekt besonders stark ausgeprägt und kein übergeordneter Luftaustausch vorhanden („die Luft steht“). Lokal können sich jedoch Ausgleichsströmungen in Form von Flurwinden und Hangabwinden bilden und für Entlastung im Stadtgebiet sorgen.

Obwohl es sich bei Boizenburg um eine relativ kleine Stadt mit einem hohen Grünflächenanteil handelt, weist es dennoch gewisse humanbioklimatische Belastungen im Stadtgebiet auf.

Bei Betrachtung der modellierten Parameter zeigt sich während der Nacht eine deutliche Überwärmung der historischen Altstadt sowie der östlich gelegenen Gewerbeflächen gegenüber den angrenzenden Grün- und Freiflächen. Der hohe Versiegelungsgrad sowie die hohe Baudichte in der Altstadt vermindern eine nächtliche Abkühlung. Locker bebaute Siedlungsflächen entwickeln während der Nacht eine deutlich geringere Überwärmung.

Die Kaltluftströmung wird durch den Stadtkörper und durch das Gelände modifiziert. Insbesondere nördlich der Altstadt, wo ausgeprägte Geländeunterschiede auftreten, folgt die Kaltluft der Hangneigung und strömt einerseits aus Richtung des Stadtwaldes nach Süden in Richtung Altstadt sowie nach Norden in die Siedlungsbebauung hinein. Über den Siedlungsflächen wird sie durch die erhöhte Oberflächenrauigkeit und die erhöhte Lufttemperatur abgebremst.

Während des Tages wird die höchste Wärmebelastung über unbeschatteten Flächen erreicht. Demensprechend tritt sie nicht nur über den Wiesen- und Ackerflächen in der Umgebung auf, sondern auch innerhalb der Siedlungsgebiete. Vereinzelt Bäume oder Gebäudeschatten sorgen nur lokal für eine Entlastung. Die niedrigste Wärmebelastung wird über bewaldeten Flächen sowie über den großen Wasserflächen von Boize und Elbe erreicht.

Quellenverzeichnis

- DFG (1988) – Deutsche Forschungsgemeinschaft: Physikalische Grundlagen des Klimas und Klimamodelle. Abschlussbericht. Bonn.
- DWD (2021) – Deutscher Wetterdienst: Climate Data Center (freier Online-Zugang zu Klimadaten). Online: <https://cdc.dwd.de/portal/>
- Groß, G. (1992): Results of supercomputer simulations of meteorological mesoscale phenomena. Fluid Dynamics Research (10): 483-498.
- Oke, T. R. (1973): City size and the urban heat island. Atmospheric Environment (1967), Volume 7, Issue 8: S. 769-779.
- Häckel, H. (2012): Meteorologie. 7. Auflage. Stuttgart.
- Jendritzky, G., et al. 1990. Methodik zur raumbezogenen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen (Fortgeschriebenes Klima-Michel-Modell). Beitr. Akad. Raumforsch. Landesplan. Nr. 114.
- Kuttler, W. (1999): Human-biometeorologische Bewertung stadtklimatologischer Erkenntnisse für die Planungspraxis. In: Wissenschaftliche Mitteilungen aus dem Institut für Meteorologie der Universität Leipzig und dem Institut für Troposphärenforschung e. V. Leipzig. Band 13
- Kuttler, W. (2009): Klimatologie. Paderborn.
- Malberg, H. (2002): Meteorologie und Klimatologie- Eine Einführung. 4. Auflage. Berlin, Heidelberg.
- Matzarakis, A. und H. Mayer (1996): Another kind of environmental stress: Thermal stress. WHO Newsletter No. 18: 7-10.
- Schönwiese, C.- D. (2008): Klimatologie. 3. Auflage. Stuttgart.
- UBA 2016: Heizen, Raumtemperatur, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/umweltbewusstleben/heizen-raumtemperatur (06.09.2021).
- VDI (2003): VDI-Richtlinie 3787 Blatt 5. Umweltmeteorologie. Lokale Kaltluft
- VDI (2004): VDI-Richtlinie 3787 Blatt 9. Umweltmeteorologie. Berücksichtigung von Klima und Lufthygiene in räumlichen Planungen.
- VDI (2008): VDI-Richtlinie 3787 Blatt 2. Umweltmeteorologie. Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung. Teil I: Klima.

Anhang

langjährige mittlere monatliche Anzahl an autochthonen Nächten (37.3 pro Jahr)
1992 - 2020, Station: 591 - Boizenburg

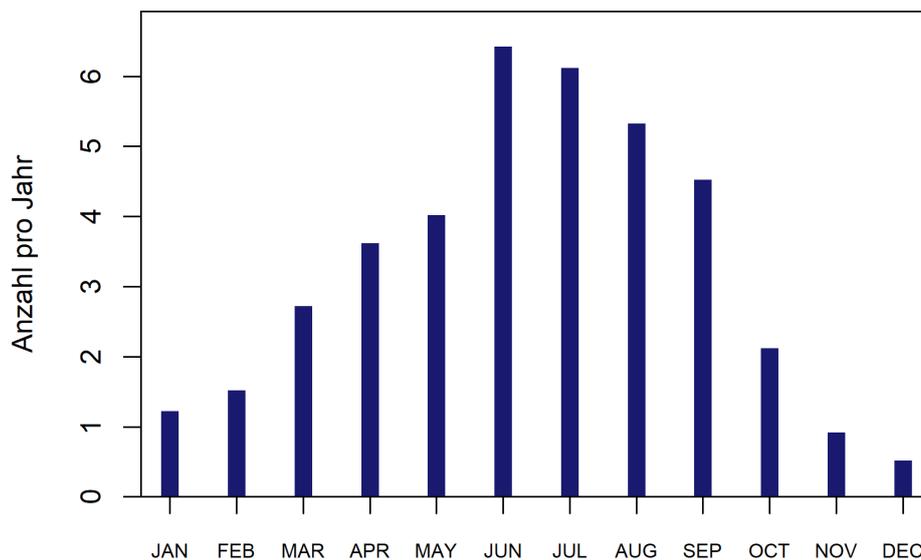


Abb. A 1: Langjähriges Monatsmittel der Anzahl autochthoner Nächte an der DWD-Station Boizenburg (1992 – 2020, Quelle: eigene Berechnung nach DWD 2021)

Tab. A 1: Zuordnung von Schwellenwerten des Bewertungsindex PET während der Tagstunden (nach VDI 2004).

PET	Thermisches Empfinden	Physiologische Belastungsstufe
4 °C	Sehr kalt	Extreme Kältebelastung
8 °C	Kalt	Starke Kältebelastung
13 °C	Kühl	Mäßige Kältebelastung
18 °C	Leicht kühl	Schwäche Kältebelastung
20 °C	Behaglich	Keine Wärmebelastung
23 °C	Leicht warm	Schwache Wärmebelastung
29 °C	Warm	Mäßige Wärmebelastung
35 °C	Heiß	Starke Wärmebelastung
41 °C	Sehr heiß	Extreme Wärmebelastung