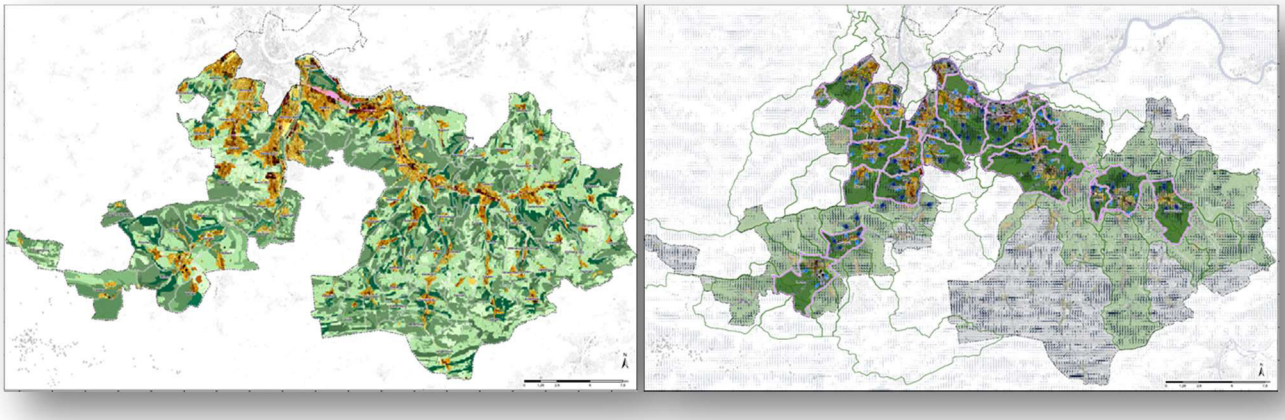
Klimaanalyse
Kanton Basel-Landschaft 2020



Grundlagen, Methoden, Ergebnisse

Lufthygieneamt beider Basel
Rheinstrasse 29
4410 Liestal

Lufthygieneamt beider Basel

Erstellt von:
GEO-NET Umweltconsulting GmbH, Hannover/Dresden

Stand
1. Endbericht Oktober 2020 (Rev01)

Impressum

Auftraggeber
Lufthygieneamt beider Basel

Autoren
Cornelia Burmeister, Ulrike Vogelsberg, Björn Büter

Begleitgruppe
Cosimo Todaro (Lufthygieneamt beider Basel, Projektleitung)
Sandra Andris-Ogorka (Lufthygieneamt beider Basel)
Martin Huber (Amt für Raumplanung Kanton Basel-Landschaft)
Andreas Guentert (Amt für Raumplanung Kanton Basel-Landschaft)
Guido Bader (Amt für Wald beider Basel)
Andreas Bubendorf (Ebenrain-Zentrum für Landwirtschaft, Natur und Ernährung)

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis *II*

Abkürzungsverzeichnis *VI*

Glossar *VII*

Zusammenfassung *10*

1 Klimatische Untersuchungen *12*

1.1 Gewählter Analyseansatz und Aufgabenstellung **12**

1.2 Bisherige klimatische Untersuchungen **12**

1.3 Luftreinhalteplan **13**

2 Fachliche Grundlagen *15*

2.1 Der Urbane Wärmeinseleffekt **15**

2.1.1 Die Rolle der Fliessgewässer 17

2.2 Geografische Einordnung des Untersuchungsgebiet **20**

2.3 Klimatische Grundlagen **21**

2.3.1 Aktuelles Klima und beobachteter Klimawandel 21

2.3.2 Erwartete Klimaänderungen durch den Klimawandel 25

3 Methode der modellgestützten Klimaanalyse *31*

3.1 Das klimamodell FITNAH 3D **31**

3.1.1 Grundlagen meso- und mikroskaliger Modelle 31

3.2 Betrachtete Wetterlage **32**

3.3 Methode der Zukunftsrechnung Klima 2035 **33**

3.4 Eingangsdaten **34**

3.4.1 Abgrenzung und Bewertung der klimaökologisch wirksamen Nutzungsstrukturen 37

4 Modellergebnisse ausgewählter Parameter *39*

4.1 Nächtliches Temperaturfeld **39**

4.1.1 Allgemeines 39

4.1.2 Ergebnisse Temperaturfeld 40

4.2 Kaltluftströmungsfeld **42**

4.2.1 Allgemeines 42

4.2.2 Ergebnisse Kaltluftströmungsfeld 43

4.3 Kaltluftvolumenstrom **45**

4.3.1 Allgemeines 45

4.3.2 Ergebnisse Kaltluftvolumenstrom 47

4.4 Thermische Belastung am Tage **48**

4.4.1 Allgemeines 48

4.4.2 Ergebnisse 48

5 Klimaanalysekarten *50*

5.1 Vorgehensweise **50**

5.2 Nachtsituation **50**

5.2.1 Bioklimatische Belastung in den Siedlungs- und Gewerbeflächen 50

5.2.2 Kaltlufteinwirkbereich 50

5.2.3 Kaltluftprozessgeschehen über Grün- und Freiflächen 51

5.3 Tagsituation **52**

6 Planungshinweiskarten *53*

6.1 Vorgehensweise - Standardisierung der Parameter (z-Transformation) **53**

6.2 Bewertung der Siedlungs- und Gewerbeflächen (Wirkunsgraum) **54**

6.2.1 Bewertung der Nachtsituation 54

6.2.2 Bewertung der Tagsituation 55

6.3 Bewertung der Grün- und Freiflächen (Ausgleichsraum) **55**

6.3.1 Bewertung der Grünflächen in der Nacht 55

6.3.2 Bewertung der Grünflächen am Tage 59

6.4 Ergebnisse **61**

6.4.1 Nachtsituation 61

6.4.2 Tagsituation 63

6.4.3 Ausblick: Siedlungsklimatische Massnahmen 66

7 Literaturverzeichnis *68*

Anhang *72*

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Prinzipskizze Flurwind 15
Abbildung 2: Prinzip des Berg- Talwindsystems zu unterschiedlichen Zeitpunkten. Quelle: Schönwiese 2013 16
Abbildung 3: Zusammenhang zwischen Größe, Tiefe und Flussabschnitt zur täglichen Wassertemperatur. Quelle: Übernommen aus (CAISSIE 2006, S. 1391) 17
Abbildung 4: Aktueller Jahresgang 2020 der Wassertemperatur des Rheins am Pegel Rheinbrücke, Quelle: Abteilung Hydrologie 2020 18
Abbildung 5: Übersicht über das Rechengebiet mit digitalem Geländemodell. Quelle: Eigene Darstellung 20
Abbildung 6: Klimadiagramm Station Basel-Binningen, Normperiode 1981 – 2010. Quelle: (Meteoschweiz 2020b) 21
Abbildung 7: Entwicklung der sommerlichen Temperatur für die Nordschweiz unter 1.000 m ab 1864 bis heute im Vergleich zur Periode 1961 - 1990. Quelle: (Meteoschweiz 2020d) 22
Abbildung 8: Rezente Entwicklung der Sommer- und Hitzetage und Tropennächte an der Station Basel Binningen. Quelle: (Meteoschweiz 2020a) 23
Abbildung 9: Rezente Entwicklung der Tropennächte an der Station Basel Binningen. Quelle: (Meteoschweiz 2020a) 24
Abbildung 10: Entwicklung der sommerlichen Niederschlagssummen für die Nordschweiz unter 1.000 m ab 1864 bis heute im Vergleich zur Periode 1961 - 1990. Quelle: (Meteoschweiz 2020d) 24
Abbildung 11: Windrosen der Station Basel Binningen 316 m ü.M. (links) und Rünenberg 611 m ü.M (rechts). Quelle: (Meteoschweiz 2020c) 25
Abbildung 12: Die Representative Concentration Pathways (RCP) und ihre Entwicklung bis 2100. Quelle: IPCC 2014 26
Abbildung 13: Entwicklung der Temperatur im Sommer bis 2100. Quelle: NCCS 2018 28
Abbildung 14: Entwicklung der höhenabhängigen Sommertage und Tropennächte für die Großregion Jura für das Jahr 2060. Quelle: NCCS 2018 29
Abbildung 15: Entwicklung des Niederschlages bis 2100 für den Sommer (JJA). Quelle:NCCS 2018 30
Abbildung 16: Tagesgang der Temperatur (links) und Vertikalprofil der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit (rechts) verschiedener Landnutzungen 33
Abbildung 17: Vorhergesagte Temperaturänderung für die Zukunftsperioden. Quelle: (NCCS 2018) 34
Abbildung 18: Schema der Wertezuordnung zwischen Flächen- und Punktinformation 38
Abbildung 19: Nächtliches Temperaturfeld in Liestal mit beispielhaften Werten verschiedener Nutzungsstrukturen in der Ist Situation und unter einem mittleren Klimawandelszenario. 41
Abbildung 20: Nächtliches Temperaturfeld in Liestal mit beispielhaften Werten verschiedener Nutzungsstrukturen unter mittleren Klimawandelbedingungen. 42
Abbildung 21: Prinzip des Hangab- und Talwind in der Nacht. Quelle: Schönwiese 2013 43
Abbildung 22: Nächtliches Strömungsfeld für den Ausschnitt Liestal 44
Abbildung 23: Strukturwinde aus dem Hardwald in Muttenz. Alle Strömungsvektoren fließen radial aus dem Hardwald in die angrenzende Bebauung 45
Abbildung 24: Prinzipskizze Kaltluftvolumenstrom 46
Abbildung 25: Veranschaulichung der Standardisierung zur vergleichenden Bewertung von Parametern (z-Transformation) 53
Abbildung 26: Bewertungsschema zur bioklimatischen Bedeutung von Grünflächen in der Nacht 58
Abbildung 27: Bewertungsschema zur bioklimatischen Bedeutung von Grünflächen am Tage 59
Abbildung 28: Idealtypischer Ablauf der Datenaufbereitung für den Kanton Basel-Landschaft. Quelle: Eigene Darstellung. 73

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: PROGNOSTIZIERTE LOKALE ENTWICKLUNG VON KENNGRÖßEN FÜR AUSGEWÄHLTE REFERENZSTATIONEN IM KANTON BL. QUELLE: NCCS 2018. 27
TABELLE 2: FITNAH-EINGANGSDATENKLASSEN 35
TABELLE 3: ÜBERSICHT ÜBER DIE UNTERSCHIEDLICHEN DATENQUELLEN MIT JAHR UND QUELLE 36
TABELLE 4: WEITERE FITNAH-EINGANGSDATENKLASSEN FÜR DIE ZUKUNFTSRECHNUNG 37
TABELLE 5: ZUORDNUNG VON SCHWELLENWERTEN FÜR DEN BEWERTUNGSINDEX PET WÄHREND DER TAGESSTUNDEN (NACH VDI-RICHTLINIE 3787, BLATT 2 11/2008). 48
TABELLE 6: FLÄCHENANTEILE BIOKLIMATISCH BELASTETER SIEDLUNGSGEBIETE IN DER NACHT UND ABGELEITETE PLANUNGSHINWEISE 61
TABELLE 7: FLÄCHENANTEILE BIOKLIMATISCH BEDEUTENDER GRÜNAREALE IN DER NACHT UND ABGELEITETE PLANUNGSHINWEISE 63
TABELLE 8: FLÄCHENANTEILE BIOKLIMATISCH BELASTETER SIEDLUNGSGEBIETE AM TAGE UND ABGELEITETE PLANUNGSHINWEISE 64
TABELLE 9: FLÄCHENANTEILE BIOKLIMATISCH BEDEUTENDER GRÜNAREALE AM TAGE UND ABGELEITETE PLANUNGSHINWEISE 65

GEO-NET Umweltconsulting GmbH
Hannover, den 23.10.2020

Erstellt von: Cornelia Burmeister

Dipl. Geogr. Cornelia Burmeister

Geprüft von: Büter

Dr. Björn Büter

Abkürzungsverzeichnis

BL	Basel-Landschaft
BS	Basel Stadt
DGM	Digitales Geländemodell
DOM	Digitales Oberflächenmodell
DWD	Deutscher Wetterdienst
GIS	Geografische Informationssysteme

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.

Ausgleichsraum: Grüngeprägte, relativ unbelastete Freifläche, die an einen → *Wirkungsraum* angrenzt oder mit diesem über → *Kaltluftleitbahnen* bzw. Strukturen mit geringer Rauigkeit verbunden ist. Durch die Bildung kühlerer und frischerer Luft sowie über funktionsfähige Austauschbeziehungen trägt dieser zur Verminderung oder zum Abbau der Belastungen im Wirkungsraum bei. Mit seinen günstigen klimatischen Eigenschaften bietet er eine besondere Aufenthaltsqualität für Menschen.

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.

Autochthones Windfeld: Strömungen, deren Antrieb im Betrachtungsgebiet selber liegt und die nicht durch großräumige Luftdruckgegensätze beeinflusst werden, z.B. → *Kaltluftabflüsse* und → *Flurwinde*, die sich als eigenbürtige, landschaftsgesteuerte Luftaustauschprozesse während einer windschwachen sommerlichen → *autochthonen Wetterlage* ausbilden.

Bioklima: Beschreibt die direkten und indirekten Einflüsse von Wetter, Witterung und Klima (= atmosphärische Umgebungsbedingungen) auf die lebenden Organismen in den verschiedenen Landschaftsteilen, insbesondere auf den Menschen (Humanbioklima).

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).

Geostrophischer Wind: Der geostrophische Wind ist eine Einteilung des Windes nach den antreibenden Kräfteverhältnissen. Der geostrophische Wind oberhalb der Bodenreibungsschicht auf, z.B. besonders stark ausgeprägt als Jetstream. Er wird angetrieben von der Druckgradientkraft (Luftbewegung vom Hoch- zum Tiefdruckgebiet) und abgelenkt durch die Corioliskraft.

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 % 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.

Kaltluftabfluss: Flächenhaft über unbebauten Hangbereichen auftretende Kaltluftabflüsse. Aufgrund der vergleichsweise höheren Dichte von Kaltluft setzt diese sich, dem Gefälle folgend, hangabwärts in Bewegung. Der Abfluss erfolgt schubweise. Er setzt bereits vor Sonnenuntergang ein und kann die ganze Nacht andauern.

Kaltlufteinwirkbereich: Wirkungsbereich der lokal entstehenden Strömungssysteme innerhalb der Bebauung. Siedlungs- und Gewerbeflächen und Straßen innerhalb des Stadt- und dichten Siedlungsgebietes werden gekennzeichnet, die von einem überdurchschnittlich hohen → *Kaltluftvolumenstrom* durchflossen werden (Mittelwert des Kaltluftvolumenstroms über alle Flächen in den Städten und urbanen Siedlungsgebieten).

Kaltluftentstehungsgebiete: Grünflächen mit einem überdurchschnittlichen → *Kaltluftvolumenstrom*, die → *Kaltluftleitbahnen* speisen (→ *Flurwinde* zeigen in Richtung der Kaltluftleitbahnen) bzw. über diese hinaus bis in das Siedlungsgebiet reichen.

Kaltluftleitbahnen: Kaltluftleitbahnen verbinden → *Kaltluftentstehungsgebiete* (→ *Ausgleichsräume*) und Belastungsbereiche (→ *Wirkungsräume*) miteinander und sind somit elementarer Bestandteil des Luftaustausches. Beinhalten thermisch induzierte Ausgleichströmungen sowie reliefbedingte → *Kaltluftabflüsse*.

Kaltluftvolumenstrom (KVS): Vereinfacht ausgedrückt das Produkt der Fließgeschwindigkeit der → *Kaltluft*, ihrer vertikalen Ausdehnung (Schichthöhe) und der horizontalen Ausdehnung des durchflossenen Querschnitts (Durchflussbreite). Der Kaltluftvolumenstrom beschreibt somit diejenige Menge an → *Kaltluft* in der Einheit m³, die in jeder Sekunde durch den Querschnitt beispielsweise eines Hanges oder einer → *Kaltluftleitbahn* fließt. Anders als das → *Strömungsfeld* berücksichtigt der Kaltluftvolumenstrom somit auch Fließbewegungen oberhalb der bodennahen Schicht.

Kelvin (K): SI-Basiseinheit der thermodynamischen Temperatur, die zur Angabe von Temperaturdifferenzen verwendet wird. Der Wert kann in der Praxis als Abweichung in Grad Celsius (°C) interpretiert werden.

Klima: Das Klima ist definiert als die Zusammenfassung aller Wettererscheinungen über einen längeren Zeitraum, der im Allgemeinen 30 Jahre beträgt, was als Nomalperiode bezeichnet wird. Das Klima gibt den mittleren Zustand der Atmosphäre an einem Ort oder Gebiet wider. Das Klima an einem Ort wird beschrieben über Mittelwerte, Extremereignisse und Häufigkeiten, etc. pp. (DWD).

Klimaanalysekarte (KAK): Analytische Darstellung der Klimaauswirkungen und Effekte in der Nacht sowie am Tage im urbanen Siedlungsgebiet und dem näheren Umland (Kaltluftprozessgeschehen, Überwärmung der Siedlungsgebiete).

Orographisch: beschreibt das Gelände morphologisch hinsichtlich seiner Hangrichtung und Hangneigung.

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.

Planungshinweiskarte (PHK): Bewertung der bioklimatischen Belastung in Siedlungs- und Gewerbeflächen im urbanen Siedlungsgebiet (→ *Wirkungsräume*) sowie der Bedeutung von Grünflächen als → *Ausgleichsräume* für die Tag- und die Nachtsituation und Ableitung von allgemeinen Planungshinweisen.

Reliefenergie: Als Reliefenergie wird der Höhenunterschied zwischen höchstem und niedrigstem Punkt eines Gebietes, hier das Untersuchungsgebiet verstanden (Kuttler 2009). Je größer dieser Unterschied, desto höher ist die Reliefenergie.

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* W*etterlage*.

Strukturwind: Kleinräumiges Strömungsphänomen, das sich zwischen strukturellen Elementen im Siedlungsgebiet ausbildet (bspw. zwischen einer innerstädtischen → *Grünfläche* und der Bebauung entlang einer angrenzenden Straße).

Synoptischer Wind: Synoptische Winde ist eine Einteilung nach der Größenordnung der Luftbewegungen. **Der Begriff** bezeichnet alle Winde bis auf den → *geostrophischen Wind*. Unter synoptischen Winden wird der großräumige Wind verstanden, der über längere Zeiträume anhält.

Urbane (städtische) Wärmeinsel (*Urban Heat Island*)**:** Urbane Gebiete 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 urbane (städtische) Wärmeinsel bezeichnet.

Wirkungsraum: Bebauter oder zur Bebauung vorgesehener Raum (Siedlungs- und Gewerbeflächen), in dem eine bioklimatische Belastung auftreten kann.

z-Transformation: Umrechnung zur Standardisierung einer Variablen, sodass der arithmetische Mittelwert der transformierten Variable den Wert Null und ihre Standardabweichung den Wert Eins annimmt. Dies wird erreicht, indem von jedem Ausgangswert der Variablen das arithmetische Gebietsmittel abgezogen und anschließend durch die Standardabweichung aller Werte geteilt wird. Dadurch nehmen Abweichungen unterhalb des Gebietsmittels negative und Abweichungen oberhalb des Gebietsmittels positive Werte an, die in Vielfachen der Standardabweichung vorliegen. Die Form der Verteilung bleibt dabei unverändert.

Zusammenfassung

Die Ergebnisse bestätigen die Klimaanalyse der Region Basel aus dem Jahr 1998 (Fehrenbach 1998). Der Vorteil in der neuen Modellierung liegt eindeutig in der höheren Auflösung und der modellgestützten Simulation, so dass sich räumliche Muster der Wärmebelastung auf Blockebene eindeutig identifizieren lassen. Das verwendete 10 m x 10 m-Raster für den gesamten Kanton Basel Landschaft mit einer Größe von 518 km² entspricht einem mikroskaligen Ansatz und erlaubt die Berücksichtigung von Gebäuden als Strömungshindernisse. Zusammen mit der kleinräumigen Erfassung von Grünstrukturen samt deren individueller Strukturhöhe, können detaillierte Aussagen zum Einfluss der Gemeinden auf das Mikroklima und insb. das Strömungsfeld getroffen werden. Der Blick in die Zukunft, der sowohl einen mittleren Klimawandeleffekt von 1,2 Kelvin Temperaturzunahme bis 2035 berücksichtigt und eine angenommene Siedlungsentwicklung, erlaubt es, die Gebiete zu identifizieren, die in Zukunft von einer stärkeren Wärmebelastung betroffen sein werden. Dem kann (und muss) bereits jetzt durch geeignete Maßnahmen im Umbau begegnet werden.

Mittels des Klimamodells FITNAH 3D wurden flächendeckende Ergebnisse der wichtigsten meteorologischen Parameter Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit sowie Windrichtung und Kaltluftvolumenstrom für die Nachtsituation bzw. Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET) für die Tagsituation für das gesamte Kantonsgebiet Basel-Landschaft berechnet. Der Simulation liegt eine autochthone sommerliche Wetterlage zugrunde (herabgesetzter Luftaustausch in der bodennahen Luftschicht, hohe Ein- und Ausstrahlung bei wolkenlosem Himmel). Zur Inwertsetzung und Erstellung von Planungshinweiskarten wurden die rasterbasierten Ergebnisse auf die Flächen einzelner Nutzungsstrukturen übertragen.

Die Klimaanalysekarten spiegeln die Überwärmung der Siedlungsflächen und das Kaltluftprozessgeschehen für das gesamte Baselbieter Untersuchungsgebiet wider. Sie veranschaulichen die strukturellen Unterschiede auf das Temperaturfeld sowie den urbanen Wärmeinseleffekt (bis zu 6 K höhere Temperaturen in den Gemeindezentren in der Zukunftsrechnung), bilden die in einer autochthonen Sommernacht entstehenden Ausgleichsströmungen ab (Flurwinde und Hangabfluss) und identifizieren für die Durchströmung des Siedlungsgebiets besonders wichtige Kaltluftleitbahnbereiche und deren Einzugsgebiete, die nicht an den administrativen Grenzen aufhören.

Die Planungshinweiskarten quantifizieren die Belastung in den Siedlungsflächen (Wirkungsraum) sowie die Bedeutung von Grünflächen als Ausgleichsräume. In der Nacht ist ein erholsamer Schlaf von besonderer Bedeutung, sodass in der Bewertung die bewohnten Gebiete im Vordergrund stehen. Am Tage ist die Aufenthaltsqualität im Freien der maßgebliche Parameter und es werden neben den Siedlungsgebieten sowohl Gewerbeflächen als auch der Straßenraum untersucht und dargestellt.

In der Nacht belastete Siedlungsflächen treten insb. in den Gemeindezentren und dicht bebauten Siedlungsbereichen auf, wo das vorhandene hohe Bauvolumen die tagsüber als Wärme gespeicherte Strahlung wieder abgibt. Am Tage sind deutliche Unterschiede zwischen der Aufenthaltsqualität von hoch versiegelten Quartieren und Gewerbegebieten zu stark durchgrünten Quartieren erkennbar. Die kleinen Gemeinden oder die höhergelegenen Gemeinden verzeichnen eine geringere thermische Belastung als die im Tal und die größeren Gemeinden wie bspw. Binningen, Münchenstein, Reinach, Muttenz oder Liestal.

Wohngebiete zeigen mehrheitlich eine mittlere Belastung, Gewerbeflächen sowie der Straßenraum dagegen oftmals ungünstige bioklimatische Bedingungen. An Sommertagen eignen sich knapp 31 % der Grünflächen im Basler Kantonsgebiet als erreichbare Rückzugsorte für die Bevölkerung. In der Nacht weisen

24 % der Grünflächen eine mindestens hohe Bedeutung in Bezug auf das Kaltluftprozessgeschehen auf (Ist-Situation), was sich in der Zukunft deutlich erhöhen wird (45 %).

Während insbesondere Parkareale in den dichten Siedlungsgebieten sowohl in der Nacht als auch am Tage in der Regel eine positive Wirkung ausüben, steht bspw. die günstige Wirkung von unversiegelten Freiflächen in der Nacht (Abkühlung, Durchströmbarkeit) einer meist sehr geringen Aufenthaltsqualität am Tage gegenüber (hohe Einstrahlung). Folglich gilt es beide Planungshinweiskarten bei der Beurteilung von Flächen zu betrachten.

Aus den Ergebnissen der Klimaanalyse kann festgehalten werden, dass es thermisch belastete Siedlungsbereiche gibt (*sehr ungünstig* und *ungünstige bioklimatische Situation*), deren bioklimatische Situation mindestens erhalten, möglichst durch geeignete Maßnahmen verbessert werden sollte. Die Versorgung der Gemeinden mit Kaltluft in der Nacht ist bereits jetzt schon durch die Talsohlenbebauung deutlich eingeschränkt und degradiert. Demgegenüber stehen die gut durchlüfteten Hangbereiche der Täler, deren Siedlungsbereiche ausreichend von der herunterströmenden Kaltluft profitieren. Eine ausreichende Belüftung ist nicht nur für die Reduktion der thermischen Belastung gut, sondern kann sich auch positiv auf die in diesem Gutachten nicht näher betrachtete Luftqualität auswirken. Allerdings gibt es nicht viele lufthygienisch belastete Bereiche im Kanton Basel-Landschaft (Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG 2016). Entsprechend sollte die Verbesserung der Durchlüftung durch geeignete Maßnahmen im Fokus stehen, was jedoch durch die historisch gewachsene Bebauungsstruktur im Kanton Basel-Landschaft sehr schwierig wird.

Den bewerteten Siedlungs- und Grünflächen sind jeweils allgemeine Planungshinweise zugeordnet, die eine erste Einschätzung möglicher Maßnahmen bzw. Gebote erlauben, doch bezogen auf den Einzelfall genauer betrachtet werden müssen.

1 Klimatische Untersuchungen

1.1 GEWÄHLTER ANALYSEANSATZ UND AUFGABENSTELLUNG

Das Schutzgut *Klima* ist ein wichtiger Aspekt der Raumplanung und vor dem Hintergrund konkurrierender Planungsziele sind flächenbezogene Fachinformationen ein wichtiges Hilfsmittel zu dessen sachgerechter Beurteilung. Aus der Kenntnis des in einer Stadt resp. in einem dichten Siedlungsgebiet vorherrschenden Lokalklimas, die dadurch mitbestimmte lufthygienische Situation 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 und auch auf die Unterstützung gesundheitlich unbedenklicher Luftqualität ab.

Aus dem Jahr 1998 existiert eine grenzüberschreitende Klimaanalyse der Region Basel (KABA), die zusammen mit den Kantonsverwaltungen Basel-Stadt (BS) und Basel-Landschaft (BL) sowie dem Institut für Meteorologie, Klimatologie und Fernerkundung der Basler Universität erarbeitet worden ist. In der Klimaanalyse erfolgte die Erarbeitung von Klimaanalyse- und Planungshinweiskarten mithilfe eines weiterentwickelten Klimatopansatzes.

Im Jahr 2018 wurde eine aktualisierte Klimaanalyse für den Kanton BS mit den Umlandgemeinden in einer gebäudescharfen 10 m-Modellierung erstellt. Der weiterfolgende Auftrag an die Geo-Net Umweltconsulting GmbH liefert nun eine hochaufgelöste 10 m-Modellierung für den gesamten Kanton BL für die aktuelle Situation und den Blick in die nahe Zukunft 2035 mit einem mittleren Klimawandelszenario (RCP 4.5) und einer fortschreitenden Siedlungsentwicklung. In der Modellierung wurden dabei bereits aktuelle Bauvorhaben als auch individuelle Grünstrukturen wie Bäume im gesamten Kantonsgebiet mit ihren Strukturhöhen (Kap. 0 und 4) berücksichtigt. Die mit dem Modell FITNAH-3D durchgeführte Klimaanalyse liefert eine den heutigen Ansprüchen besser entsprechende höhere Auflösung um kommende Planungsprozesse bewältigen zu können.

Diese erlaubt eine optimierte Darstellung der thermischen Belastung und insbesondere des Kaltluftprozessgeschehens in der Nacht anstelle des bisher verwendeten Klimatop-Ansatzes. Die Ergebnisse spiegeln neben der Nacht-Situation auch die bioklimatische Belastung am Tage wider (ab Kapitel 4). Darüber hinaus wird, getrennt für die Nacht- und Tagsituation, eine Bewertung der bioklimatischen Belastung in den Siedlungsräumen bzw. der Bedeutung von Grünflächen als Ausgleichsräume vorgenommen und allgemeine Planungshinweise abgeleitet (Planungshinweiskarten; Kapitel 6).

Der vorliegende Bericht stellt in einem ersten Teil die Klimaanalyse des Kantons BL dar und geht auf die Methodik der Modellrechnung ein. In einem zweiten Teil werden die Planungshinweiskarten erläutert (siehe Kapitel 6). Zugleich erfolgt eine Untersuchung der Auswirkungen des Klimawandels auf die klimatischen Verhältnisse im Kanton, v.a. in den urbanen Siedlungsgebieten (siehe Kapitel 3.3).

1.2 BISHERIGE KLIMATISCHE UNTERSUCHUNGEN

Wie bereits oben kurz erwähnt liegt eine Klimaanalyse der Region Basel für die Kantone BS und BL vor (Fehrenbach 1998). Die Arbeiten stammen aus dem Jahren 1995 bis 1998 und beruhen auf einem weiterentwickelten Klimatopansatz, der neben der Landnutzung auch die Durchlüftungssituation berücksichtigte und in 10 unterschiedliche Arealtypen mündete. Für das gesamte Jahr wird neben der thermischen Situation auch die lufthygienische Situation erfasst.

Da die Kantone BS und BL betrachtet wurden, ist der Großteil der Flächen land- als auch forstwirtschaftlich geprägt und nur die Stadt Basel sowie die Gemeinden von dichten Bebauungsstrukturen gekennzeichnet.

Als Ergebnis zeigte die KABA für den Kanton BL auf, dass in den Tiefenlinien der Täler des Kantonsgebietes zwar die Durchlüftungsbahnen verlaufen, jedoch eine reduzierte Durchlüftung und Stauwirkung durch die dichte Bebauung in der Talsohle zu verzeichnen ist, was sich besonders in den verdichteten Bereichen in einer Verschlechterung der thermischen und lufthygienischen Situation bemerkbar macht. Vor allem die lufthygienische Situation ist als kritisch bei auftretenden Inversionswetterlagen im Winter und Sommer bei hohen Lufttemperaturen einzustufen. Die Höhenlagen sind als windexponiert eingestuft, und die offenen landwirtschaftlichen Bereiche des Mittellandes werden ungehindert durchströmt. Weiterhin wird anhand der Station in Liestal nachgewiesen, dass der Bergwind häufiger als der Talwind auftritt und damit den größeren Einfluss hat, v. a. im Sommer. Die Durchlüftungsbahnen (Talsohlen) funktionieren auch bei großräumigen Wetterlagen.

Einige Gemeinden weisen bereits in der KABA 1998 dysfunktionale Luftleitbahnen auf. Hier sind bspw. Aesch, Laufen, Schweizerhalle, Pratteln, Liestal, Sissach oder Gelterkinden zu benennen. Auch wird für die stark wärmebelasteten Gemeindezentren wie bspw. Aesch, Liestal, Sissach und Gelterkinden eine Reduzierung empfohlen.

Das Projekt REKLIP (**RE**gio-**KLI**ma-**P**rojekt), welches ein Zusammenschluss aus Instituten der „Oberrheinischen Universitäten“ ist, hatte sich zum Ziel gesetzt, die geographisch zwar eine Einheit bildende, aber durch Landesgrenzen in drei politische Bereiche aufgeteilte Region des Oberrheingrabens nach einheitlichen Gesichtspunkten klimatisch zu analysieren (Trinationale Arbeitsgemeinschaft Regio-Klima-Projekt REKLIP 1995, Startseite). Das Projekt untersuchte die komplette Bandbreite der klimatologischen Verhältnisse wie Lufttemperatur, Luftfeuchte, Nebel, Niederschlag, Wind, Sonnenscheindauer, Gradtagzahlen und Bioklima. Dies wurde anhand von Satellitenbilder als auch Messungen durchgeführt. Auf die einzelnen Ergebnisse soll an dieser Stelle nicht eingegangen werden. Ausgesuchte Erkenntnisse fließen an geeigneter thematischer Stelle im Bericht ein.

1.3 LUFTREINHALTEPLAN

Das Lufthygieneamt beider Basel (LHA) erarbeitet in regelmäßigen Abständen 1990, 2010 und 2016 Luftreinhaltepläne (Lufthygieneamt beider Basel 2016). Die aktuellen Immissionskarten stammen vom Ingenieurbüro Lohmeyer und betrachten beide Kantonsgebiete (Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG 2016). Die größten Belastungen treten in der Randbebauung an den hoch frequentierten Hauptverkehrsstraßen der Stadt Basel auf.

In BL treten die größten NO_2-Konzentrationen und Feinstaub (PM10) an der Autobahn A2 auf und am Chienbergtunnel an der A22 bei Sissach. Auch der Schiffsverkehr auf dem Rhein führt zu erhöhten NO_2- und PM10-Konzentrationen. Im Kanton BL sind ca. 4,3% der Bevölkerung von einer > 30 µg NO_2-Konzentration und 3,3 % von einer > 20µg/m³ PM10-Konzentration betroffen, im Gegensatz zu Basel Stadt, wo es bereits 30,5% der Bevölkerung an erhöhter NO_2-Konzentration und 11,4% an erhöhter PM10-Konzentration sind. Erhöhte PM10-Konzentrationen wurden in BL noch an der A18 berechnet.

Die Luftreinhaltung bleibt ein wichtiges Thema, dem sich die Stadt Basel gesondert widmet - entsprechend ist die Luftreinhaltung nicht Bestandteil dieser Klimaanalyse. Die der Klimaanalyse zugrunde gelegte untersuchte idealtypische Wetterlage (autochthone windschwache Wetterlage) ist für die Bestimmung der Hitzebelastung gedacht und stellt für die Stickstoffoxidkonzentrationen und Feinstaubbelastungen eine Situation im Jahresgang dar, einen worst case, da aufgrund der geringen Windgeschwindigkeiten die Luftschadstoffe nicht abtransportiert und vermischt (verdünnt) werden. Zu den einzelnen vorherrschenden meteorologischen Windverhältnissen, die über das gesamte Jahr unterschiedlich häufig auftreten, sind

umfangreiche Analysen nötig, die die einzelnen Wettersituationen abbilden so wie es im Lohmeyer-Gutachten durchgeführt wurde.

Im Maßnahmenblatt P1: Verringerung der Wärmebelastung und Verbesserung der Durchlüftung im Siedlungsgebiet (Lufthygieneamt beider Basel 2016, 17f) wird empfohlen, die bestehende Klimaanalyse aus dem Jahr 1998 durch eine höher aufgelöste modellgestützte Aktualisierung zu ersetzen. Daraus leitet sich der Auftrag zur Erstellung der Klimaanalyse ab.

2 Fachliche Grundlagen

2.1 DER URBANE WÄRMEINSELEFFEKT

Durch den anthropogenen Einfluss herrschen in einer Stadt und in den urbanen Siedlungsflächen modifizierte Klimabedingungen vor, die tendenziell mit steigender Einwohnerzahl bzw. Stadt- resp. Siedlungsgröße stärker ausgeprägt sind (Oke 1973; Oke et al. 2017). Solche Wärmeinseleffekte werden zukünftig auch in einem eher ländlich geprägten Raum auftreten, nur nicht so stark. Gründe hierfür sind bspw. der hohe Versiegelungsgrad, dem ein geringer Anteil an Vegetation und natürlicher Oberflächen 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, unbebauten 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 *Urbane bzw. Städtische Wärmeinsel (Urban Heat Island)* bezeichnet (Oke et al. 2017).

Solch belastenden Situationen entstehen vornehmlich bei Hochdruckwetterlagen und sind durch einen ausgeprägten Tagesgang der Strahlung, Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Wind und Bewölkung bestimmt (autochthone Wetterlagen). Durch lokal unterschiedliche Abkühlungsraten entstehen Temperatur- und damit Dichteunterschiede, die Ausgleichsströmungen hervorrufen (Flurwinde; Abbildung 1).

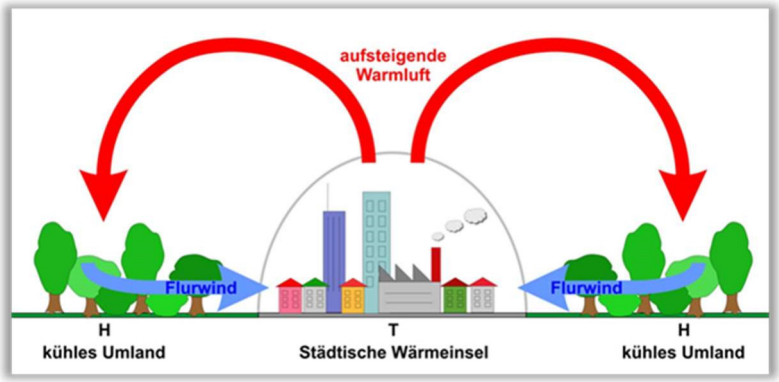


Abbildung 1: Prinzipskizze Flurwind

Unter diesen Rahmenbedingungen kommt es tagsüber zu einem konvektiven Aufsteigen warmer Luft über dem überwärmten Stadt- bzw. Siedlungskörper. Als Folge des entstehenden bodennahen Tiefdruckgebietes treten Ausgleichsströmungen in Form eines bodennahen Zuströmens von Luft aus dem Umland über rauhigkeitsarme bzw. gering bebaute Flächen hin zum Stadt- bzw. urbanen Siedlungsflächen auf. Das Aufsteigen von Warmluftblasen verursacht zusätzlich eine Böigkeit der bodennah nachströmenden Luft, sodass die Ausgleichsströmungen am Tage weniger sensibel auf Strömungshindernisse reagieren als in der Nacht. Während der Tagsituation führen sie aufgrund eines meist ähnlichen Temperaturniveaus im Umland nicht zum Abbau von Wärmebelastungen in den Siedlungsflächen, tragen aber zur Durchmischung der bodennahen Luftschicht und damit zur Verdünnung von Luftschadstoffen bei.

In den Nachtstunden sind autochthone Wetterlagen dagegen 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. Während der nächtlichen Abkühlung fließt kühlere Umgebungsluft aus stadtnahen und ggf. innerstädtischen Grün- bzw. Freiflächen in das wärmere dichte Siedlungsgebiet ein. Da der bodennahe Zustrom mit geringen

Strömungsgeschwindigkeiten erfolgt, kann dieser Luftaustausch nur entlang von Flächen ohne blockierende Strömungshindernisse erfolgen, insb. über sogenannten Kaltluftleitbahnen.

Neben der vom Menschen freigesetzten Abwärme, kommt es durch den hohen Versiegelungsgrad zu einer Erwärmung in den urbanen Siedlungsflächen Während unbebaute Flächen im Umland schnell auskühlen, erfolgt der Prozess des Abkühlens bei städtischen, versiegelten Flächen über einen längeren Zeitraum. Beton und Asphalt besitzen eine geringe Albedo[1], 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 1985; Oke et al. 2017). Aufgrund der starken Versiegelung und geringeren Wasserverfügbarkeit ist der Energieverbrauch zur Verdunstung herabgesetzt, sodass der latente Wärmestrom in den urbanen Siedlungsflächen geringer, der fühlbare Wärmetransport dagegen höher ausfällt. Beide Aspekte haben höhere Temperaturen des Stadtgebiets im Vergleich zum Umland zur Folge (Schönwiese 2013), sodass deren Bevölkerung einer größeren thermischen Belastung ausgesetzt ist.

Verkehr, Industrie und Heizungen bewirken nicht nur einen anthropogenen Wärmefluss, sondern führen auch zu vermehrten Emissionen. Entsprechend weist die Luft in den urbanen Siedlungen 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). Vor allem bei windschwachen Hochdruckwetterlagen ist das oftmals ein Problem in der Stadt bzw. in den urbanen Siedlungsflächen. Dies erklärt die Notwendigkeit der Betrachtung des Klimas in den urbanen Siedlungsflächen, insb. da ein Großteil der Bevölkerung in solchen Gebieten wohnt und demzufolge Belastungen so gering wie möglich gehalten werden sollten, um gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse sicherzustellen.

Der Einfluss der angrenzenden Gebirge Schweizer Jura, Vogesen und Schwarzwald im Raum Basel ist bei Hochdruckwetterlagen durch ein Berg-Talwindsystem sichtbar, welches zu einem tagesperiodischen richtungswechselnden lokalen Windsystem führt. Abbildung 2 veranschaulicht das Fließgeschehen zu unterschiedlichen Tageszeiten über die unterschiedlichen Pfeilrichtungen. Täler werden am Tage schneller erwärmt als flache Gebiete, da ein geringeres Luftvolumen vorhanden ist. Daher steigt vermehrt warme Luft über den Tälern auf. Am Boden herrscht dann geringerer Luftdruck und es entsteht ein Hitzetief, welches bodennahe Luft ansaugt und zu Ausgleichsströmungen führt. Daher kommt es tagsüber zu hangaufwärts gerichteten Luftströmungen (siehe Abbildung 2, Prinzipskizze ab 10 Uhr bis 19 Uhr).

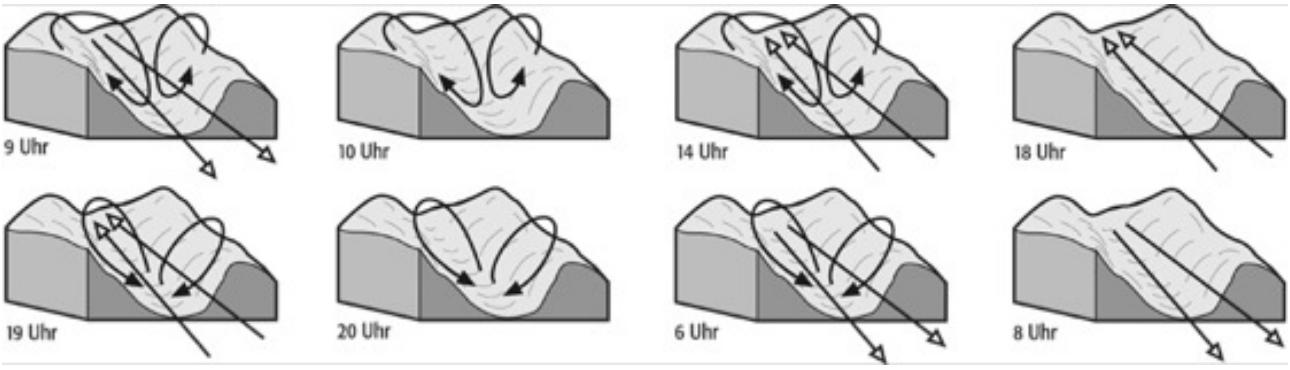


Abbildung 2: Prinzip des Berg- Talwindsystems zu unterschiedlichen Zeitpunkten. Quelle: Schönwiese 2013

[1] Rückstrahlvermögen einer Oberfläche

In der Nacht dreht sich dieses System: Es strömt die kalte schwere frische Luft von den Hängen ins Tal (siehe Abbildung 2, Prinzipskizze ab 20 Uhr bis 8 Uhr). Die Hänge und Hochlagen kühlen aufgrund der stärkeren Ausstrahlung schneller aus als die Luft über den Tälern (in gleicher Höhe). Es herrscht ein deutlicher Temperaturunterschied zwischen den Hanglagen und der Talsohle bzw. dem vorgelagerten Gebiet. Häufig kommt es in den Talsohlen zur Bildung von Kaltluftseen (Oke et al. 2017).

2.1.1 DIE ROLLE DER FLIESSGEWÄSSER

Die Wirkungen von Fließgewässern auf die klimatischen Verhältnisse in den urbanen Siedlungsflächen , hier in BL ist v.a. der Rhein, Birs, Birsig und dieErgolz zu nennen, können hauptsächlich durch die Entwicklung der Wassertemperaturen beschrieben werden. Der Wärmeaustausch findet zwischen der Lufttemperatur und der Wassertemperatur an der Wasseroberfläche statt. Die Wassertemperatur hängt von der Entfernung zur Mündung, Ordnung und Breite des Flusses und meteorologischen Gegebenheiten wie Sonneneinstrahlung, der langwelligen Wärmestrahlung und der Verdunstung ab. Diese Prozesse zusammen resultieren in der Wassertemperatur, die am Tag und innerhalb des Jahres schwankt.
Flüsse werden im Längsverlauf immer wärmer je weiter sie von der Quelle entfernt sind (natürlicher Temperaturgradient, (Lozàn und Maier 2008, 296ff). Je breiter und damit mehr Wasservolumen der Fluss besitzt, desto geringer ist die Wassererwärmung. Die Abbildung 3 verdeutlicht diesen Zusammenhang gut.

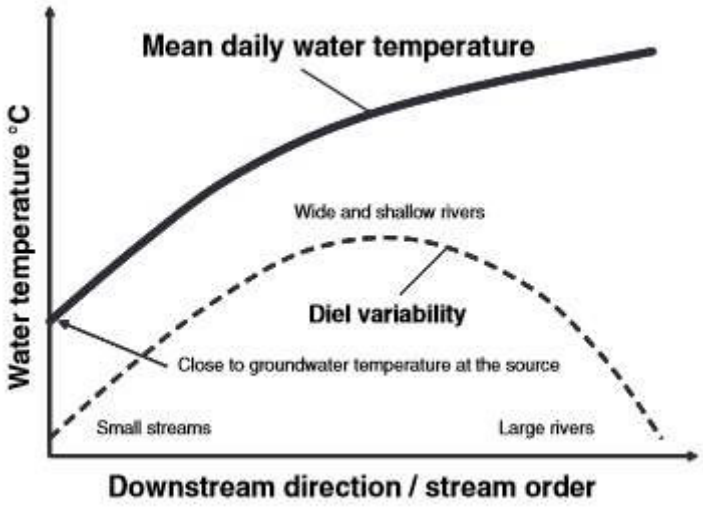


Abbildung 3: Zusammenhang zwischen Größe, Tiefe und Flussabschnitt zur täglichen Wassertemperatur. Quelle: Übernommen aus (CAISSIE 2006, S. 1391)

Einfluss des Rheins auf die urbanen Siedlungsflächen im Sommer

Die Strahlungsenergie der Sonne führt bei Wasser nicht nur zur Erwärmung, sondern auch zur Verdunstung (Evaporation). Die Strahlung dringt je nach Trübheitsgrad tief in den Wasserkörper ein. Bei Fließgewässern wie dem Rhein kommt es durch die Bewegung zu Durchmischungsprozessen, so dass sich das Wasser bis in tiefere Schichten erwärmt. Durch die zeitgleich auftretende Evaporation erwärmt sich das Wasser jedoch weniger schnell als das bei anderen Strukturen der Fall ist wie bspw. Boden oder Gestein. Durch die geringe Temperaturzunahme bei großer Energiezufuhr und geringe Temperaturabnahme bei Abkühlung sind Wasserkörper gute Wärmespeicher (Kuttler 2009). Dementsprechend sind die Temperaturextreme im Wasser geringer und treten zeitlich verzögert auf. Für den Austausch von Wärme zwischen der Luft- und Wassertemperatur sind v.a. zwei Prozesse wichtig: Evaporation und Kondensation. Der Prozess der

Evaporation verbraucht Wärmeenergie und entzieht der unmittelbaren Umgebung somit die Wärme (Oke et al. 2017, 158, 439).
Tagsüber haben Wasserkörper einen positiven Effekt auf den thermischen Komfort (Temperatur) und sind in ihren Temperaturauswirkungseigenschaften vergleichbar zu einer optimal mit Wasser versorgten Grünfläche. Jedoch ist die Reichweite der Temperaturauswirkung durch die Wasserfläche geringer als die einer Grünfläche und beschränkt sich hauptsächlich auf die Fläche des Wasserkörpers. Nachts haben Wasserflächen keinen kühlenden Effekt, da sie selbst durch die hohe Wärmekapazität (Wärmespeicher) ein höheres Temperaturniveau als die Lufttemperatur aufweisen (Kuttler 2009, S. 271). Der tageszeitliche Wassertemperaturgang schwankt kaum. Bei der Erwärmung des Gewässers im Sommer gilt es noch zu beachten, welchen Wasserstand der Fluss aufweist. Niedrigwasserstand führt zu einer stärkeren Erwärmung des Wasserkörpers.
Für die urbanen Siedlungsgebiete in den Kantonen BS und BL bedeutet das, dass bspw. der Rhein, die Birs und Birsig etc. im Sommer am Tage zur Kühlung der unmittelbar angrenzenden Luftpakete beitragen kann. Chen et al. (2014) haben in ihrer Studie den Kühlungseffekt von Flüssen auf Städte in Taiwan untersucht und kommen zu dem Ergebnis, dass der Kühlungseffekt weitaus geringer ausfällt als in natürlichen Flussgebieten. In den sehr städtisch entwickelten Flussauen haben sie eine Reichweite des Kühlungseffektes von 0m bis 75m anhand der Auswertung des Thermalbandes von Satellitenbildern nachgewiesen.

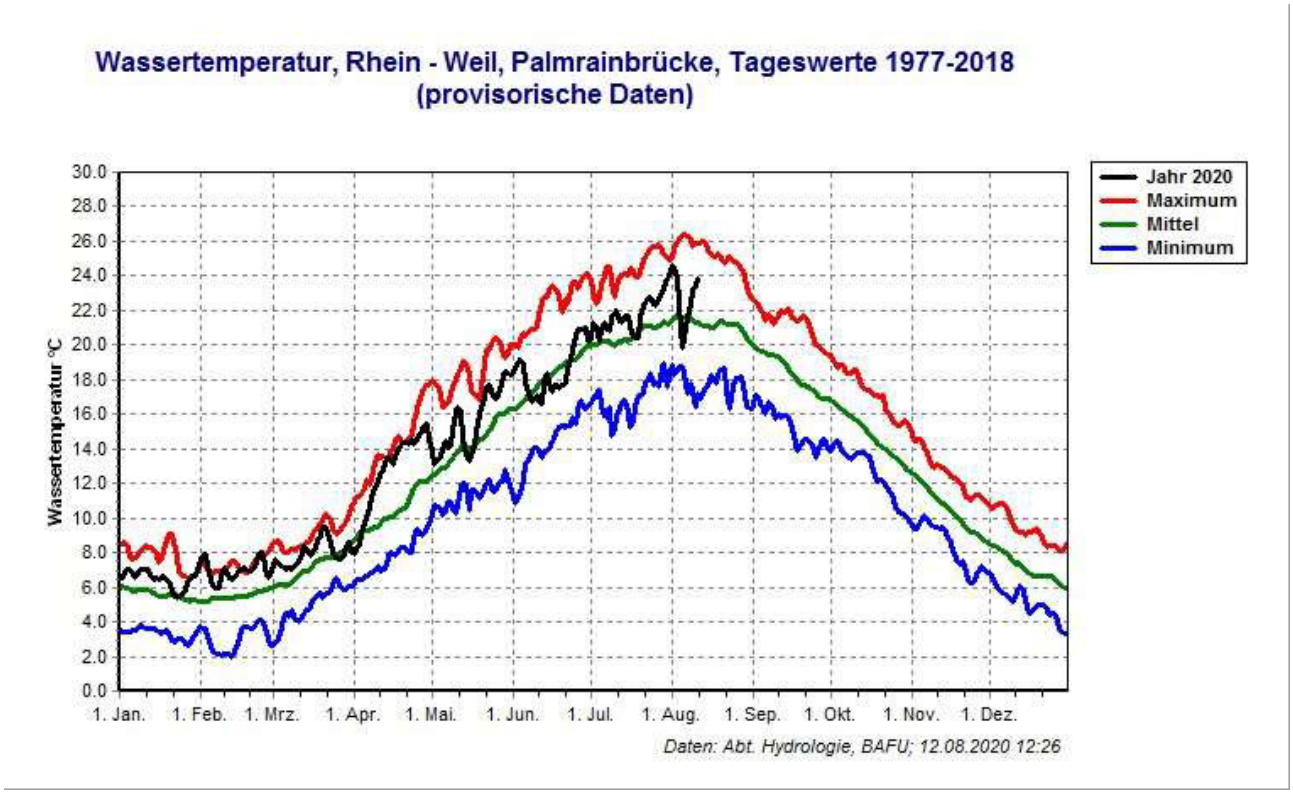


Abbildung 4: Aktueller Jahresgang 2020 der Wassertemperatur des Rheins am Pegel Rheinbrücke, Quelle: Abteilung Hydrologie 2020

Da der Rhein eingefasst ist und auch tiefer liegt als die meisten urbanen Siedlungsflächen, die Bebauungsstrukturen auch oftmals mit der langen Blockseite an den Rhein angrenzen, ist der Einfluss des Rheins sehr auf das lokale Mikroklima begrenzt.

Nachts ziehen die Flüsse die Luftströmung und damit auch einen Teil der Kaltluft an, da sie die wärmsten Strukturen im Siedlungsgebiet in der Nacht sind. Weil die Flüsse oftmals die tiefsten Punkte im Siedlungsgebiet sind, wird dieser Prozess noch weiter verstärkt. Die Kaltluft kann auf ihrem Weg zum Fluss die Bebauung kühlen.

Abbildung 4 verdeutlicht den Wassertemperaturverlauf des aktuellen Jahres 2020. Dabei ist auch die Mittelkurve der 40-jährigen Messreihe aufgetragen. Wie deutlich erkennbar ist, ist die sommerliche Wassertemperatur des Rheins deutlich an die maximale Kurve herangerutscht.

Weitere klimaökologische Funktionen von Fließgewässern.

Gewässer in dichten Siedlungsgebieten sind rauhigkeitsarme Strukturen und sind daher oft Ventilationsbahnen. In Abhängigkeit von ihrer Ausrichtung und der Luftströmung, die von Wetterlage und Windrichtung abhängig ist, funktionieren sie besser oder weniger gut bei bestimmten Wetterlagen mit jeweiliger Windrichtung.

Fazit zur Rolle der Fließgewässer in Städten

Der Einfluss der Fließgewässer auf das Klima in BL ist sehr lokal und trägt bei sommerlichen Wetterlagen nur tagsüber zu einer nicht weitreichenden Kühlung des Siedlungsraumes bei.

2.2 GEOGRAFISCHE EINORDNUNG DES UNTERSUCHUNGSGEBIET

Das Gebiet des Kantons BL beträgt 518 km² und ist in 5 Bezirke und 86 Gemeinden untergliedert. Ende 2018 lebten 289‘352 Personen im Kantonsgebiet. Die Bevölkerungsdichte ist mit 557 Einwohnern/km² die fünfthöchste in der Schweiz (Basel-Landschaft). Die Kantonshauptstadt ist Liestal.

Das für die Modellrechnung verwendete rechteckige Untersuchungsgebiet spannt eine Fläche von 1.600 km² auf (ca. 50 x 32km), um alle einflussgebenden Höhenrücken zu berücksichtigen. Dies entspricht in einer 10 m Auflösung ca. 15,7 Mio. Rasterzellen, die mit Daten gefüllt worden sind. Angeschnittene Kantone und Länder sind: Deutschland, Frankreich, Basel-Stadt, Solothurn, Jura und Aargau (siehe Abbildung 5).

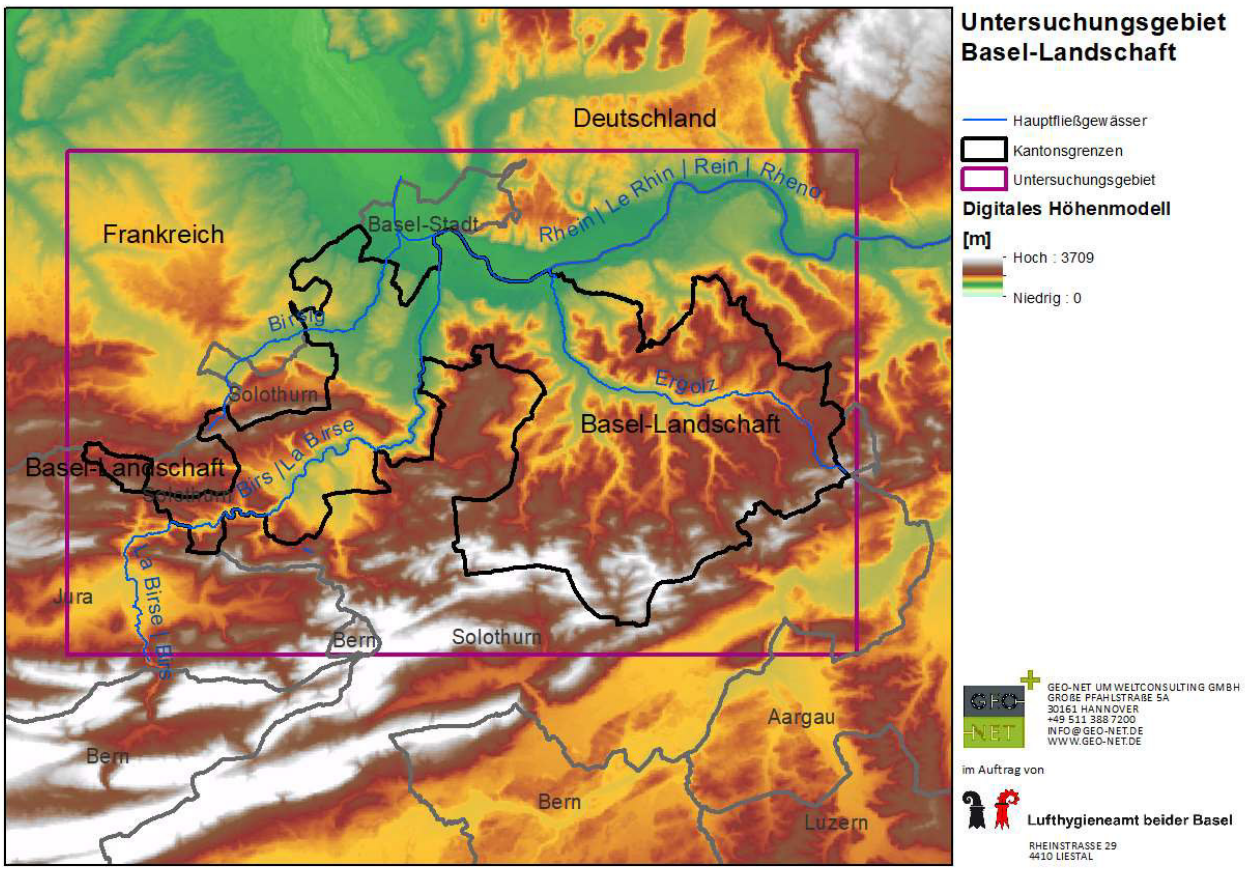


Abbildung 5: Übersicht über das Rechengebiet mit digitalem Geländemodell. Quelle: Eigene Darstellung.

Die höchste Höhe im Kantonsgebiet beträgt 1.169 m und ist der Hinteri Egg. Der tiefste Punkt ist die Mündung der Birs in den Rhein mit 246 m Höhe. Damit ist die hohe Dynamik und Reliefenergie, die v. a. nachts zum Tragen kommt, ersichtlich.

Der Kanton ist neben den Höhenzügen von den Tälern der Birsig, der Birs und der Ergolz charakterisiert, die alle in den Rhein münden.

2.3 KLIMATISCHE GRUNDLAGEN

2.3.1 AKTUELLES KLIMA UND BEOBACHTETER KLIMAWANDEL

Das Klima charakterisiert gemäß Definition des Deutschen Wetterdienstes (DWD) den mittleren Zustand der Atmosphäre an einem bestimmten Ort bzw. Gebiet und wird durch die statistischen Gesamteigenschaften über einen genügend langen Zeitraum repräsentiert (Mittelwerte, Extremwerte, Häufigkeiten, etc.). Im Allgemeinen werden Zeiträume von 30 Jahren zugrunde gelegt. In der Schweiz gilt für die Beschreibung des Klimas jeweils die aktuellste Klimaperiode, momentan die Periode 1981-2010 (Begert et al. 2013) und beinhaltet damit auch schon den bereits beobachteten Klimawandel, der sich seit Mitte der 1980er Jahre bemerkbar macht. Im Folgenden werden die wichtigsten meteorologischen Parameter und damit ein aktueller Bezugszeitraum dargestellt. Sie beziehen sich, sofern nicht anderweitig angegeben, auf den Standort der Meteo-Swiss Station Basel-Binningen. Innerhalb des Stadtgebiets kann es nutzungsbedingt deutliche Abweichungen von den Messwerten an der Wetterstation geben.

Der Kanton BS ist dem mitteleuropäischen Kontinentalklima zuzuordnen, speziell der Klimaregion Östlicher Jura. Die Abbildung 6 zeigt ein Klimadiagramm für die Station Basel-Binningen für die Normperiode 1981 – 2010, die im folgenden Abschnitt für die Sommermonate kurz beschrieben werden soll.

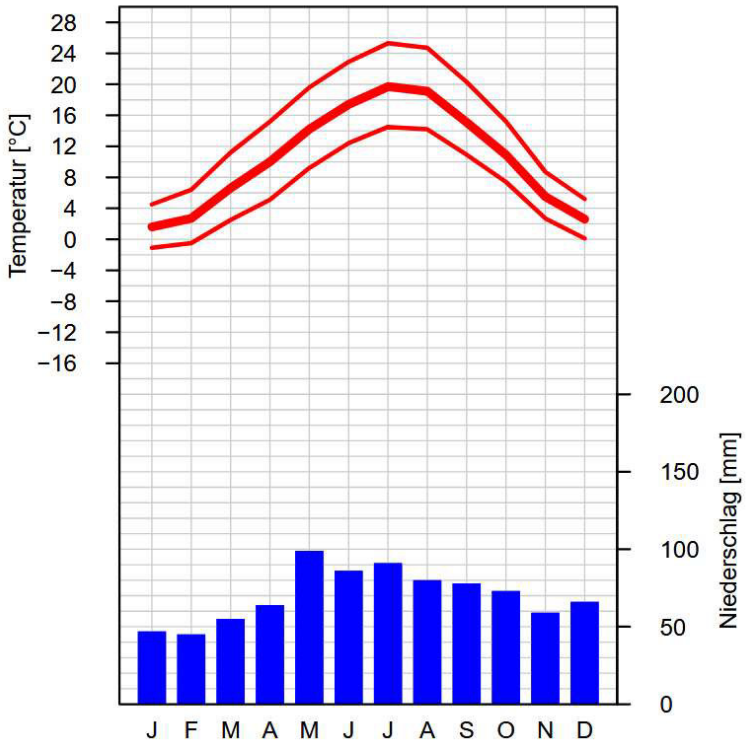


Abbildung 6: Klimadiagramm Station Basel-Binningen, Normperiode 1981 – 2010. Quelle: (Meteoschweiz 2020b)

Für die Sommermonate Juni, Juli und August ist zu sehen, dass die Temperaturen im Mittel unter 20° C liegen. Die Maximaltemperaturkurve (obere rote Kurve) reicht hingegen weit über 20°C, im Juli sind es sogar 25,3°C. Im Juni sind knapp 11 Tage, im Juli ca. 17 Tage und im August ca. 15 Tage als Sommertage (Maximaltemperatur am Tag > 25 °C) gemessen worden. Hitzetage (Maximaltemperatur am Tag > 30 °C) gab es in der Anzahl weniger: für Juni ca. 2; für Juli ca. 5 und für den August ca. 4 Tage. Der Juli ist der heißeste Monat des Sommers. Demgegenüber steht in der Abbildung 6 der Niederschlag. Die monatlichen Niederschlagssummen sind in den Sommermonaten am höchsten. Nur im Mai regnet es noch mehr. Das

bedeutet, dass die Vegetation, wenn es besonders warm im Jahr ist, auch mit viel Niederschlag versorgt wird.

Die Zunahme der Schweizer Mitteltemperatur seit 1864 bis heute beträgt rund 2 °C. Das ist im Vergleich zur Zunahme der mittleren globalen Temperatur im gleichen Zeitraum von 0,8 °C sehr viel mehr. Die Klimaszenarien CH2018 ermitteln eine Temperaturzunahme für die Schweiz zum vorindustriellen Zeitalter bis 2100 von +6 °C (Begert et al. 2019), was jedoch mit konsequentem Klimaschutz auf 2,5°C begrenzt werden kann.

In der Abbildung 7 ist die rezente Entwicklung der Sommertemperaturen für die Monate Juni, Juli und August seit dem Jahr 1864 im Vergleich zur Klimaperiode 1961 – 1990 aufgetragen. Es ist gut zu erkennen, dass es einen signifikanten positiven Trend der Sommertemperaturen (schwarze Linie) gibt. Die Jahre ab 2015 weichen alle von der Periode 1961 – 1990 mit über +3 °C ab. Das Jahr 2003 ist das mit der höchsten positiven Abweichung zur Periode von fast +5°C. Diese Grafik verdeutlicht, dass bereits jetzt, der Klimawandel stattfindet und in den Messreihen beobachtet werden kann. Seit den 1980er Jahren steigen die Temperaturen deutlich an und bleiben auch auf hohem Niveau.

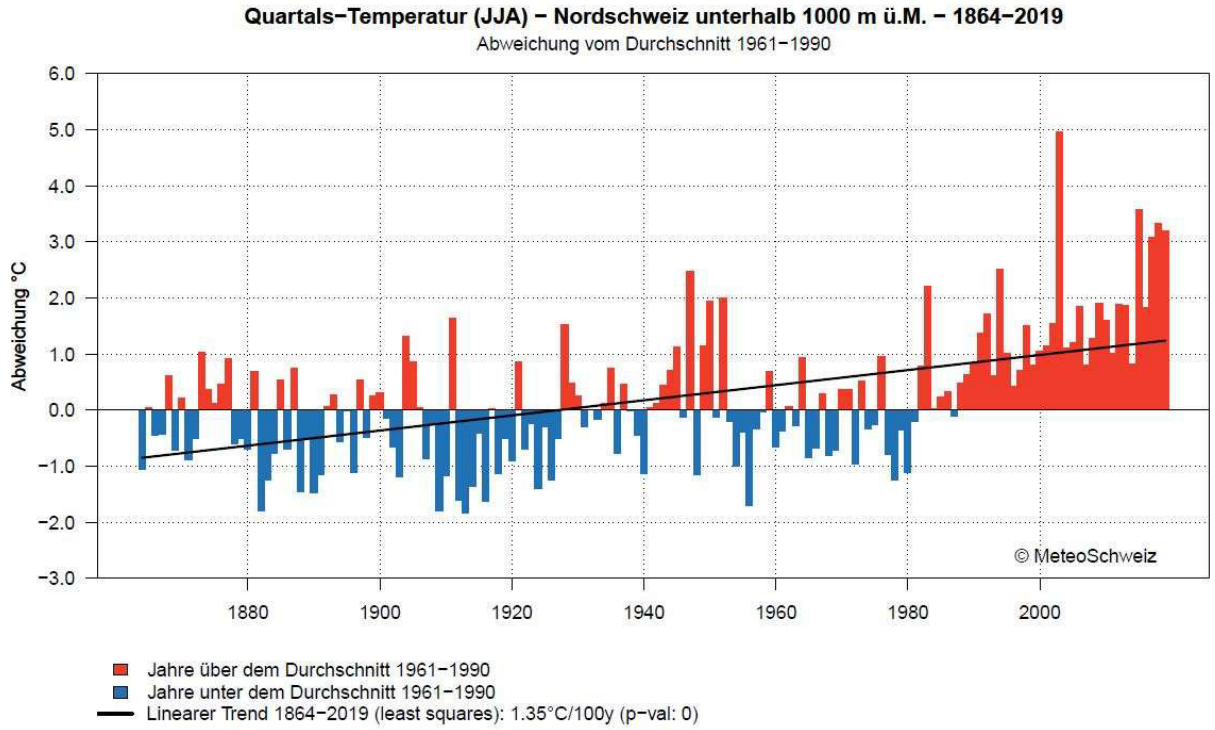


Abbildung 7: Entwicklung der sommerlichen Temperatur für die Nordschweiz unter 1.000 m ab 1864 bis heute im Vergleich zur Periode 1961 - 1990. Quelle: (Meteoschweiz 2020d)

Die nachfolgende Abbildung 8 und Abbildung 9 zu den Sommertagen, Hitzetagen und Tropennächten für die Station Basel/Binningen verdeutlichen die kontinuierliche Zunahme der Kenntage seit 1864 (rote gestrichelte Linie).

Sommertage sind Tage, wo die maximale Tagestemperatur >= 25°C ist. Hitzetage sind Tage, an denen die Maximaltemperatur am Tag 30°C übersteigt und Tropennächte werden an Tagen gezählt, wo die Minimumtemperatur nicht unter 20 °C fällt.

Im Jahr 2003 und 2018 gab es die höchste Anzahl an Sommertagen an der Station Binningen mit über 90. Aber auch das Jahr 1947 sticht mit über 80 Sommertagen deutlich in der Grafik heraus. Ab den 1990er

Jahren sind es pro Jahr in Binningen immer über 40 Sommertage gemessen worden. Die Hitzetage sind in ihrer Anzahl nicht so hoch wie die Sommertage, da hier als Schwellwert das Tagesmaximum von 30 °C gilt. Hier stechen die Jahre 1911 mit 32 –, 1947 mit 43 – und 2003 mit 41 Hitzetagen deutlich hervor. Die Hitzetage schwanken recht stark und steigen nicht so deutlich wie die Sommertage in den letzten Jahrzehnten an.

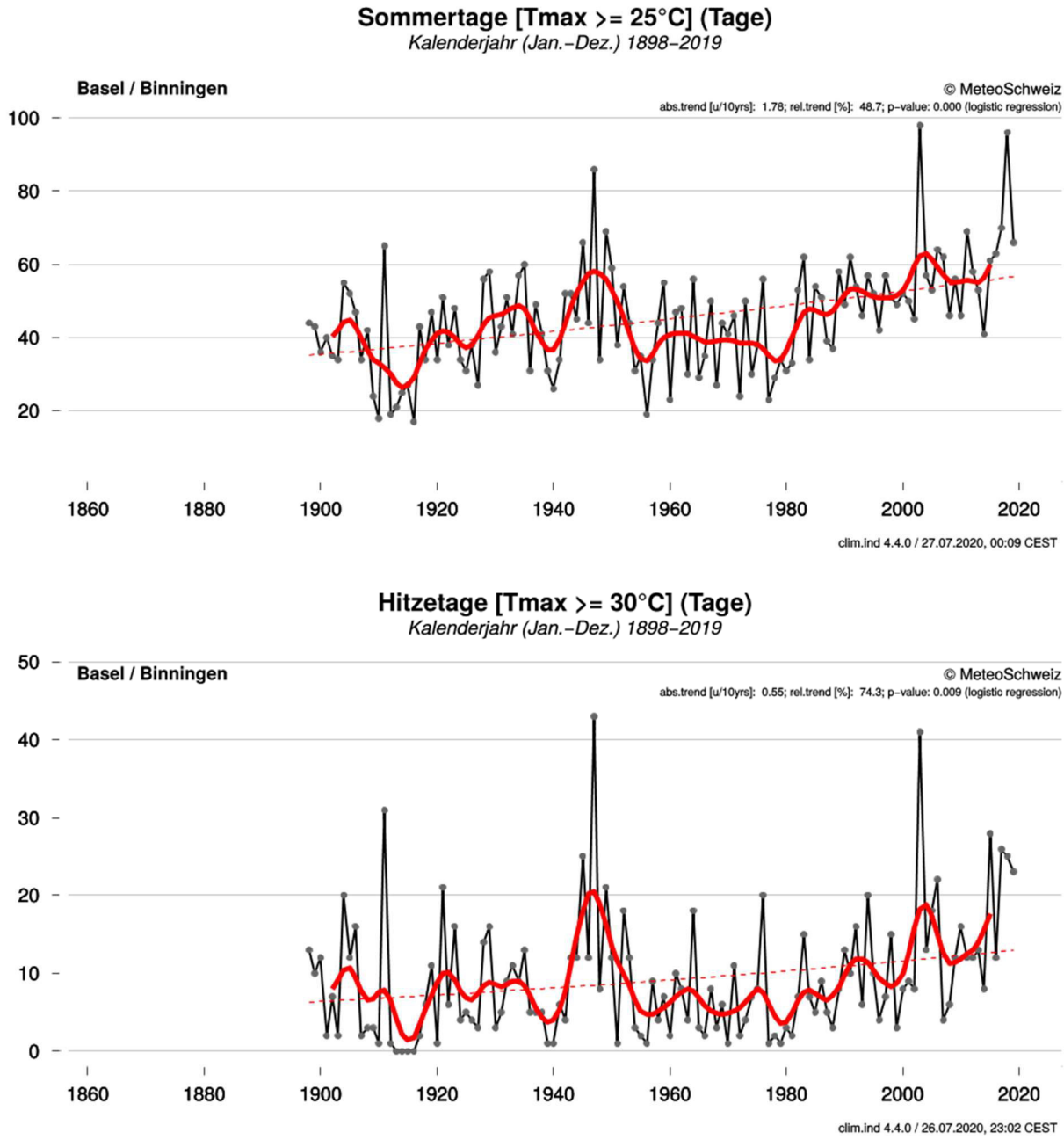


Abbildung 8: Rezente Entwicklung der Sommer- und Hitzetage und Tropennächte an der Station Basel Binningen. Quelle: (Meteoschweiz 2020a)

Die Tropennächte sind in der Abbildung 9 zeigt, dass fast bis 1991 (Ausnahme 1983) keine Tropennacht an der Station gemessen wurde. Danach steigt die Anzahl je Jahr kontinuierlich an: mit 7 Tropennächten im Jahr 2003 und 9 Tropennächten im Jahr 2016. Aus den Grafiken lässt sich herauslesen, dass das Jahr 2003 einen besonders heißen Sommer aufgewiesen hat, was an den hohen Werten sowohl für die Sommer– als auch Hitzetage und die Tropennächte nachgewiesen werden kann.

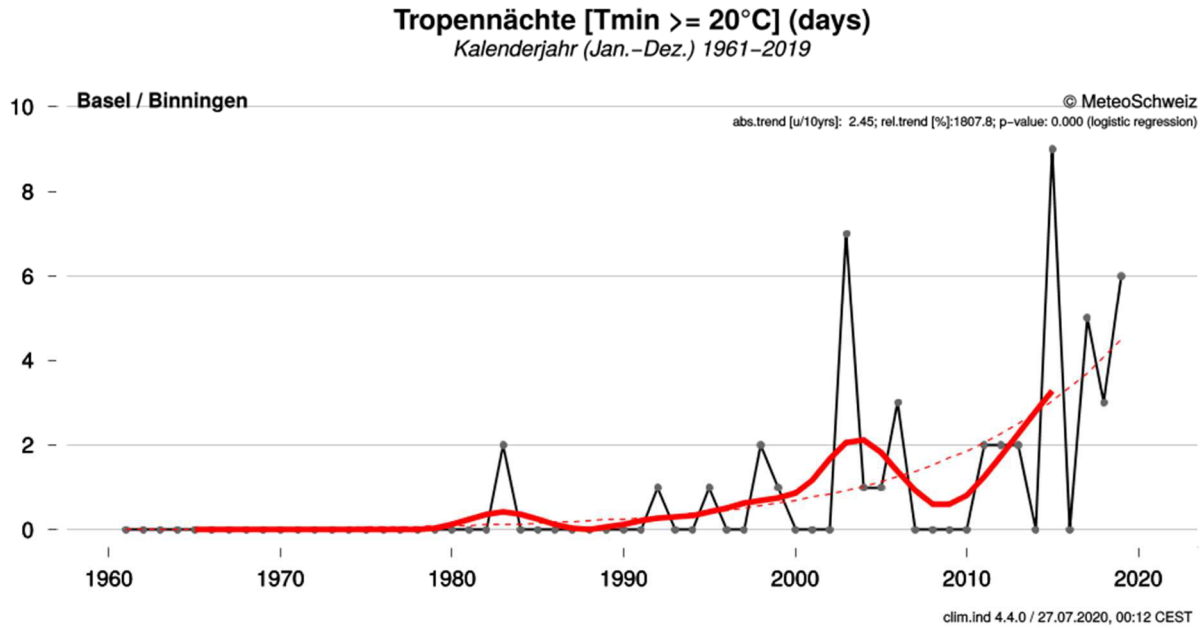


Abbildung 9: Rezente Entwicklung der Tropennächte an der Station Basel Binningen. Quelle: (Meteoschweiz 2020a)

Abbildung 10 zeigt die langjährige Entwicklung der Niederschlagssummen im Vergleich zur Klimaperiode 1961 – 1990 für die Nordschweiz für Gebiete unter 1.000m. Hier ist kein signifikanter Trend zu sehen und die Werte schwanken positiv als auch negativ um den Durchschnitt der Klimaperiode 1961 – 1990 herum.

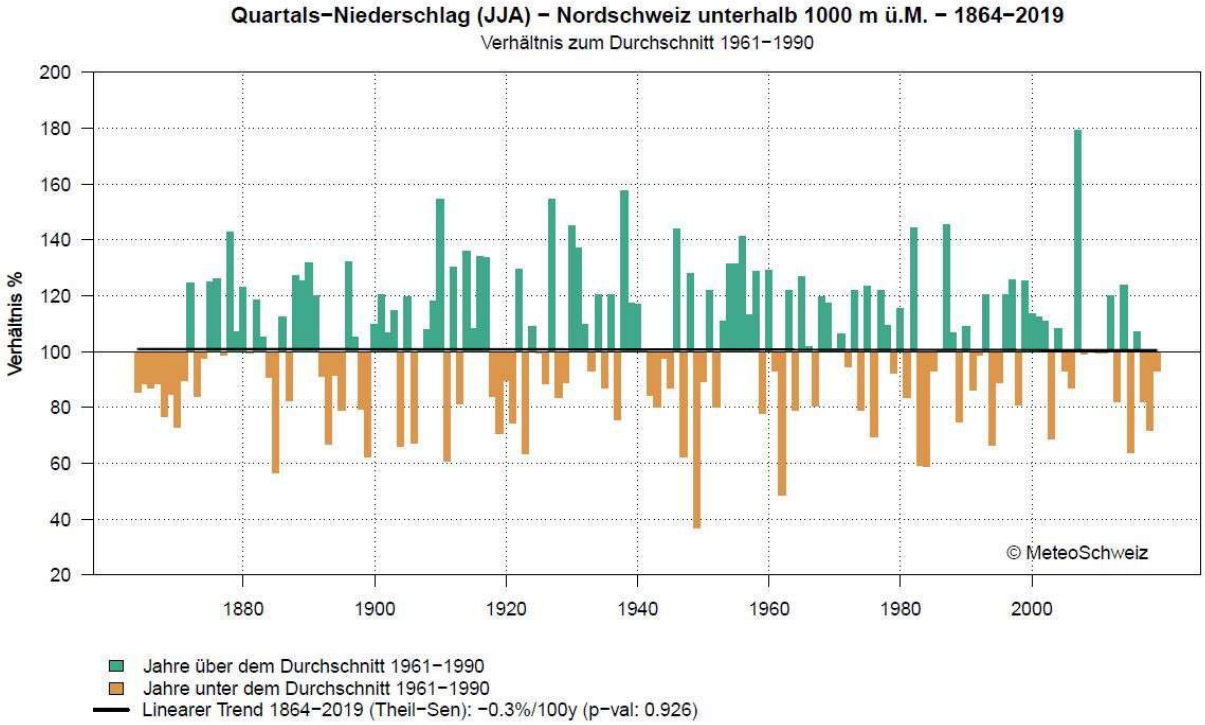


Abbildung 10: Entwicklung der sommerlichen Niederschlagssummen für die Nordschweiz unter 1.000 m ab 1864 bis heute im Vergleich zur Periode 1961 - 1990. Quelle: (Meteoschweiz 2020d)

Die Abbildung 11 zeigt die Windrosen der Station Basel/Binningen und Rünenberg (im südöstlichen Kantonsgebiet) für ein gesamtes Kalenderjahr. Hierbei ist zu beachten, dass die Station Rünenberg auf 611m ü.M liegt und Binningen nur 316 m. Die Hauptwindrichtung der Station Binningen ist Ostsüdost und

die von Rünenberg Ostnordost. In Basel Binningen sind die Windgeschwindigkeiten der Hauptwindrichtung größtenteils mit ca. 7 % unter 3 m/s und sind zu 3 % darüber bis 5,9 m/s gemessen worden. In Rünenberg ist die Windgeschwindigkeit von 3 bis 5,9 m/s häufiger in der Hauptwindrichtung mit ca. 4% vertreten. Teilweise werden hier auch höhere Windgeschwindigkeiten >= 6 m/s gemessen, was auf die Höhenlage zurückgeführt werden kann. Beide Stationen verzeichnen aus West bis Südwest diese hohen Windgeschwindigkeiten über 6 m/s.

Die Windverhältnisse im Sommer lassen sich mit den Windrosen nicht ablesen.

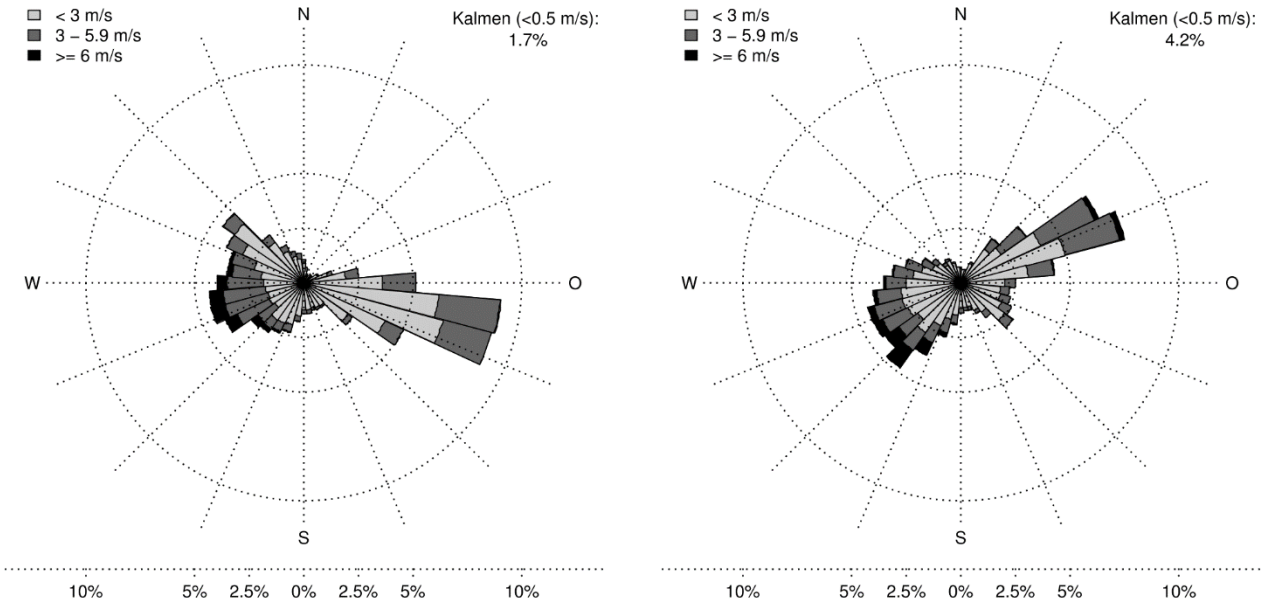


Abbildung 11: Windrosen der Station Basel Binningen 316 m ü.M. (links) und Rünenberg 611 m ü.M (rechts). Quelle: (Meteoschweiz 2020c).

2.3.2 ERWARTETE KLIMAÄNDERUNGEN DURCH DEN KLIMAWANDEL

Das zukünftige Klima kann anhand der entwickelten Representative Concentration Pathways (RCP), die vom Weltklimarat (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) entwickelt wurden, beschrieben werden. Die zukünftigen Entwicklungspfade beruhen dabei auf repräsentative Konzentrationsentwicklungen für Treibhausgase, die den Strahlungsantrieb unterschiedlich stark beeinflussen. Diese wurden im aktuellen fünften Sachstandsbericht des IPCC veröffentlicht und lösen die bis dahin genutzten auf sozio-ökonomischen Faktoren beruhenden SRES-Szenarien (Special Report on Emission Scenarios) ab. Abbildung 12 veranschaulicht diese Entwicklungspfade und den dazugehörigen Strahlungsinput einmal grafisch und fasst kurz die Bedeutung zusammen.

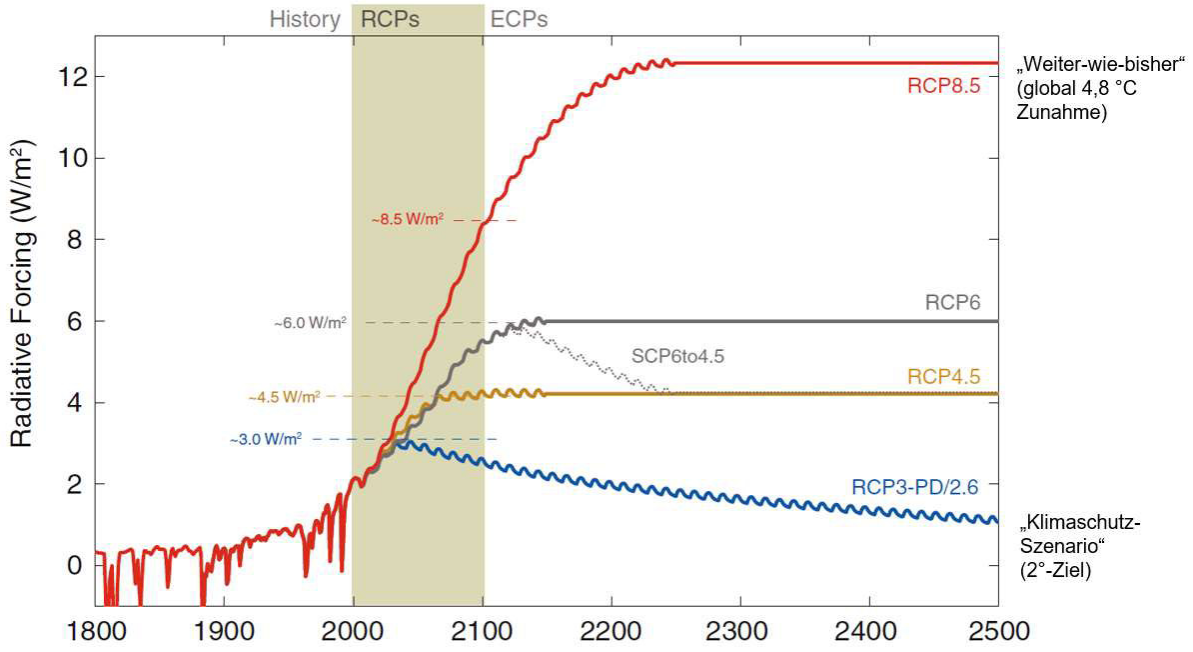


Abbildung 12: Die Representative Concentration Pathways (RCP) und ihre Entwicklung bis 2100. Quelle: IPCC 2014

Die RCP-Szenarien beinhalten folgende Entwicklungen:

- Das Szenario RCP 2.6 „Konsequenter Klimaschutz“ beschreibt einen Anstieg des anthropogenen Strahlungsantriebes bis zum Jahr 2040 auf knapp 3 W/m². Zum Ende des Jahrhunderts sinkt dieser langsam, aber stetig auf 2,6 W/m² ab sofern die Klimaschutz- und -anpassungsmaßnahmen umgesetzt werden. Die globale Mitteltemperatur würde in diesem Szenario die 2 °C-Grenze voraussichtlich nicht überschreiten (IPCC 2014).
- RCP 4.5 „Mittleres Szenario“ zeigt einen steilen Anstieg des anthropogenen Strahlungsantriebes bis etwa zur Mitte des 21. Jahrhunderts, der danach nur noch geringfügig bis etwa 2075 steigt und in der Folge stagniert.
- Das Szenario RCP 8.5 „Kein globaler Klimaschutz“ weist den stärksten Anstieg des Strahlungsantriebes auf, auf der Grundlage, dass 50% der Energie weiterhin aus Kohle stammt und dementsprechend das Treibhausgas CO_2 emittiert wird. Dieser Strahlungsantrieb schwächt sich bis zum Ende des Jahrhunderts nicht ab und würde eine Zunahme der globalen Mitteltemperatur um ca. 4,8 °C im Vergleich zum vorindustriellen Zustand bewirken (IPCC 2014). Diese globale Mitteltemperaturerhöhung prägt sich unterschiedlich auf Regionen und Städte durch. Dieses Szenario entspricht am ehesten dem „Weiter wie bisher“-Trend und würde sich vermutlich ohne zusätzliche Bemühungen zur CO_2-Reduzierung einstellen (Abbildung 12).

Das Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz hat das Mandat des Bundes Klimaszenarien zu erstellen. Dies erfolgte in der Zusammenarbeit mit dem ETH Center for Climate System Modelling, der Universität Zürich. Es entstand der Datensatz CH2018, der über das National Centre for Climate Services (NCCS) bereitgestellt wird. Des Weiteren sind Auswertungen der MeteoSchweiz verfügbar (CH2018 2018; Lufthygieneamt beider Basel 2020).

Dabei ist eine etablierte Methode zur Beschreibung von klimatischen Änderungen die Verwendung von Kenntagen. Dies sind z.B. die Anzahl von Hitzetagen, Sommertagen oder Tropennächten innerhalb eines zu benennenden Zeitraumes (oftmals jährlich).

In diesem Kapitel wird die Entwicklung des Kantons BL anhand der Großregion Jura bzw. der Westschweiz dargestellt. Diese Ausführungen beruhen auf den Auswertungen und Daten der MeteoSchweiz. Es erfolgt an dieser Stelle eine Konzentration auf den Temperaturgrößen und die Kenntage zur Temperatur beruhen: Sommertage und Tropennächte und eine kurze Einschätzung der Entwicklung des Niederschlages. Eine ausführlichere Auswertung für den Kanton BL ist in dem *Statusbericht Klima. Handlungsfelder in BL* zu entnehmen (Lufthygieneamt beider Basel 2020).

Tabelle 1: Prognostizierte lokale Entwicklung von Kenngrößen für ausgewählte Referenzstationen im Kanton BL. Quelle: NCCS 2018.

Indikatoren	**Station**	**Situation Normperiode 1981 bis 2010 (heute)**	**Situation um 2060**	
			RCP2.6	**RCP 8.5**
Mittlere Sommertemperatur	Basel / Binningen	18,8	19,5 bis 20,7	20,8 bis 22,3
	Rünenberg	17,3	18,1 bis 19,3	19,5 bis 21,4
Sommertage [n/Jahr] (Tmax ≥ 25°C)	Basel / Binningen	51	59 bis 71	76 bis 79
	Rünenberg	27	33 bis 46	48 bis 71
Tropennächte [n/Jahr] (Tmin ≥ 20°C)	Basel / Binningen	0,6	1,4 bis 5	5,2 bis 15,8
	Rünenberg	1	2,7 bis 7,1	7,6 bis 19,7
Niederschlag [mm/Monat] für den Sommer (JJA)	Basel / Binningen	84	68 bis 93	57 bis 91
	Rünenberg	106	89 bis 113	75 bis 119
Niederschlag [mm/Monat] für den Winter (DJF)	Basel / Binningen	54	52 bis 64	58 bis 69
	Rünenberg	58	58 bis 72	63 bis 81

In der Abbildung 13 und in Tabelle 1 ist die Entwicklung der Lufttemperatur im Sommer bis ins Jahr 2100 im Vergleich zur Referenzperiode 1981 bis 2010 für das „Konsequenter Klimaschutzszenario RCP 2.6“ und das „Kein globaler Klimaschutzszenario RCP 8.5“ dargestellt. Die farblich markierten Bereiche stellen die Modellrechnungen mit ihren Unsicherheiten und natürlichen Schwankungen dar. Am Anfang ab 1980 bis 2010 verlaufen die Szenarien noch fast identisch und unterscheiden sich dann immer stärker je weiter in die Zukunft geschaut wird. Im RCP 8.5 ist eine Temperaturzunahme im Vergleich zur Referenzperiode im Mittel von 4°C bis im Maximum von über 6°C zu erwarten, so dass von einer Mitteltemperatur im Jahr 2060 von 20,8 bis 22,3 °C in Basel / Binningen und etwas weniger mit 19,5 bis 21,4 °C am Rünenberg gerechnet werden kann (siehe Tabelle 1). Im RCP 2.6 werden es im Mittel 1,2 und im Maximum 1,8 °C mehr sein, also

an der Station Basel/Binningen dann 19,5 bis 20,7 °C sein (NCCS 2018; Lufthygieneamt beider Basel 2020). Die Temperaturentwicklung zeigt deutlich nach oben, v.a. für den Sommer.

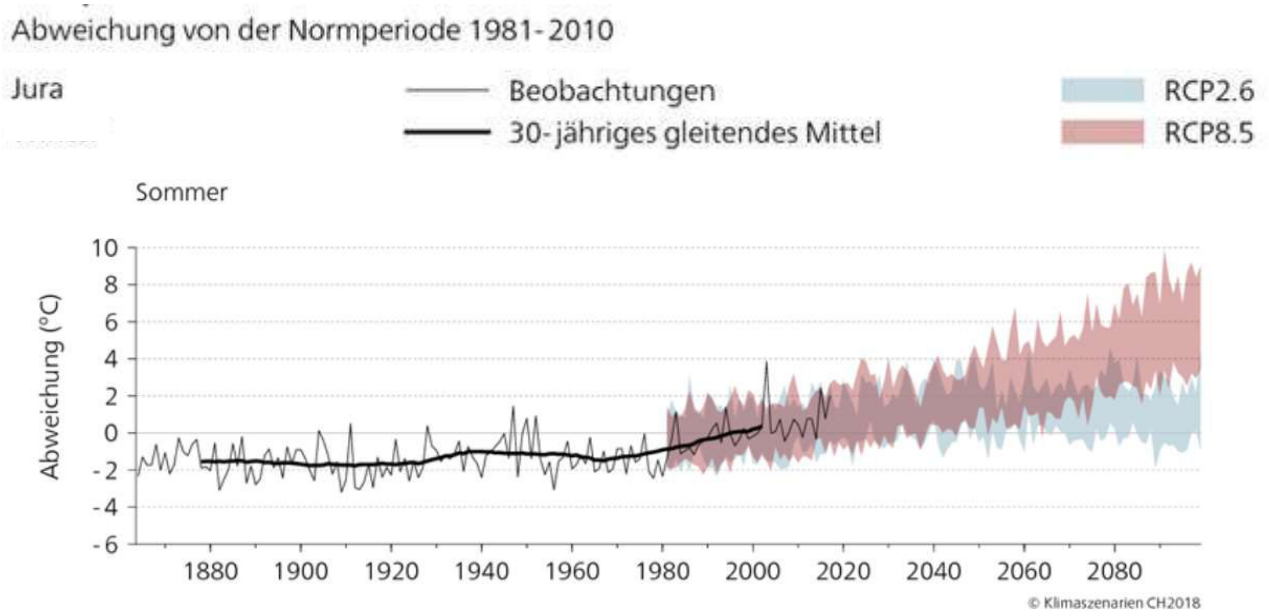


Abbildung 13: Entwicklung der Temperatur im Sommer bis 2100. Quelle: NCCS 2018

In der Abbildung 14 ist die prognostizierte Anzahl der Sommertage (Maximaltemperatur am Tag > 25°C) und Tropennächte (Minimumtemperatur am Tag > 20°C) im Vergleich zur Referenzperiode in Abhängigkeit der Höhe dargestellt und in der Tabelle 1 in absoluten Zahlen.

Die Sommertage werden v.a. in niedrigen Höhenstufen, also in Tälern und flachem Terrain zunehmen. Je höher eine Gemeinde liegt, desto geringer ist die Anzahl der Sommertage prognostiziert. Für das RCP 8.5 ist für Höhenbereiche zwischen 800 und 1.200 m bspw. mit ca. 38 Sommertagen bis zum Jahr 2060 zu rechnen. Für das RCP 2.6 ist in derselben Höhenstufe lediglich mit 23 Sommertagen zu rechnen. In Höhen bis 500m ist für das RCP 2.6 von 60 Sommertagen auszugehen. Die absoluten Zahlen in Tabelle 1 zeigen diese Höhenabhängigkeiten zwischen Basel /Binningen auf 316m ü. M gelegen und der Station Rünenberg, 611 m ü. M. gelegen auch sehr deutlich. Die Anzahl der Sommertage in Rünenberg ist deutlich geringer vorhergesagt mit 48 bis 71 für das RCP 8.5 im Gegensatz zu einer sehr hohen Anzhahl von 76 bis 97 für Basel / Binningen.

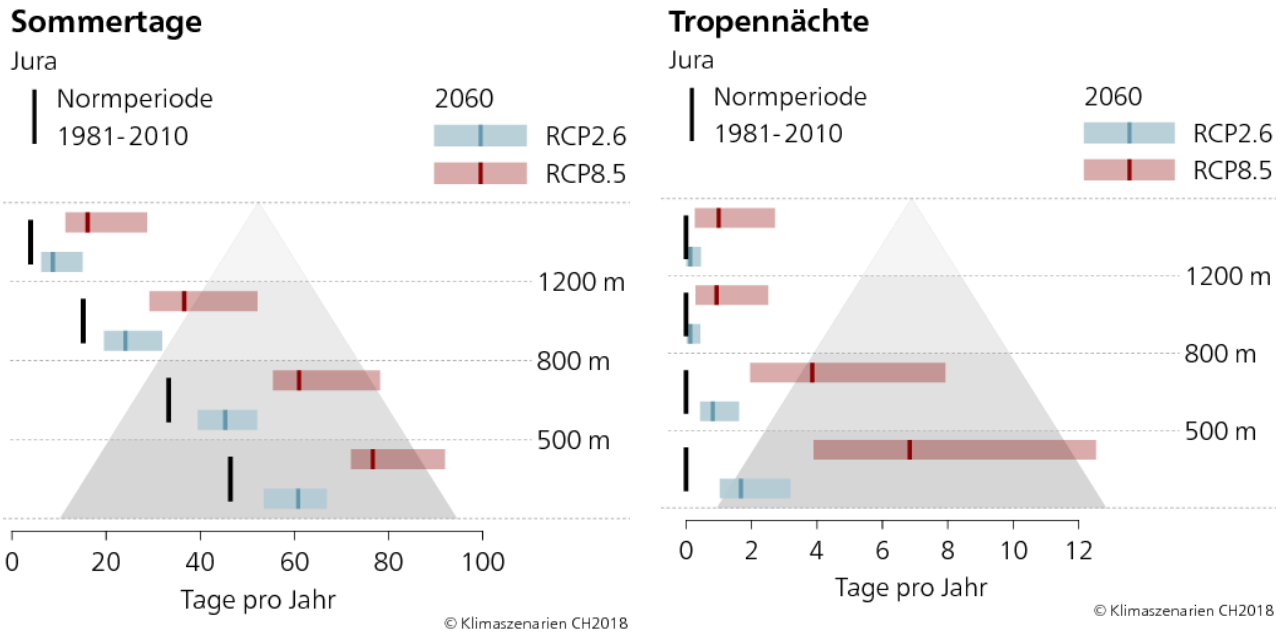


Abbildung 14: Entwicklung der höhenabhängigen Sommertage und Tropennächte für die Großregion Jura für das Jahr 2060. Quelle: NCCS 2018

Bei den Tropennächten ist das Muster der geringeren Anzahl je höher die Gemeinde liegt, ebenfalls ersichtlich. Die Spannbreite (Unsicherheit) ist bei den Tropennächten für das RCP 8.5 größer, was an der langen Länge des rosa-farbenen Balkens ersichtlich ist. Gerade für die Höhenstufen bis 800 m prägt sich das sehr stark aus. In Höhen bis 500 sind unter 2 Tropennächte für das RCP 2.6 prognostiziert, für das RCP 8.5 sind es im Median bereits 7 Tropennächte im Jahr 2060. Dieser Effekt lässt sich für die Station Basel /Binningen und Rünenberg nicht nachweisen. Für Rünenberg, welches höher liegt als Basel / Binningen werden mehr Tropennächte als für die Basler Station vorhergesagt (siehe Tabelle 1).

In der Abbildung 15 und Tabelle 1 ist die Entwicklung des Niederschlages in Abweichung zur Normperiode prognostiziert. Hier ist, wie bereits in den Abbildungen zur rezenten Entwicklung des Niederschlages deutlich (siehe Abbildung 10), kaum eine Änderung zu erwarten (die Bandbreite entspricht dem Schwankungsbereich der Beobachtungen) und auch die zwei Szenarien zeigen nicht so deutliche Unterschiede wie bei den temperaturabhängigen Größen. Für Basel /Binningen und Rünenberg wird in den Sommermonaten mehr Niederschlag als in den Wintermonaten prognostiziert, jedoch ungefähr gleichbleibend.

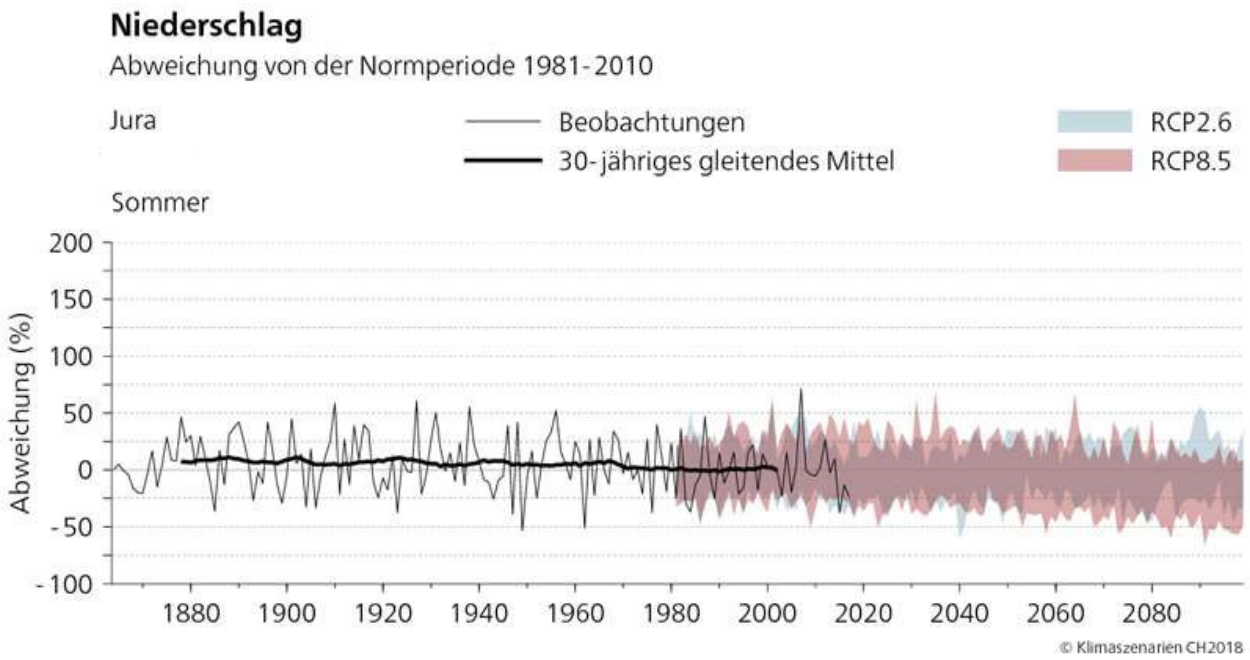


Abbildung 15: Entwicklung des Niederschlages bis 2100 für den Sommer (JJA). Quelle:NCCS 2018

Das bedeutet, dass die Sommer zukünftig wärmer bzw. heißer werden, der Niederschlag aber auf dem Niveau von heute verbleibt. Da der Bedarf der Vegetation und auch der Menschen bei zunehmender Temperatur steigt, ist davon auszugehen, dass das natürliche Wasserdargebot in Form von Niederschlag im Sommer langfristig nicht mehr ausreichend wird, um allen Bedarfen gerecht zu werden. Bedenkt man dann noch, dass der Niederschlag im Sommer häufiger durch Starkregenereignisse niederkommt, schränkt sich die Verfügbarkeit des Niederschlages auf einzelne Tage weiterhin ein.

3 Methode der modellgestützten Klimaanalyse

3.1 DAS KLIMAMODELL FITNAH 3D

Neben globalen Klimamodellen und regionalen Wettervorhersagemodellen wie sie zum Beispiel vom DWD für die tägliche Wettervorhersage routinemäßig eingesetzt werden, nehmen kleinräumige Modellanwendungen für umweltmeteorologische Zusammenhänge im Rahmen von stadt- und landschaftsplanerischen Fragestellungen einen immer breiteren Raum ein. Die hierfür eingesetzten mikro- und mesoskaligen Modelle erweitern das Inventar meteorologischer Werkzeuge zur Berechnung atmosphärischer Zustände und Prozesse.

Der Großteil praxisnaher umweltmeteorologischer Fragestellungen behandelt einen Raum von der Größenordnung einer Stadt bzw. Region. Die bestimmenden Skalen für die hier relevanten meteorologischen Phänomene haben eine räumliche Erstreckung von Metern bis hin zu einigen Kilometern und eine Zeitdauer von Minuten bis Stunden. Unter Verwendung des üblichen Einteilungsschemas meteorologischer Phänomene werden diese in die Meso- und Mikroskala eingeordnet. Beispiele für mesoskalige Phänomene sind Land-See-Winde, Flurwinde oder die Ausbildung einer städtischen Wärmeinsel, wobei der Übergang zur Mikroskala fließend ist (bspw. der Einfluss von Hindernissen auf den Wind wie Kanalisierung, Umströmung bzw. Düseneffekte, aber auch die klimaökologischen Auswirkungen von Begrünungsmaßnahmen).

Obwohl die allgemeine Struktur und physikalischen Ursachen dieser lokalklimatischen Phänomene im Wesentlichen bekannt sind, gibt es nach wie vor offene Fragen hinsichtlich der räumlichen Übertragbarkeit auf andere Standorte oder der Sensitivität bezüglich der Wechselwirkungen einzelner Strömungssysteme untereinander. Ein Grund hierfür sind die relativ kleinen und kurzen Skalen dieser Phänomene und deren unterschiedliches Erscheinungsbild in komplexem Gelände. Entsprechend ist es schwierig aus einer beschränkten Anzahl von Beobachtungen eine umfassende Charakterisierung zu erhalten, jedoch kann dieser Nachteil mit Hilfe ergänzender Modelluntersuchungen überwunden werden.

Beginnend mit einem Schwerpunktprogramm der Deutschen Forschungsgemeinschaft wurden in Deutschland eine Reihe mesoskaliger Modelle konzipiert und realisiert (Deutsche Forschungsgemeinschaft 1988). Der heutige Entwicklungsstand dieser Modelle ist extrem hoch und zusammen mit den über die letzten Dekaden gewonnenen Erfahrungen im Umgang mit diesen Modellen stehen neben Messungen vor Ort und Windkanalstudien universell einsetzbare Werkzeuge zur Bearbeitung umweltmeteorologischer Fragestellungen in stadt- und landschaftsplanerisch relevanten Landschaftsausschnitten zur Verfügung.

Sofern ausreichend detaillierte Eingangsdaten zur Verfügung stehen, ist das Modell FITNAH 3D (Gross 1989, 1993, 2002) in der Lage, räumlich hoch aufgelöste Berechnungen in einem 10 x 10 m-Raster durchzuführen und ermöglicht damit mikroskalige Stadt- und Regionalklimaanalysen.

3.1.1 GRUNDLAGEN MESO- UND MIKROSKALIGER MODELLE

Die Verteilung lokalklimatisch relevanter Größen wie Wind und Temperatur können mit Hilfe von Messungen ermittelt werden. Aufgrund der großen räumlichen und zeitlichen Variation der meteorologischen Felder im Bereich einer komplexen Umgebung sind Messungen allerdings nur punktuell repräsentativ und eine Übertragung in benachbarte Räume selten möglich. Klimamodelle wie FITNAH 3D können zu entscheidenden Verbesserungen dieser Nachteile herangezogen werden, 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 Planungslösungen gefunden werden können.

Für jede meteorologische Variable wird eine physikalisch fundierte mathematische Berechnungsvorschrift aufgestellt. Die Modelle basieren daher, 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*).

Je nach Problemstellung und gewünschter Anwendung kann dieses Grundgerüst erweitert werden, um z.B. die Effekte von Niederschlag auf die Verteilung urbanklimatisch wichtiger Größen zu berücksichtigen. In diesem Falle müssen weitere Bilanzgleichungen für Wolkenwasser, Regenwasser und feste Niederschlagspartikel gelöst werden. 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 10 m. Die vertikale Gitterweite (z-Richtung) 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 2, 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.

Die Auswertungen der FITNAH-Modellierung beziehen sich auf das bodennahe Niveau der Modellrechnung (2 m ü. Gr. = Aufenthaltsbereich der Menschen).

3.2 BETRACHTETE WETTERLAGE

Die durchgeführte numerische Simulation mit FITNAH 3D legt eine autochthone Wetterlage zugrunde. Diese wird durch wolkenlosen Himmel und einen nur sehr schwach überlagernden synoptischen Wind gekennzeichnet, sodass sich die lokalklimatischen Besonderheiten einer Stadt und Region besonders gut ausprägen. Entsprechend wurden die großräumigen synoptischen Rahmenbedingungen folgendermaßen festgelegt:

- Lufttemperatur 22 °C über Freiland um 21:00 Uhr
- Relative Feuchte der Luftmasse 50 %
- Bedeckungsgrad 0/8
- Kein überlagernder geostrophischer Wind

Die vergleichsweise geringen Windgeschwindigkeiten während der austauscharmen Wetterlage bedingen einen herabgesetzten Luftaustausch in der bodennahen Luftschicht. Bei gleichzeitig hoher Ein- und Ausstrahlung können sich somit lokal bioklimatische Belastungsräume ausbilden (Darstellung eines *worst case*-Szenarios). Charakteristisch für diese (Hochdruck-)Wetterlage ist die Entstehung eigenbürtiger

Kaltluftströmungen (Flurwinde), die durch den Temperaturgradienten zwischen kühlen Freiflächen und wärmeren Siedlungsräumen angetrieben werden.

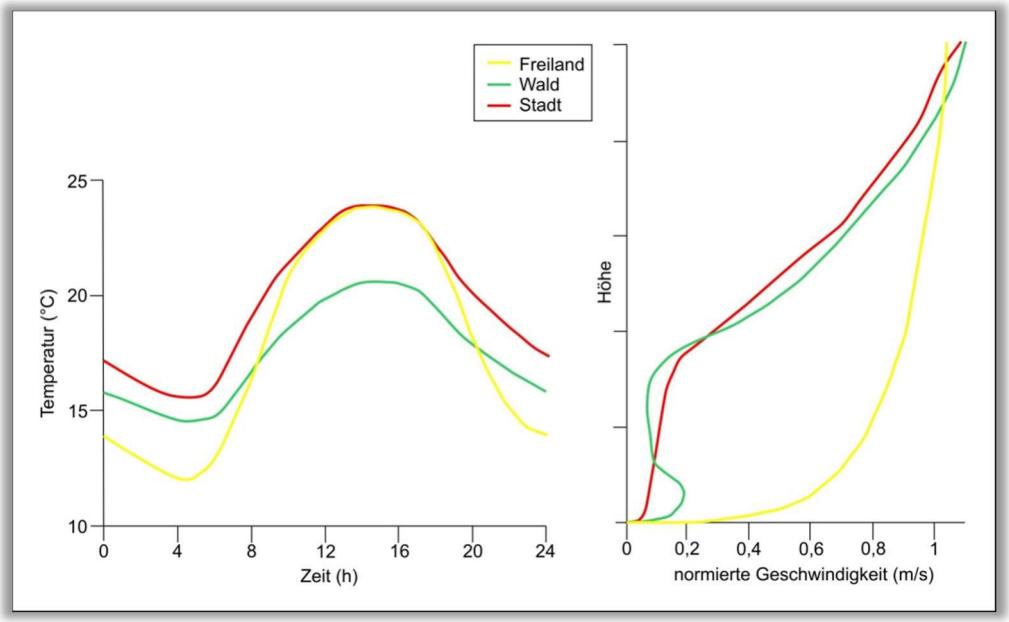


Abbildung 16: Tagesgang der Temperatur (links) und Vertikalprofil der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit (rechts) verschiedener Landnutzungen

In Abbildung 16 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 vor allem durch die Wärme speichernden Materialien deutlich geringer ist. 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.

3.3 METHODE DER ZUKUNFTSRECHNUNG KLIMA 2035

Neben der Analyse der gegenwärtigen Situation (Status quo bzw. Ist-Szenario) sollen die Auswirkungen des Klimawandels auf das Stadt- und Regionalklima im Jahr 2035 untersucht werden (Zukunftsszenario). Analog zur Klimaanalyse des Status quo kommt das Modell FITNAH 3D zum Einsatz, das gewisse meteorologische Rahmenbedingungen als Antrieb der Modellierung verwendet. Um das zukünftige Klima in den urbanen Siedlungsflächen im Kanton BL abzubilden, hat sich die sogenannte Delta-Methode bewährt, in der das Modell mit einer um 1,3 K[2] erhöhten Temperatur angetrieben wird (Klimaänderungssignal $\delta = 1{,}3$ K). Potentielle Landnutzungsänderungen wurden zeitgleich mit in das Modell aufgenommen, sodass eine Mischung der Auswirkungen des Klimawandels und der Siedlungsentwicklung sichtbar wird.

Die klimatischen Änderungen der langjährigen jährlichen und monatlichen Mittelwerte der einzelnen betrachteten Variablen (hier: die Temperatur) wurden aus der Differenz der jeweiligen Zukunftsperiode zur Referenzperiode ermittelt (NCCS 2018).

[2] Die Temperaturdifferenz in Kelvin (K) entspricht dem Wert in Grad Celsius (°C)

In Abbildung 17 sind die saisonalen Veränderungen für den Sommer für die 3 Szenarien: RCP 2.6, RCP 4.5 und RCP 8.5 dargestellt (NCCS 2018).

Die Veränderungen beziehen sich auf die Abweichung zur Referenzperiode 1981 – 2010. Der Kanton BL wird der Westschweiz zugeordnet. Die Medianwerte schwanken von der ersten Zukunftsperiode 2021 - 2050 von 1,2 °C für RCP 2.6 bis zur Zukunftsperiode 2071-2100 für RCP8.5 in Höhe von 4,6 °C (siehe Abbildung 17). Auch innerhalb der Zukunftsperioden ist die Schwankung von >1K zwischen RCP 2.6 bis RCP 8.5 erheblich.

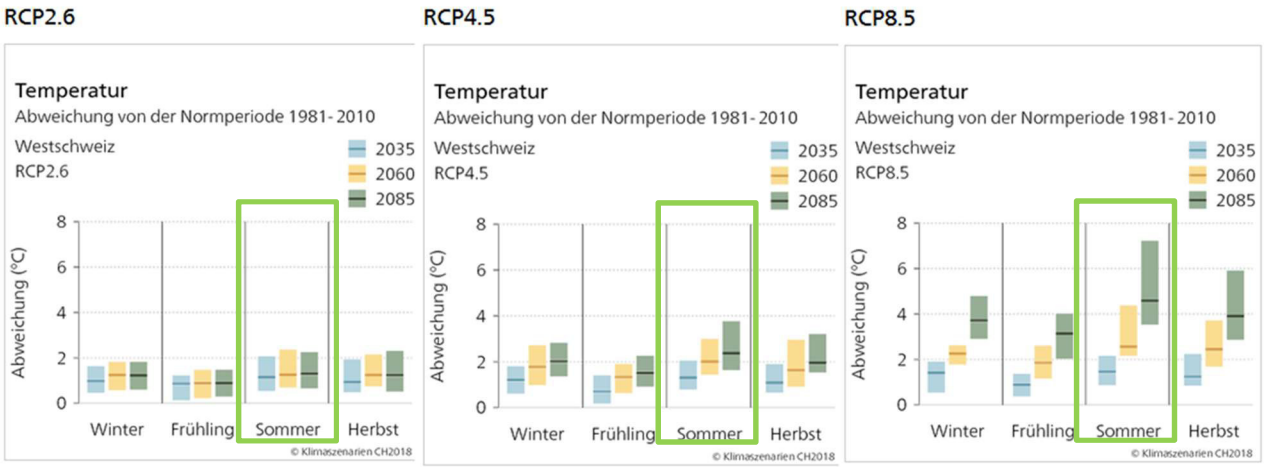


Abbildung 17: Vorhergesagte Temperaturänderung für die Zukunftsperioden. Quelle: (NCCS 2018)

In Abstimmung mit den verantwortlichen Kantonsmitarbeitern aus BL wurde ein mittleres Szenario bis zum Bezugsjahr 2035 herausgesucht. Die Wahl fiel daher auf die erste Periode (zentriert auf 2035) mit dem Median des RCP-Szenario 4.5 als Änderungssignal (Klimaänderungssignal $\delta = 1{,}2$ K), um die Auswirkungen im Sinne des Vorsorgegedankens für ein mittleres Klimawandelszenario zu berücksichtigen. Bei dem mittleren Klimawandelszenario steigen die CO2-Emmsissionen bis 2040 an und gehen danach nur langsam zurück. Das Delta von 1,2 °C mehr bis 2035 geht bei der Zukunftsrechnung mit FITNAH 3D ein.

3.4 EINGANGSDATEN

Bei einem numerischen Modell wie FITNAH 3D werden zur Festlegung und Bearbeitung einer Aufgabenstellung eine Reihe von Eingangsdaten benötigt, die charakteristisch für die Landschaft des Untersuchungsgebiets sind und die größerskaligen meteorologischen Rahmenbedingungen wie Wetterlage oder Klimaszenario definieren. Für jede Rasterzelle müssen jeweils als repräsentativer Wert folgende Daten vorliegen:

- Geländehöhe (z.B. Geländehöhe, Neigung, Orientierung)
- Nutzungsstruktur (Verteilung der Landnutzung, Digitales Landschaftsmodell)
- Strukturhöhe (Gebäude- und Vegetationshöhen)
- Versiegelungsgrad.

Tabelle 2: FITNAH-Eingangsdatenklassen.

Nutzungs-klasse	Beschreibung	Versiegelungsgrad	Strukturhöhe
1	einzelne, freistehende Gebäude	100	individuell
3	unbebaut versiegelt (Straßen)	95	0
4	Gewässer	0	0
5	Gleis	25	0,5
6	Rasen plus Vegetation < 2,5m	5	individuell
7	naturferne Böden Vegetation < 2,5m	25	individuell
8	versiegelt plus Vegetation > 2,5m	90	individuell
9	Vegetation (> 2,5m) über Rasen = größere zusammenhängende Waldflächen	0	individuell
10	Vegetation (> 2,5m) über naturfernem Boden, auch kleinere Straßen/Wege innerhalb von Waldgebieten	30	individuell
11	freiliegender Fels	95	0
12	Geröll, Sand, naturferner Boden ohne Vegetation	0	0

Da der Kanton BL in einer 10 m Auflösung, also mikroskalig gerechnet wurde, sind Gebäude sowohl in Bezug auf ihren Grundriss als auch ihre Höhe erfasst (aus der Bodenbedeckung, siehe auch Tabelle 3), sodass deren Effekte auf das Mikroklima und insb. das Strömungsfeld berücksichtigt werden. Weiterhin wurde das Digitale Oberflächenmodell (DOM) für die Ableitung der Gebäudehöhen und der schweizweite Datensatz zur Vegetation mit Lage und Strukturhöhen von Grünbeständen verwendet (Ginzler und Hobi 2015). Die räumliche Auflösung von 10 m ermöglichte eine detaillierte Erfassung von Grünstrukturen, allerdings konnten einzelne (insb. kleinkronige) Bäume auf dieser Maßstabsebene noch nicht separat ausgewiesen werden. In Frankreich lagen hochaufgelöste RGBI-Luftbilder (Rot Grün Blau Infrarot) in einer Auflösung von 20x20cm vor, die in einen Vegetationsindex: NDVI überführt wurden, der dann die Erfassung von Bäumen in Kombination mit dem DOM erlaubte. Die anderen Nutzungsklassen aus Tabelle 2 wurden über Look-Up Tables, die auf die Kategorien der Bodenbedeckung zugegriffen haben, in die Eingangsdaten für FITNAH übertragen.

Die Versiegelungsgrade wurden für die Nutzungsklassen übertragen (siehe Tabelle 2).

Die Herausforderung in der Aufbereitung der Eingangsdaten liegt vor allem in der Harmonisierung der einzelnen Datensätze mit unterschiedlichen Auflösungen, Datenständen und Projektionen zwischen den Kantonen und Deutschland und Frankreich.

Tabelle 3: Übersicht über die unterschiedlichen Datenquellen mit Jahr und Quelle.

Kanton	Nutzung	Strukturhöhe Vegetation	Strukturhöhe Gebäude	Geländemodell
Basel Land-schaft	Amtliche Vermessung Bodenbedeckung www.geodienste.ch , 2019	Schweizweites Vegetationshöhenmodell von 2018, 1x1m Auflösung, aus Luftbildern abgeleitet, erstellt vom Swiss National Forest Inventory (http://www.mdpi.com/2072-4292/7/4/4343 https://www.envidat.ch/dataset/vegetation-height-model-nfi)	Gebäudehöhen LiDAR_AGI_grid_DOM 2012	LiDAR_AGI_grid_DTM 2012
Basel Stadt				
Aargau				EU-DEM (25m Auflösung)
Jura	Bundesdaten: Arealstatistik 2018 100x100m Auflösung			
Deutsch-land	Daten aus dem Basel Stadt-Projekt, Corine Land Cover (2016) und Open Street Map für Gebäude (2019)	Empirische Werte: 7m Vegetation, 12m Gebäude		
Frank-reich	BDOCS, Open Street Map Gebäude (2017)	Teilweise DOM, sonst 7m	Teilweise DOM, sonst 12 m	

Die Daten aus Tabelle 3 wurden im Frühjahr 2018 vom Kanton BS sowie BL übermittelt und repräsentieren den Stand des Jahres 2018 für den größten Teil der Daten. Die Bodenbedeckung wurde aus dem Internet mit Stand 2019 heruntergeladen.

Die Abbildung 28 im Anhang zeigt den Workflow der Datenaufbereitung für den Kanton BL. Die grau hinterlegten Boxen sind dabei die Eingangsdaten und die dunkelgrün eingefärbten Boxen stellen die Eingangsdaten für FITNAH-3D dar.

Für die ***Zukunftsrechnung***, bei der eine weitergehende Siedlungsentwicklung angenommen wurde, wurde angenommen, dass die 102 Innenentwicklungsflächen (IEP 2018) aus der Kantonsplanung zukünftig bebaut sind. Eine bauliche Umsetzung dieser Flächenpotenziale gilt bis 2035 als sehr wahrscheinlich. Dabei wurde unterschieden zwischen Neubebauungen auf der grünen Wiese (27 Flächen) und Nachverdichtungen (75 Flächen). Da zum Teil noch nicht klar ist, wie die Flächen bebaut werden und wo Häuser stehen, wurde für die Zukunftsrechnung auf die mesoskaligen Nutzungsklassen zurückgegriffen (siehe Tabelle 4 und Karte Nutzung Zukunft).

Tabelle 4: Weitere FITNAH-Eingangsdatenklassen für die Zukunftsrechnung

Klasse	Strukturtyp	Beschreibung	Mittlerer Versiegelungsgrad [%]
21	Zentrumsbebauung	Kerngebietsnutzung, welche durch einen sehr hohen Bebauungs- und Versiegelungsgrad gekennzeichnet ist.	95
23	Industrie- und Gewerbeflächen	Sie weist einen ähnlichen hohen Versiegelungsgrad wie die Zentrumsbebauung auf, gleichzeitig ist der versiegelte Flächenanteil oft größer als der mit Gebäuden bestandene	87
24	Zeilen- und Hochhausbebauung	Zu diesem Flächentyp zählen sowohl freistehende Punkthochhäuser als auch halboffene Blockrandbebauung und Zeilenbebauung. Gemeinsames Merkmal ist ein relativ hoher Grünflächenanteil, welcher sich durch die zwischen den Gebäudekörpern befindlichen Abstandsflächen ergibt.	55
25	Einzel- und Reihenhausbebauung	Dieser Typ weist unter den Siedlungsräumen den geringsten Überbauungsgrad auf und hat demnach einen geringeren Versiegelungs- und Bebauungsgrad als die Zentrumsbebauung.	41

3.4.1 ABGRENZUNG UND BEWERTUNG DER KLIMAÖKOLOGISCH WIRKSAMEN NUTZUNGSSTRUKTUREN

Ziel der Eingangsdatenaufbereitung ist es, aus den flächenhaft vorliegenden Nutzungsinformationen punkthaft gerasterte Modelleingangsdaten mit einer Maschenweite von 10 m zu erzeugen. Aus diesen punkthaften Repräsentationen der Eingangsvariablen ergeben sich die in gleicher Weise aufgelösten Modellergebnisse in Form flächenbezogene Klimaparameter (vgl. Abbildung 18). Qualifizierende Aussagen zur bioklimatischen Bedeutung bestimmter Areale können sich allerdings nicht auf einzelne Rasterzellen beziehen. Hierfür muss eine Zonierung des Untersuchungsraumes in klimatisch ähnliche Flächeneinheiten erfolgen. Diese sollten in der Realität nachvollziehbar und administrativ oder nutzungstypisch abgrenzbar sein. Um die Ausprägung der Klimaparameter auf planungsrelevante und maßstabsgerechte Einheiten zu übertragen, wurden den Referenzflächen der verwendeten digitalen Nutzungsinformationen die relevanten Klimaparameter wie z.B. Lufttemperatur oder Kaltluftvolumenstrom zugeordnet. Dafür wurden alle Rasterzellen, die von einer bestimmten Fläche überdeckt werden, mit Hilfe zonaler Analysen zusammengefasst und statistisch ausgewertet. Auf diese Weise erhält jede Fläche eine umfassende Statistik aller zugehörigen Klimaparameter, die u.a. den Mittelwert der flächenspezifischen Werteausprägungen umfasst.

Aufgrund dieser Vorgehensweise liegen die Ergebnisse der Klimaanalyse in zweifacher Form vor: Zum einen als hochaufgelöste rasterbasierte Verteilung der Klimaparameter in einer Auflösung von 10x10m (vgl. Kap. 4). Zum anderen beruht eine weitere Darstellungsweise (Planungshinweiskarten) auf den übermittelten Gevierten (polygonbasiert), die die planungsrelevanten, maßstabsgerechten und räumlich in der Realität abgrenzbaren Flächeneinheiten wiedergeben (vgl. Kap. 6). Auf diese Weise bleiben alle

Informationen erhalten: die Heterogenität der Klimaparameter und der Klimaanalysekarte Nacht als Detailinformation in 10x10m Auflösung und die abstrahierte Darstellung der klimatischen Funktionszusammenhänge in den Synthesekarten Planungshinweiskarte Tag und –Nacht.

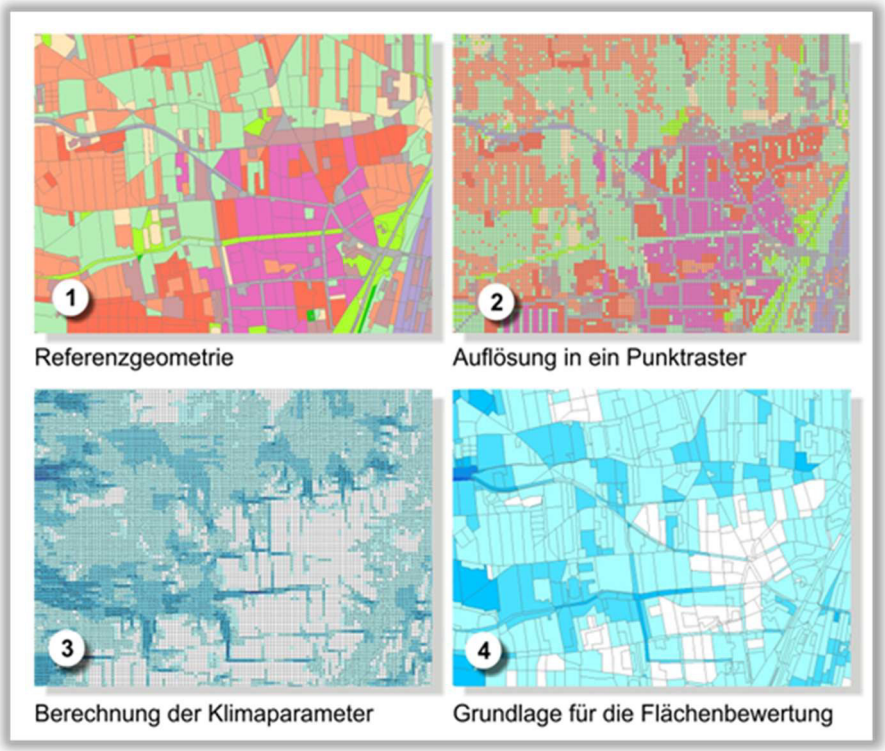


Abbildung 18: Schema der Wertezuordnung zwischen Flächen- und Punktinformation

4 Modellergebnisse ausgewählter Parameter

Im Folgenden werden die rasterbasierten Modellergebnisse der Parameter

- Nachts
  - Lufttemperatur,
  - Kaltluftströmungsfeld und
  - Kaltluftvolumenstrom) sowie
- Tags
  - Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET)

beschrieben. Sie basieren auf einer räumlichen Auflösung von 10 m (pro Rasterzelle ein Wert) und gelten für den Aufenthaltsbereich des Menschen (in 2 m ü. Gr.) sowie eine autochthone Sommerwetterlage (vgl. Kap. 3.2). Flächenbezogene Analysen werden im anschließenden Kapitel zu den Klimaanalyse- und Planungshinweiskarten vorgenommen (z.B. die Ableitung von Kaltluftleitbahnen).

Die einzelnen Ergebnisse werden jeweils für die Ist-Situation und für die zukünftige Betrachtung unter dem Klimawandelszenario RCP 4.5 (siehe Kap. 3.3) dargestellt.

4.1 NÄCHTLICHES TEMPERATURFELD

4.1.1 ALLGEMEINES

Der Tagesgang der Lufttemperatur ist direkt an die Strahlungsbilanz eines Standortes gekoppelt und zeigt daher i.d.R. einen ausgeprägten Rückgang während der Abend- und Nachtstunden. Kurz vor Sonnenaufgang des nächsten Tages wird das Temperaturminimum erreicht. Das Ausmaß der Abkühlung kann, je nach meteorologischen Verhältnissen, Lage des Standorts und landnutzungsabhängigen physikalischen Boden- bzw. Oberflächeneigenschaften, große Unterschiede aufweisen. Besonders auffällig ist das thermische Sonderklima der Siedlungsräume mit seinen gegenüber dem Umland modifizierten klimatischen Verhältnissen.

Das Ausmaß der Temperaturabweichung im ***Siedlungsbereich*** ist vor allem von der Größe der Siedlung und der Dichte der Überbauung abhängig. Doch auch über ***Grün- oder grün dominierten Flächen*** weisen Luftvolumina keinen einheitlichen Wärmezustand auf. Die Abkühlungsrate natürlicher Oberflächen wird insb. von ihren thermischen Bodeneigenschaften (Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität) sowie eventuell vorhandenen Oberflächenbedeckungen bestimmt (Bewuchs, Laubstreu, etc.). Dynamische Luftaustauschprozesse zwischen den Flächen, das Relief in Form von Geländehöhe, Exposition sowie Geländeneigung und die Lage im Mosaik der Landnutzungen üben weiteren Einfluss aus. Es macht bspw. einen Unterschied, ob sich eine Freifläche neben einem Gewässer, Waldgebiet oder im dicht versiegelten Bereich befindet.

Eine Sonderstellung nehmen Wald- und Gewässerflächen ein. Der gedämpfte, insgesamt vermittelnde Tagesgang der Temperatur im ***Wald*** beruht zu einem großen Teil auf dem zweischichtigen Strahlungsumsatz zwischen Atmosphäre und Kronendach sowie zwischen Kronendach und Stammraum. Größere Waldgebiete sind wichtige Frischluftproduktionsgebiete, in denen sauerstoffreiche und wenig belastete Luft entsteht. Während im Stammraum tagsüber durch Verschattung und Verdunstung relativ geringe Temperaturen bei hoher Luftfeuchtigkeit vorherrschen, treten nachts durch die abschirmende Wirkung des Kronendachs vergleichsweise milde Temperaturen auf. Siedlungsnahe Wälder können demnach auch am Tage Kaltluft zugunsten des Siedlungsraumes erzeugen, nachts fällt deren

Kaltluftproduktion in 2 m Höhe dagegen geringer aus. Höhere Kaltluftproduktionsraten sind erst *über* dem Kronendach zu finden. Der Wald stellt ein Strömungshindernis dar. Die hohe spezifische Wärmekapazität von ***Wasser***, seine besondere Art der Strahlungsabsorption und die im Wasserkörper stattfindenden turbulenten Durchmischungsvorgänge sorgen für eine (von hohen Absolutwerten ausgehend) deutlich verringerte Temperaturamplitude im Tagesgang über größeren Gewässern. Da hier die Lufttemperaturen im Sommer tagsüber niedriger und nachts höher als in der Umgebung sind, wirken größere Gewässer auf bebaute Flächen am Tage klimatisch ausgleichend, während sie in der Nacht deren Abkühlung verringern (vgl. auch Kap. 2.1.1).

Die Ermittlung des bodennahen Temperaturfeldes ermöglicht es, Bereiche mit potenziellen bioklimatischen Belastungen abzugrenzen, Aussagen zum Auftreten thermisch und/oder orographisch induzierter Ausgleichsströmungen zu treffen und die räumliche Ausprägung sowie Wirksamkeit von Kalt- bzw. Frischluftströmungen abzuschätzen. Die aufgeführten Absolutwerte der Lufttemperatur sind exemplarisch für eine autochthone Sommernacht als besondere Wetterlage zu verstehen. Die daraus abgeleiteten relativen Unterschiede innerhalb des Siedlungsgebietes bzw. zwischen den Nutzungsstrukturen gelten dagegen weitestgehend auch während anderer Wetterlagen, sodass die Flächenbewertung etwa der Planungshinweiskarten auf diesen beruht (vgl. Kap. 6).

4.1.2 ERGEBNISSE TEMPERATURFELD

Das sich um 04:00 Uhr in der Nacht einstellende Lufttemperaturfeld im Kanton BL für die Ist-Situation umfasst bei Minimalwerten von mehr als 7,7 °C über siedlungsfernen Freiflächen und Maximalwerten von mehr als 22°C in den Siedlungskernen eine Spannweite von ca. 15 K (siehe Abbildung A2 im Anhang). Die mittlere Temperatur im Untersuchungsgebiet liegt unter den angenommenen meteorologischen Rahmenbedingungen bei 14,5 °C.

In der Zukunft unter einer angenommenen mittleren Temperaturzunahme des RCP 4.5 in Höhe von 1,2 K bis 2035 nehmen die Temperaturen auch unterschiedlich stark im Kantonsgebiet zu (vgl. Abbildung A3 im Anhang und Abbildung 20). Die niedrigsten Temperaturen sind mit ca. 9 °C auszumachen und die Maximalwerte liegen bei über 22 °C.

Das Temperaturfeld ist auch innerhalb der bebauten Gebiete räumlich differenziert, weil Areale mit Zeilenhausbebauung, Verkehrsanlagen und Gewerbegebiete unterschiedliche Boden- und Oberflächeneigenschaften aufweisen (vgl. Abbildung 19 und Abbildung 20). Beispielhaft für Liestal ist abzulesen, dass sich bspw. das Temperaturdelta von 1,2 °C nicht so stark auf gut durchgrünte Einfamilienhausgebiete durchprägt. Diese verzeichnen in Liestal lediglich eine Zunahme von 0,4 bis 0,8 °C. Wohingegen höher versiegelte Gewerbegebiete eine Temperaturzunahme um 1,1 bis 1,3 °C verzeichnen können (Vergleich der Nutzungsstrukturen in Abbildung 19 und Abbildung 20).

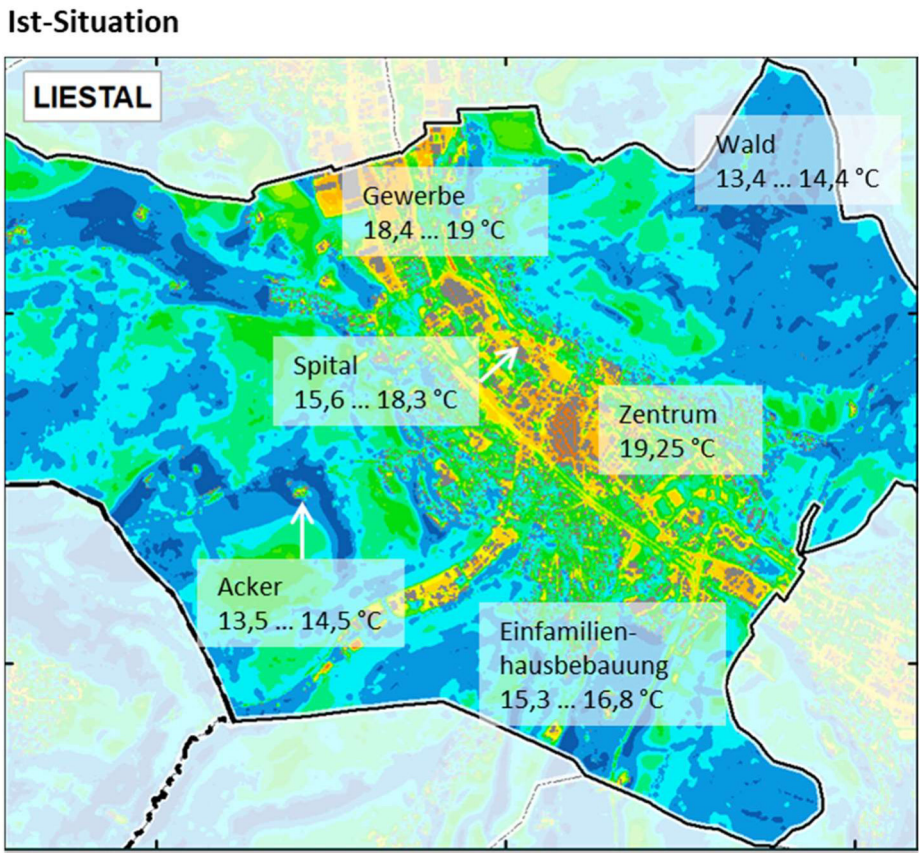


Abbildung 19: Nächtliches Temperaturfeld in Liestal mit beispielhaften Werten verschiedener Nutzungsstrukturen in der Ist Situation und unter einem mittleren Klimawandelszenario.

Die höchsten Temperaturen treten mit >20°C in den stark verdichteten Bereichen und resultieren aus dem hohen Bauvolumen und Oberflächenversiegelungsgrad. Diese Gebiete werden zukünftig unter Klimawandelbedingungen noch wärmer mit > 20 °C. Der Zentrumsbereich in Liestal tritt mit 19 bis 20°C bereits in der Ist-Situation aufgrund des Wärmespeichervermögens der Gebäude deutlich hervor. Je nach Bauvolumina und Durchgrünungsgrad stufen sich die Temperaturen der einzelnen Bebauungsstrukturen dann weiter ab. Der in den Abbildung 19 und Abbildung 20 als Gewerbe gekennzeichnete Bereich ist mit 18,4 bis 19°C noch deutlich wärmer als die stark durchgrünte Einfamilien- und Zeilenhausbebauung im Süden vom Zentrum in Liestal mit 15,3 bis 16,8 °C (vgl. Abbildung 19). Unter Klimawandelbedingungen erhöhen sich die Temperaturwerte, v.a. ist eine erhöhte Temperaturzunahme in den Baustrukturen, die einen hohen Versiegelungsgrad und Bauvolumina aufweisen, zu verzeichnen. Dazu zählen die Straßenräume, die Gewerbegebiete und der Innenstadt-/Zentrumsbereich.

Im nächtlichen Temperaturfeld treten unbebaute, vegetationsgeprägte Freiflächen mit deutlich geringeren Werten hervor. Die niedrigsten Temperaturen im Untersuchungsgebiet sind mit weniger als 7°C über ausgedehnten landwirtschaftlich genutzten Arealen im Umland in höheren Lagen zu verzeichnen. Ähnlich geringe Werte können in Bereichen von Senken auftreten, in denen sich Kaltluft aufgrund ihrer – im Vergleich zu wärmeren Luftmassen – höhere Dichte sammelt. In Wäldern dämpft das Kronendach die nächtliche Ausstrahlung und damit auch ein stärkeres Absinken der bodennahen Lufttemperatur, sodass in 2 m ü. Gr. Temperaturwerte um 13,4 bis 14,4 °C erreicht werden (Abbildung 19). Verglichen mit den weitläufigen Freiräumen des Umlandes weisen innerstädtische Grünflächen ein höheres Wertespektrum auf (z.B. *Grünflächen im Kantonsspital Baselland in Liestal mit angrenzender Pfarrei Bruder Klaus*), wobei eine Abhängigkeit von ihrer Größe und Grünstruktur besteht. So sinkt die Temperatur über kleineren

Grünflächen nur selten unter 14°C, da sie in eine insgesamt wärmere Umgebung eingebettet sind. Nichtsdestotrotz kühlen sie die umliegenden Siedlungsflächen ab.

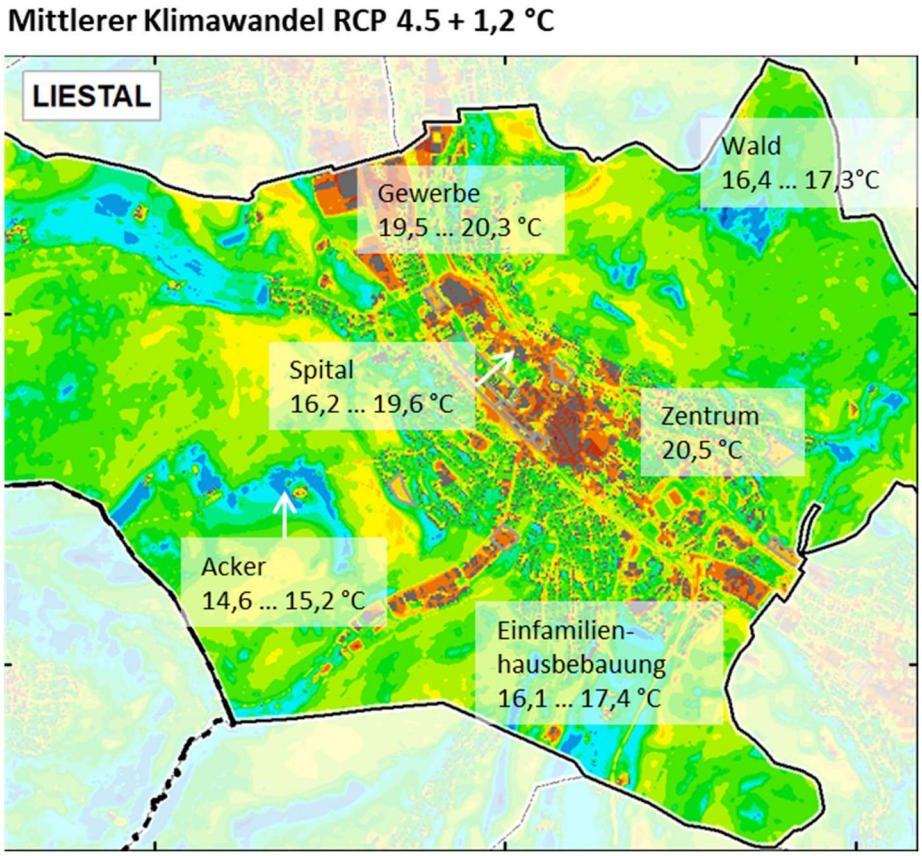


Abbildung 20: Nächtliches Temperaturfeld in Liestal mit beispielhaften Werten verschiedener Nutzungsstrukturen unter mittleren Klimawandelbedingungen.

In der Zukunft nehmen auch die Temperaturen über den Grünflächen im Siedlungsgebiet zu, allerdings ist es im Verhältnis weniger für Flächen, die mit vielen Bäumen bestanden sind.

4.2 KALTLUFTSTRÖMUNGSFELD

4.2.1 ALLGEMEINES

Die Kaltluftströmung ist in der vorliegenden Untersuchung ein wichtiger Parameter zur Beurteilung des Kaltlufthaushaltes, wobei sich vor allem die Luftaustauschprozesse am Siedlungsrand erst in der zweiten Nachthälfte vollständig entwickeln. Diese Windsysteme können Kaltluft transportieren.

Die variable bodennahe Lufttemperaturverteilung bedingt horizontale und vertikale Luftdruckunterschiede, welche wiederum Auslöser für lokale thermische Windsysteme sind. Die wichtigsten nächtlichen Luftströmungen dieser Art sind Hangabwinde und Flurwinde – erstgenannte treten im Untersuchungsgebiet aufgrund der vergleichsweise hohen Reliefenergie häufiger auf.

Ab einer Geländeneigung von ein bis zwei Grad setzen nach Sonnenuntergang über natürlichen Oberflächen abwärts gerichtete Strömungen ein, weil die hangnahe Luft durch nächtliche Ausstrahlung stärker abkühlt als die freie Luft in gleicher Höhe. Aufgrund ihrer höheren Dichte fließt die kühlere Bodenluft hangabwärts. Die Ausprägung dieses kleinräumigen Phänomens wird in erster Linie durch das Temperaturdefizit zur umgebenden Luft und durch die Neigung des Geländes bestimmt (Kuttler 2009).

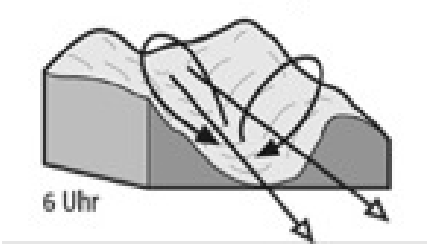


Abbildung 21: Prinzip des Hangab- und Talwind in der Nacht. Quelle: Schönwiese 2013

Hangabwinde (siehe Abbildung 21) erreichen maximale Abflussgeschwindigkeiten von etwa 3 m s^{-1}, ihre vertikale Mächtigkeit liegt zumeist unterhalb von 10 m (Kuttler 2009; Schönwiese 2013). In ebenen Lagen bilden sich unter günstigen Bedingungen sogenannte ***Flurwinde*** aus, die radial auf einen überwärmten Raum ausgerichtet sind (siehe auch Abbildung 1). Flurwinde entstehen, wenn sich infolge der Überwärmung von überbauten oder versiegelten Gebieten gegenüber dem Umland ein lokales thermisches Tief aufbaut. Der resultierende Druckgradient kann daraufhin durch einströmende kühlere Luftmassen aus dem Umland ausgeglichen werden. Flurwinde sind eng begrenzte, oftmals nur gering ausgeprägte Strömungsphänomene (Geschwindigkeit i.d.R. deutlich < 2 m s^{-1}.), die bereits durch einen schwachen überlagernden Wind überdeckt werden können. Kleinräumige Strömungsphänomene, die zwischen einzelnen strukturellen Elementen innerhalb der Siedlung auftreten, werden ***Strukturwinde*** genannt.

Den hier beschriebenen Phänomenen kommt eine besondere landschaftsplanerische Bedeutung zu. Größere Siedlungen wirken aufgrund ihrer hohen aerodynamischen Rauigkeit als Strömungshindernisse. Aus diesem Grund sind die Durchlüftung der Siedlungskörper und ihr Luftaustausch mit dem Umland generell herabgesetzt. Die Abfuhr von schadstoffbelasteten und überwärmten Luftmassen in den Straßenschluchten kann in Abhängigkeit von 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 frischer und kühlerer Luft eine bedeutende klima- und immissionsökologische Ausgleichsleistung für die Belastungsräume erbringen.

4.2.2 ERGEBNISSE KALTLUFTSTRÖMUNGSFELD

Da der Kanton BL von einer Vielzahl von dicht bebauten Gemeinden geprägt ist, v.a. in unmittelbarer Nähe zum Kanton BS , gibt es eine Vielzahl von ausgeprägten Kaltluftleitbahnsystemen, die jedoch als Hangabwinde nicht bis direkt ins Zentrum der Gemeinden reichen. Die oben beschriebenen thermisch induzierten Flurwinde treten aufgrund der hohen Reliefenergie in BL eher selten auf. Diese sind v.a. im flacheren Rheintal bspw. bei Allschwil zu finden.

Abbildung 22 zeigt das für den Zeitpunkt 04:00 Uhr modellierte Strömungsfeld für den Ausschnitt Liestals, das sich während einer sommerlichen austauscharmen Strahlungswetternacht ausgebildet hat. Die momentane Strömungsrichtung und Strömungsgeschwindigkeit wird über die Pfeilrichtung und Pfeillänge in Form von Vektoren dargestellt[3]. Im Strömungsfeld sind die Hinderniswirkung der Gebäude und die daraus resultierende Umlenkung der Strömung gut zu erkennen[4].

[3] Bei gesamtstädtischer Betrachtung bzw. einem kleineren Maßstab werden die Pfeile für eine übersichtlichere Darstellung in geringerer Auflösung abgebildet, hier im 100x100m Raster (vgl. Abbildung A 3 im Anhang mit 200x200m Auflösung).

[4] Einzelne Gebäude werden in den Modellergebnissen fälschlicherweise überströmt, doch handelt es sich dabei um Ausnahmefälle.

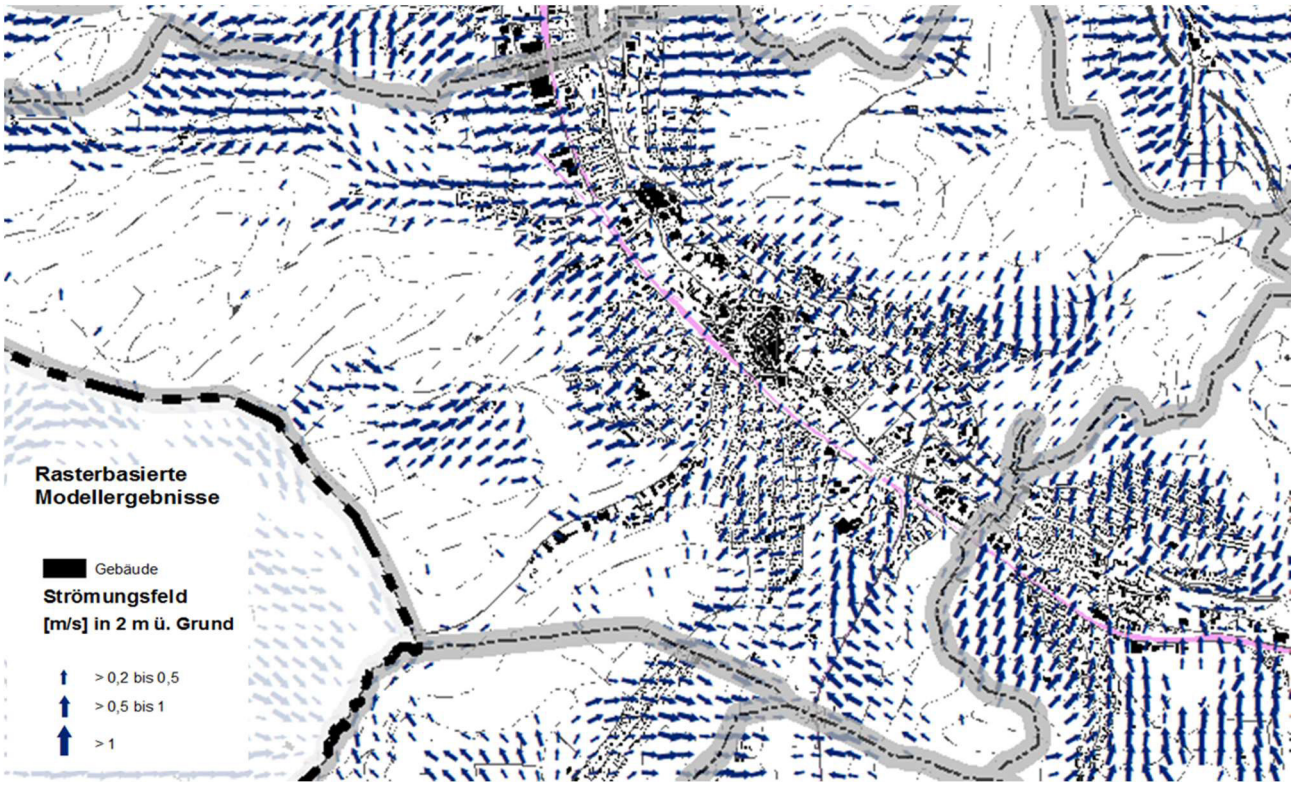


Abbildung 22: Nächtliches Strömungsfeld für den Ausschnitt Liestal

Abgebildet sind alle Rasterzellen mit einer Windgeschwindigkeit von mindestens 0,2 m s^{-1} (in einer 100x100m Auflösung), für die unter Berücksichtigung der gebietstypischen Ausprägung eine potenzielle klimaökologische Wirksamkeit angenommen werden kann.

Die für das 2 m-Niveau wiedergegebenen Strömungsgeschwindigkeiten reichen von vollkommener Windstille bis zu reliefbedingten Maximalwerten von ca. 2,9 m s^{-1} unterhalb des Hümpelihofes, an dem sich eine offene Freifläche angliedert, die gut überströmt werden kann.

In der Abbildung 22 ist deutlich zu erkennen, dass die locker bebaute Einfamilienhausbebauung südlich des Zentrums von Liestal sehr gut durchströmt wird, generell werden die Hangbereiche von Liestal gut durchströmt, da die kalte Luft dem Gefälle folgend ins Tal fließen kann. Erst im Bereich des Zentrums kommt es zur deutlichen Abbremsung durch die dichte Bebauung und der flachen Talsohle. Aus dem Wald im Nordosten von Liestal tritt Strömung aus.

Betrachtet man die gesamte Kantonale Karte zur nächtlichen Strömung (siehe A4 oder A0-Plot der Klimaanalysekarte Nacht A8) wird ersichtlich, dass die eher ländlich geprägten kleinen Gemeinden, die im Südwesten und Südosten des Kantons liegen (also südlich von Aesch und südlich von Liestal und Gelterkinden), sehr gut durchströmt und durchlüftet werden. Erst dort, wo die Bebauung in den Talsohlen dichter und zusammenhängender wird (südlich und südöstlich der Stadt Basel), besteht die Belüftung noch durch die Hangabwinde, jedoch nicht mehr entlang der Talsohlen. Wie bereits eingangs im Bericht erwähnt (Kapitel 1.2), vermerkt auch der Begleittext zur Klimaanalyse der Region Basel (Fehrenbach 1998, 56ff), dass Anschlüsse an Kaltluftleitbahnen wiederhergestellt werden sollten, da viele Talsohlen eine geringe Durchlüftung aufweisen aufgrund der dichten Bebauung.

Thermisch induzierte lokale Flurwind- und Strukturwindsysteme sind gut zu identifizieren anhand der kühleren ausströmenden Luft, bspw. strömt die kalte Luft radial aus dem Hardwald oder Rütihard in Muttenz in die angrenzende Bebauung aus.

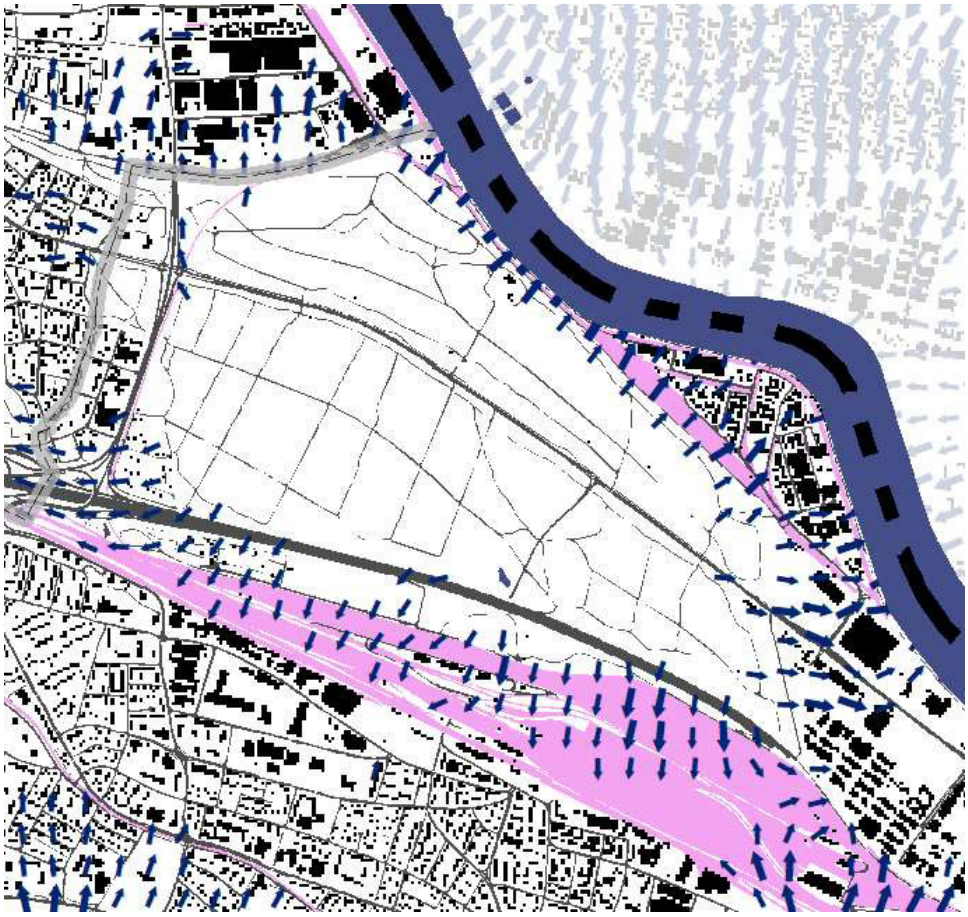


Abbildung 23: Strukturwinde aus dem Hardwald in Muttenz. Alle Strömungsvektoren fließen radial aus dem Hardwald in die angrenzende Bebauung

Der Rhein ist eine rauigkeitsarme Struktur und könnte damit eine gute Kaltluftleitbahn sein. In BL gibt es jedoch keinen Rheinabschnitt, der bei einer autochthonen Wetterlage eine Leitbahn ist. Der Rhein funktioniert bei anderen Wetterlagen als Ventilationsbahn oder Durchlüftungsschneise. Da die anderen Flusstäler der Birsig, Birs und Ergolz stark zugebaut sind, funktionieren die Täler nicht mehr für den Weitertransport der Kaltluft.

Als rauigkeitsarme Strukturen dienen auch Straßen und Eisenbahnschienen. Diese können die Kaltluft auch weiter in die Gemeinden hineinbefördern wie bspw. Die Reinacherstraße in Therwil oder die Birsigtalstraße in Reinach oder Waldenburgerstraße und Teile der Hauptstraße in Liestal.

Das Ergebnis der Klimawandelrechnung zeigt eine Abnahme der Strömung in den Entwicklungsgebieten wie bspw. Zollweiden in Münchenstein. Je nach Art der Bebauung auf den Entwicklungsflächen kann die Be- und Durchlüftung mit Kaltluft weiter herabgesetzt oder komplett abgeschnitten werden. Weitere Änderungen sind im Kanton BL nicht zu sehen, denn der größte Teil der Kaltluftzufuhr stammt von Hangabwinden.

4.3 KALTLUFTVOLUMENSTROM

4.3.1 ALLGEMEINES

Wie bereits im Kapitel 3.2 zum autochthonen Windfeld erläutert, kommt den lokalen thermischen Windsystemen eine besondere Bedeutung beim Abbau von Wärme- und Schadstoffbelastungen größerer

Siedlungsräume zu. Weil die potenzielle Ausgleichsleistung einer grün dominierten Fläche aber 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 der Kaltluftvolumenstrom das Produkt aus der Fließgeschwindigkeit der Kaltluft, ihrer vertikalen Ausdehnung (Schichthöhe) und der horizontalen Ausdehnung des durchflossenen Querschnitts (Durchflussbreite) dar. Er beschreibt somit diejenige Menge an Kaltluft in der Einheit m^3, die in jeder Sekunde durch den Querschnitt beispielsweise eines Hanges oder einer Leitbahn fließt (vgl. Abbildung 24). Da die Modellergebnisse nicht die Durchströmung eines natürlichen Querschnitts widerspiegeln, sondern den Strömungsdurchgang der gleichbleibenden Rasterzellenbreite (hier 10 m), ist der resultierende Parameter streng genommen nicht als Volumenstrom, sondern als rasterbasierte Volumenstrom-*Dichte* aufzufassen.

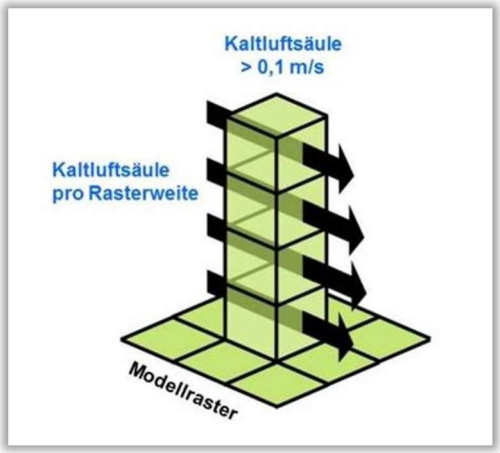


Abbildung 24: Prinzipskizze Kaltluftvolumenstrom

Dieser Wert kann über ein 10 m breites, quer zur Luftströmung hängendes Netz veranschaulicht werden, das ausgehend von der Obergrenze der Kaltluftschicht bis hinab auf die Erdoberfläche reicht. Wird nun die Menge der pro Sekunde durch das Netz strömenden Luft bestimmt, ist diese als rasterbasierte Volumenstromdichte zu verstehen.

Wie auch die anderen Klimaparameter ist der Kaltluftvolumenstrom eine Größe, die während der Nachtstunden in ihrer Stärke und Richtung veränderlich ist. Der jeweilige Beitrag beschleunigender und bremsender Faktoren zur Dynamik der Strömung wird unter anderem stark von der bisherigen zeitlichen Entwicklung des Abflusses beeinflusst. So können sich beispielsweise die Kaltluftströmungen über einer Fläche im Laufe der Nacht dadurch ändern, dass die Fläche zunächst in einem Kaltluftabflussgebiet und später in einem Kaltluftsammelgebiet liegt. Letzteres kann als Hindernis auf nachfolgende Luftmassen wirken und von diesen über- oder umströmt werden. 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 – wobei die Kaltluft selber auf alle diese Parameter modifizierend einwirken kann.

Gebäude, Mauern oder Straßendämme können als Strömungshindernisse wirken und luvseitig markante Kaltluftstaus auslösen. Werden die Hindernisse von größeren Luftvolumina über- oder umströmt, kommt es im Lee zu bodennahen Geschwindigkeitsreduktionen, die in Verbindung mit vertikalen oder horizontalen Verlagerungen der Strömungsmaxima stehen kann. Die Eindringtiefe von Kaltluft in bebautes Gebiet hängt

wesentlich von der Siedlungsgröße, Bebauungsdichte, anthropogenen Wärmefreisetzung und der Menge einströmender Kaltluft ab.

4.3.2 ERGEBNISSE KALTLUFTVOLUMENSTROM

Die räumliche Ausprägung des Kaltluftvolumenstroms im Untersuchungsraum folgt im Wesentlichen dem Muster des Kaltluftströmungsfeldes (siehe Abbildung A4 und A5 im Anhang).

Die geringsten Werte finden sich in den Talsohlen der Birsig, Birs und Ergolz wieder. Vor allem die südlich an Basel angrenzenden Gemeinden weisen einen sehr geringen Kaltluftvolumenstrom auf. Aufgrund der bereits mehrfach beschriebenen Hinderniswirkung der Bebauung werden sie nur gering durchlüftet und die Kaltluft kann seine klimaökologische Kühlwirkung entfalten. Aber auch auf flachen Höhenzügen oder Gipfeln ist der Kaltluftvolumenstrom reduziert, da die Kaltluft an Ort und Stelle verbleibt und nicht abfließt.

Die Kaltluft, die auf Freiflächen entsteht, die unmittelbar an den Siedlungsraum grenzen, strömt als Ausgleichsleistung in Richtung der Siedlungsgebiete und sorgt besonders in Hanglagen für die höchsten Kaltluftvolumenstromwerte. Zu nennen sind hier jeweils die engen Oberläufe der Flusstäler Birsig, Birs, Ergolz, die stark eingeschnitten sind und wo die dort vorhandenen Ortslagen von den Hangabflüssen versorgt werden. Auch die ausströmende Kaltluft aus dem Hardwald versorgt die südöstlichen Randlagen von Muttenz. Hier kann die Kaltluft auch weit in die Bebauung eindringen, da diese sehr durchlässig ist.

Im Laufe einer (autochthonen) Sommernacht steigt die Kaltluftmächtigkeit i.d.R. an, sodass geringe Hindernisse überwunden werden können. Beispielsweise können einzelne Grünflächen, die zwar nicht zusammen hängen, aber räumlich nahe liegen und durch nur wenige Hindernisse getrennt sind, als Trittsteine für Kaltluft dienen. Folglich sind die in das Siedlungsgebiet reichenden Kaltluftvolumenströme ausgeprägter als die Windgeschwindigkeiten in der Darstellung des Kaltluftströmungsfeldes (siehe vorangegangenes Kapitel 4.2).

Über Waldarealen treten geringe Kaltluftvolumenströme auf, doch können diese in Siedlungsnähe ebenfalls Ausgleichsleistungen bereitstellen, wenngleich weniger stark ausgeprägt als über Freiflächen. Die Kaltluft entsteht über dem Kronendach des Waldes, sinkt aufgrund ihrer höheren Dichte dann in den Wald ein und bleibt aufgrund der Baumstämme (Strömungshindernis) hängen. Am Waldrand kommt es jedoch zu deutlichem Kaltluftabfluss. Der Hardwald in Muttenz ist dafür ein gutes Beispiel (vgl. Abbildung 23).

In der Zukunft ändert sich an dem Kaltluftvolumenstromprozessgeschehen nichts Grundlegendes, außer es wird in den Kaltluftschneisen und Hangabwindbereichen (flächenhafter Kaltluftabfluss) gebaut und die Kaltluft kann nicht weiterströmen sondern wird abgebremst.

4.4 THERMISCHE BELASTUNG AM TAGE

4.4.1 ALLGEMEINES

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 abschätzen[5]. Beispiele für solche Kenngrößen sind der PMV-Wert (*Predicted Mean Vote*) und der UTCI (*Universal Thermal Climate Index*) oder die PET (*Physiologisch Äquivalente Temperatur*).

In der vorliegenden Arbeit wird zur Bewertung der Tagsituation der humanbioklimatische Index PET um 14:00 Uhr herangezogen (Mayer und Höppe 1987).

Tabelle 5: Zuordnung von Schwellenwerten für den Bewertungsindex PET während der Tagesstunden (nach VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 11/2008).

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

Gegenüber vergleichbaren Indizes hat dieser den Vorteil, aufgrund der °C-Einheit auch von Nichtfachleuten besser nachvollzogen werden zu können. Darüber hinaus handelt es sich bei der PET um eine Größe, die sich in der Fachwelt zu einer Art „Quasi-Standard“ entwickelt hat, sodass sich die Ergebnisse aus dem Kanton BL mit denen anderer urbanen Gebieten vergleichen lassen. Wie die übrigen humanbiometeorologischen Indizes bezieht sich die PET auf außenklimatische Bedingungen und zeigt eine starke Abhängigkeit von der Strahlungstemperatur (Kuttler 2009). Mit Blick auf die Wärmebelastung ist sie damit vor allem für die Bewertung des Aufenthalts im Freien am Tage sinnvoll einsetzbar.

Für die PET existiert in der VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 -Richtlinie eine absolute Bewertungsskala, die das thermische Empfinden und die physiologische Belastungsstufen quantifizieren (z.B. *Starke Wärmebelastung* ab PET 35 °C; Tabelle 5).

4.4.2 ERGEBNISSE

Im Vergleich zur Lufttemperatur weist die PET eine höhere Spannbreite im Untersuchungsgebiet auf (siehe Abbildung A6 und A7 im Anhang). PET-Werte ≤ 23 °C (*keine Wärmebelastung*) sind v.a. in höheren Lagen im Süden des Kantonsgebietes oder in Waldgebieten oder beidem zu finden.

[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).

Flächenhaft heben sich Waldgebiete mit einer *schwachen Wärmebelastung* ab (PET ≤ 29 °C) wie bspw. Der Hardwald in Muttenz. Der Aufenthaltsbereich des Menschen in 2 m ü. Gr. liegt unterhalb des Kronendachs und ist somit vor direkter Sonneneinstrahlung geschützt, sodass Wälder als Rückzugsorte dienen können.

Der Siedlungsraum in unmittelbarer Nähe zu BS und entlang des Ergolztales weist bereits eine *starke Wärmebelastung* auf. Ebenso die Gemeinden Grellingen und Pfeffingen an der Grenze zu Solothurn.

Die höchsten Werte werden über versiegelten Gewerbegebieten und dem Straßenraum erreicht (bis zu mehr als *41 °C PET; extreme Wärmebelastung*), wie an der A3 südlich des Hardwaldes oder der Hafen Birsfelden. Durch die ungehinderte Sonneneinstrahlung (ohne Verschattung) erreicht die thermische Belastung am Tag über unversiegelten Freiflächen (z.B. Sportplätze oder Ackerflächen) ähnlich hohe Werte. Innerhalb der Gemeinden, bspw. Liestal, zeichnen sich stark durchgrünte Bereiche wie beim Kantonsspital, und dem Friedhof in Liestal mit einer vergleichsweise geringen Wärmebelastung aus.

Unter Klimawandelbedingungen bis 2035 (vgl. Abbildung A 7 im Anhang) nehmen flächendeckend die PET-Werte in unterschiedlicher Relation zu. Die niedrigste Kategorie ist die *mäßige Wärmebelastung.* Die meisten Siedlungsbereiche und Gemeinden sortieren sich nun bereits in der Kategorie *starke Wärmebelastung* ein.

Die Grünflächen verzeichnen auch einen Anstieg der Wärmebelastung, jedoch nicht so stark wie die Siedlungsbereiche. So rutschen beispielsweise die Wälder in den höheren Lagen (Südosten des Kantons) in eine *mäßige Wärmebelastung*. Ackerflächen sind tagsüber mit einer *extremen Wärmebelastung* ausgewiesen, da es keine Verschattung gibt.

5 Klimaanalysekarten

5.1 VORGEHENSWEISE

Um Aussagen über Funktionszusammenhänge treffen zu können, müssen unterschiedliche Flächeneinheiten von Grünarealen einerseits und bebauten Bereichen andererseits in ihren klimatischen Merkmalen untereinander abgrenzbar sein. Zum Beispiel ist die Kaltluftlieferung von Grünflächen sehr unterschiedlich ausgeprägt, auch in den urbanen Siedlungsflächen kann die bioklimatische Situation je nach Bebauungsstruktur und Lage im Raum stark variieren. Um diese Heterogenität in den Klimaanalyse- bzw. Planungshinweiskarten darstellen zu können, wurden Blockflächen anhand ihrer Nutzungsinformationen unterschieden und ihnen jeweils die Ergebnisse der Klimaparameter aus der Modellrechnung zugeordnet (Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit, Kaltluftvolumenstrom, Kaltluftproduktionsrate, PET).

Die Klimaanalysekarte[6] für die Nachtsituation bildet die Funktionen und Prozesse des nächtlichen Luftaustausches im gesamten Untersuchungsraum ab (Strömungsfeld, Kaltluftleitbahnen). Für Siedlungs- und Gewerbeflächen stellt sie die nächtliche Überwärmung dar (Wärmeinsel), basierend auf der bodennahen Lufttemperatur in einer autochthonen Sommernacht um 04:00 Uhr morgens. Für die Tagsituation wurde keine separate Klimaanalysekarte erstellt, da die Wärmebelastung auf Grün-, Siedlungs- und Gewerbeflächen sowie dem Straßenraum auf den Ergebnissen der PET beruht (siehe Kapitel 4.4 und Abbildung A6 und A7 im Anhang).

5.2 NACHTSITUATION

5.2.1 BIOKLIMATISCHE BELASTUNG IN DEN SIEDLUNGS- UND GEWERBEFLÄCHEN

Die nächtliche Überwärmung des Siedlungskörpers wird über den ***Wärmeinseleffekt*** dargestellt (auch Hitzeinseleffekt, siehe Bundesamt für Umwelt (BAFU) 2018). Der Wärmeinseleffekt beruht auf dem Temperaturunterschied zwischen unversiegelten Freiflächen und den Siedlungsflächen. Die Freiflächen im Untersuchungsgebiet wurden nach Höhenstufen ausgewertet und die Abweichung zu dem Mittelwert der Grünflächen je Höhenstufe für den Siedlungsraum bestimmt (siehe Abbildung A8 und A9 im Anhang). Der Wärmeinseleffekt ergibt sich als Abweichung von diesem Bezugswert und ordnet die absoluten Temperaturwerte der Siedlungen dem Wärmeinseleffekt zu. Der Wärminseleffekt reicht dabei sowohl in der Ist- als auch in der Zukunftsbetrachtung bis 6 K. Die Verteilungsmuster bleiben erhalten.

5.2.2 KALTLUFTEINWIRKBEREICH

Siedlungsräume lassen sich in ausreichend durchlüftete Areale und damit meist klimatisch günstige Siedlungsstrukturen sowie klimatische Belastungsbereiche untergliedern. Der ***Kaltlufteinwirkbereich*** kennzeichnet das bodennahe Ausströmen der Kaltluft aus den Grünflächen in die angrenzende Bebauung während einer autochthonen Sommernacht. Damit geht einher, dass die im Einwirkbereich befindliche Bebauung in der Nacht vergleichsweise günstigere Verhältnisse aufweist. Als Kaltlufteinwirkbereich sind Siedlungs- und Gewerbeflächen innerhalb des Siedlungsgebietes gekennzeichnet, die von einem überdurchschnittlich hohen Kaltluftvolumenstrom > 24,5 $m^3 s^{-1}$ durchflossen werden in der Ist-Situation und 20,5 $m^3 s^{-1}$ in der Zukunftsrechnung (Mittelwert des Kaltluftvolumenstroms über alle Flächen im Kantonsgebiet) und eine Fließgeschwindigkeit von > 0,2ms^{-1} aufweisen. Dabei erfolgt die Darstellung rastergenau auf Ebene der Modellergebnisse, d.h. ggf. werden nur Teile einer Blockfläche als Kaltlufteinwirkbereich ausgewiesen.

Hauptsächlich werden die Siedlungsbereiche, die sich an Hängen befinden stark durchströmt wie bspw. Im Birsig-, Birs- und Ergolztal und ihren Zuflüssen. Oftmals ist es der flächenhafte Kaltluftabfluss, der auf die

[6] Die Klimaanalysekarte ersetzt nach VDI-Richtlinie 3787, Blatt 1 die ehemalige synthetische Klimafunktionskarte.

Siedlungsgebiete trifft, also sind es oftmals Flächen in den Randbereichen – im Stadtkern lassen sich keine Kaltlufteinwirkbereiche mehr finden.

5.2.3 KALTLUFTPROZESSGESCHEHEN ÜBER GRÜN- UND FREIFLÄCHEN

In der Klimaanalysekarte werden Grün- und Freiflächen hinsichtlich ihres Kaltluftliefervermögens charakterisiert. Als Kaltluft produzierende Bereiche gelten insb. unversiegelte Freiflächen (z.B. Ackerflächen) sowie durch aufgelockerten Vegetationsbestand geprägte Grünflächen wie z.B. Parkareale, Kleingärten und Friedhofsanlagen (sowohl innerhalb als auch außerhalb der Siedlungsräume), doch auch Wälder können als Kaltluftentstehungsgebiete fungieren. Für die Charakterisierung der Ausgleichsleistung wird in der Klimaanalysekarte der Kaltluftvolumenstrom herangezogen. Er drückt den Zustrom von Kaltluft aus den benachbarten Rasterzellen aus (vgl. Kap. 4.3).

In der Klimaanalysekarte wird das Prozessgeschehen des Kaltlufthaushalts dargestellt, d.h. der Kaltluftvolumenstrom wird in Form quantitativer Angaben in abgestufter Flächenfarbe abgebildet, ohne eine Bewertung vorzunehmen (Abbildung A 8 und A 9 im Anhang). Zudem werden über Grünflächen und Gewässern sowie Straßen- und Gleisflächen ***Flurwinde*** ab einer (als wirksam angesehenen) Windgeschwindigkeit von 0,2 m s^{-1} durch Pfeilsignatur in Hauptströmungsrichtung gezeigt, sofern sie eine bedeutende Rolle für das Kaltluftprozessgeschehen spielen.

Kaltluftleitbahnen verbinden Kaltluftentstehungsgebiete (Ausgleichsräume) und Belastungsbereiche (Wirkungsräume) miteinander und sind somit elementarer Bestandteil des Luftaustausches. Die Ausweisung der Leitbahnbereiche orientiert sich am autochthonen Strömungsfeld der FITNAH-Simulation. Als geeignete Oberflächenstrukturen innerhalb von Siedlungsräumen, die ein Eindringen von Kaltluft in die Bebauung erleichtern, dienen sowohl gering bebaute vegetationsgeprägte Freiflächen, Kleingärten und Friedhöfe als auch Gleisareale, Wasserflächen und breite Straßenräume. Da Leitbahnen selbst ebenfalls Kaltluft produzieren können, lassen sich Freiflächen, von denen Kaltluft direkt in die Bebauung strömt, nicht immer trennscharf abgrenzen von Leitbahnen, die als mehr oder weniger reine „Transportwege“ fungieren. Kaltluftleitbahnen sind vorwiegend thermisch induzierte und auf das Siedlungsgebiet ausgerichtete linienhafte Strukturen, die Flurwinde in das Siedlungsgebiet hineintragen, während Kaltluftabflüsse flächenhaft über unbebauten Hangbereichen auftreten. Daher wird in der Karte zwischen flächenhaftem -(Hangabfluss) und linienhaften Kaltluftabfluss (Leitbahnen) unterschieden.

Prozessräume der Kaltluftleitbahnen kennzeichnen die Einzugsgebiete der Kaltluftleitbahnen und werden anhand des Wasserscheidenprinzipes nach King 1973 abgegrenzt. Sie weisen die Bereiche aus, die ein ähnliches Strömungsmuster aufweisen und zum Einzugsgebiet einer Kaltluftleitbahn gehören. Diese Prozessräume gehen aufgrund dessen, dass sie anhand der Orographie abgegrenzt werden, über die administrativen Grenzen hinaus, auch über die Kantonsgrenzen von BL. Daher können bauliche Vorhaben, die außerhalb von Basel-Landschaft in diesen Prozessräumen stattfinden, negativen Einfluss auf das Baselbieter haben.

Kaltluftentstehungsgebiete kennzeichnen Grünflächen mit einem überdurchschnittlichen Kaltluftproduktionsrate, die Kaltluftleitbahnen speisen (Flurwinde zeigen in Richtung der Kaltluftleitbahnen) bzw. über diese hinaus bis in das Siedlungsgebiet reichen. Grünflächen wurden als Kaltluftentstehungsgebiete gekennzeichnet, wenn sie mehr als 16,6 m^3/m^2h Kaltluft in der Ist-Situation produzieren und > 17,5 m^3/m^2h in der Zukunftssituation (siehe Karten im Anhang A8 bis A11).

5.3 TAGSITUATION

Zur Bestimmung der ***Aufenthaltsqualität am Tage*** ist die PET, als thermischer Index zur Kennzeichnung der Wärmebelastung, der maßgebende Parameter (vgl. Kap. 4.4 und die Kartenabbildungen im Anhang A6 und A7).

6 Planungshinweiskarten

Analog zu den Klimaanalysekarten wurde jeweils eine separate Planungshinweiskarte (PHK) für die Nacht- und Tagsituation jeweils für die Ist als auch Zukunftssituation unter Klimawandelbedingungen erstellt, die sich jeweils auf das Kantonsgebietes BL beziehen. In Anlehnung an die VDI 3785, Blatt 1-Richtlinie bzw. VDI 3787, Blatt 1 erfolgte eine Bewertung der bioklimatischen Belastung in Siedlungsflächen als ***Wirkungsraum*** bzw. der Bedeutung von Grünflächen als ***Ausgleichsraum***. Ausgehend von ihren Bewertungen werden den Flächen allgemeine Planungshinweise zugeschrieben.

6.1 VORGEHENSWEISE - STANDARDISIERUNG DER PARAMETER (Z-TRANSFORMATION)

Die Modellergebnisse und Klimaanalysekarten bilden das Prozessgeschehen in Form absoluter Werte ab – diese gelten jedoch nur für den Zustand einer autochthonen Sommerwetterlage. Die Bewertung in den Planungshinweiskarten fußt dagegen auf den relativen Unterschieden der meteorologischen Parameter zwischen den Flächen, um losgelöst von einer bestimmten Wetterlage Belastungen beschreiben und Planungshinweise ableiten zu können.

Für die qualitative Bewertung von Klimafaktoren bedarf es eines begründeten, nachvollziehbaren Bewertungsschlüssels. Da die Klimaparameter Lufttemperatur, PET, Kaltluftvolumenstromdichte aufgrund ihrer räumlichen Verortung nicht unmittelbar zwischen verschiedenen Städten vergleichbar sind da sich das Wertespektrum deutlich unterscheidet, ist die Einordnung der Werte in Kategorien wie *Hoch* und *Niedrig* oder *Günstig* und *Ungünstig* nicht einfach und autoplausibel. Die VDI 3785, Blatt 1-Richtlinie gibt als Lösung vor, eine Beurteilung des lokalen bzw. regionalen Werteniveaus der Klimaanalyse zugrunde zu legen indem eine Standardisierung der Werte mit einer **z-Transformation** vorgenommen wird und erst danach die Einteilung in Bewertungsklassen erfolgt:

$$z = \frac{x - \bar{x}}{s}$$

wobei x der Wert eines Klimaparameters ist, $\bar{x}$ der Mittelwert ist und s die Standardabweichung. Nach der Transformation der Daten schwanken diese negativ oder positiv um den Mittelpunkt, der nun bei 0 liegt. Es kann nun anhand dieser standardisierten Werteverteilung eine Zuordnung in Bewertungsklassen erfolgen, standardmäßig sind es vier, siehe Abbildung 25 mit dem Mittelwert bei 0 und oberer und unterer S_1-Schranke, in diesem Projekt sind es fünf Klassen.

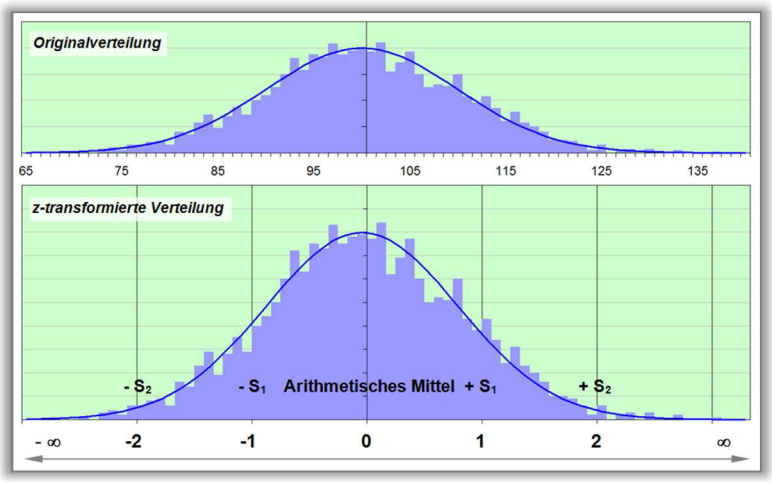


Abbildung 25: Veranschaulichung der Standardisierung zur vergleichenden Bewertung von Parametern (z-Transformation)

Um die beiden FITNAH-Modellierungen für die Ist und Zukunftssituation besser vergleichen zu können, wurde die z-Transformation für die Siedlungsflächen mit den Variablenwerten aus beiden Situationen berechnet. Daher ist eine Anpassung der z-Klassengrenzen nötig (siehe die kommenden Unterkapitel).

Die Aufteilung in eine PHK für die Nacht- und eine für die Tagsituation hat den Vorteil, dass die einzelnen Flächen separat bewertet werden und mögliche Maßnahmen entsprechend zugeordnet werden können. Während einige Flächen für beide Zeitpunkte dieselben Tendenzen annehmen – z.B. sind innerstädtische Parkareale sowohl in der Nacht als auch am Tage i.d.R. positiv zu sehen, hochversiegelte Arealbereiche dagegen eher jeweils ungünstig einzustufen – treten andere Flächen auf, die unterschiedliche Bewertungen zu den beiden Zeitpunkten erfahren. So steht bspw. die günstige Wirkung von unversiegelten Freiflächen in der Nacht (Abkühlung, Durchströmbarkeit) einer meist sehr geringen Aufenthaltsqualität am Tage gegenüber. In einer kombinierten PHK für die Nacht- und Tagsituation würden solch verschiedene Bewertungen womöglich zu Lasten der Genauigkeit zu einem mittleren Zustand zusammengefasst. Mit der Aufteilung ist allerdings geboten, beide PHKs bei Bauvorhaben bzw. zur Beurteilung von Flächen(Nutzungsänderungen) zu Rate zu ziehen.

6.2 BEWERTUNG DER SIEDLUNGS- UND GEWERBEFLÄCHEN (WIRKUNSGRAUM)

Der Siedlungsraum stellt den primären Wirkungsraum des klimatischen Prozessgeschehens dar. Im Folgenden wird die Herleitung der bioklimatischen Belastungssituation geschildert.

6.2.1 BEWERTUNG DER NACHTSITUATION

In der Nacht ist weniger der Aufenthalt im Freien Bewertungsgegenstand (entsprechend wurde keine Bewertung des Straßenraums vorgenommen), sondern vielmehr die Möglichkeit eines erholsamen Schlafes im Innenraum. Die Richtlinie VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 weist darauf hin, dass die „Lufttemperatur der Außenluft die entscheidende Größe“ für die Bewertung der Nachtsituation darstellt und näherungsweise ein direkter Zusammenhang zwischen Außen- und Innenraumluft unterstellt werden kann (VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 11/2008, S. 25). Als optimale Schlaftemperaturen werden gemeinhin 16 - 18 °C angegeben (Umweltbundesamt 2016), während *Tropennächte* mit einer Minimumtemperatur ≥ 20 °C als besonders belastend gelten. Eine mit der PET vergleichbare Bewertungsskala existiert für die nächtliche Situation im Innenraum (noch) nicht.

Für die Planungshinweiskarte erfolgte die räumlich differenzierte Bewertung der Nachtsituation daher über die nächtliche Überwärmung. Abweichend zur Klimaanalysekarte liegt der Bewertung eine z-Transformation zugrunde, um die relativen Unterschiede in den urbanen Siedlungsflächen zu erfassen. Dabei wurde die bioklimatische Belastung der Siedlungsflächen zur besseren Differenzierung in fünf Klassen von *Sehr günstig* bis *Sehr ungünstig* eingeteilt (siehe Abbildung A10 und A11 im Anhang). Unbewohnte Gebiete wurden nicht hinsichtlich ihrer bioklimatischen Situation klassifiziert, da sie aufgrund der geringen Betroffenenzahlen in der Nacht eine untergeordnete Rolle im Vergleich zu Wohnbauflächen darstellen. Diese Gebiete sind also in der Nachtkarte ausgegraut.

Weiterhin wurde in der Nacht eine Unterscheidung nach der Relevanz vorgenommen. So wurden Gemeinden erst in die Bewertung und Darstellung einbezogen, wenn sie mindestens 900 m² Anteil an der Klasse: *Sehr ungünstigen bioklimatische Situation* aufweisen und zur Wohn-, Misch- oder Zentrumszonen gehören. Von den anderen Gemeinden ist davon auszugehen, dass sie keine thermische Belastung in der Nacht aufweisen und die Bevölkerung dort einen erholsamen Schlaf findet. Daher sind sie mit einem Grauschleier in der Karte abgedeckt. Da in der Zukunft mehr Gemeinden die Klasse: *sehr ungünstige bioklimatische Situation* aufweisen, sind in der Planungshinweiskarte Zukunft auch mehr Gemeinden

dargestellt. Die Versorgung mit Kaltluft, die auf den Grün- und Freiflächen entsteht, wird also zukünftig wichtiger und gewinnt an Bedeutung.

6.2.2 BEWERTUNG DER TAGSITUATION

Zur Bewertung der Tagsituation wurde der humanbioklimatische Index PET um 14:00 Uhr herangezogen. Für die PET existiert in der VDI-Richtlinie 3787, Blatt 9 eine absolute Bewertungsskala, die das thermische Empfinden und die physiologische Belastungsstufen quantifizieren (vgl. Tabelle 5 auf S. 48; (VDI-Richtlinie 3787, Blatt 9)). Die Bewertung der thermischen Belastung im Kanton BL orientiert sich daran, basiert jedoch letztlich auf einer z-Transformation, um das Verhältnis zwischen den Flächen im urbanen Siedlungsgebiet darstellen zu können (wiederum in fünf Klassen von *Sehr günstig* bis *Sehr ungünstig* (siehe Abbildungen A12 und A13 im Anhang). Am Tage ist die Aufenthaltsqualität auf Straßen, Wegen und Plätzen (kurz: Straßenraum) von Bedeutung, sodass für diese eine Bewertung in denselben fünf Belastungsklassen vorgenommen wurde. Aufgrund der höheren PET-Werte wurden die Grenzen der dabei verwendeten z-Transformation leicht modifiziert.

Die bioklimatische Bewertung am Tage ist ein Maß für die Aufenthaltsqualität in den Siedlungsflächen außerhalb von Gebäuden. Dieses übt einen gewissen Einfluss auf die Situation innerhalb der Gebäude aus, doch hängt das Innenraumklima von vielen weiteren Faktoren ab und kann hier nicht bestimmt werden.

6.3 BEWERTUNG DER GRÜN- UND FREIFLÄCHEN (AUSGLEICHSRAUM)

Im Gegensatz zur Klimaanalysekarte stehen in der Planungshinweiskarte die klimatische Bedeutung von Grünflächen sowie die Ableitung deren Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderungen im Mittelpunkt. Zur Bewertung der klimaökologischen Charakteristika bedarf es in Hinblick auf planungsrelevante Belange einer Analyse der vorhandenen Wirkungsraum-Ausgleichraum-Systeme im Untersuchungsgebiet. Kaltluft, die während einer Strahlungsnacht innerhalb der Freiräume entsteht, kann nur dann von planerischer Relevanz sein, wenn den Flächen ein entsprechender Siedlungsraum zugeordnet ist, der von ihren Ausgleichsleistungen profitieren kann. Für die Bewertung der bioklimatischen Bedeutung von grünbestimmten Flächen wurde ein teilautomatisiertes Verfahren angewendet, das sich wie folgt skizzieren lässt.

Die Grünflächen wurden für die Tag- und Nacht-Situation getrennt bewertet und in vier Stufen von *Gering* bis *Sehr hohe bioklimatische Bedeutung* für die Nacht und in fünf Stufen für die Tagsituation eingeteilt. Die Bewertung ist anthropozentrisch ausgerichtet, d.h. Flächen, die für den derzeitigen Siedlungsraum keine Funktion erfüllen bzw. keinen Ausgleichsraum darstellen, wurden mit keiner Bedeutung bewertet[7]. Im Falle zusätzlicher Bebauung im Bereich dieser Flächen kann sich deren Funktion ändern und muss ggf. neu bewertet werden.

6.3.1 BEWERTUNG DER GRÜNFLÄCHEN IN DER NACHT

Für die Bewertung von Grünflächen in der Nacht rückt der Kaltlufthaushalt in den Fokus und der Abstand zu thermisch belasteten Siedlungsbereichen. So erhielten Kaltluftentstehungsgebiete bzw. Grünflächen als Teil einer Kaltluftleitbahn die höchste Bedeutung (sehr hoch, siehe folgenden Erläuterungstext und Abbildung 26). Auch die Menge der über einer Fläche strömenden Kaltluft spielt eine Rolle. Dazu wurde der Kaltluftvolumenstrom via z-Transformation in vier Klassen von *Gering* bis *Sehr hoch* eingeteilt (siehe Abbildung A10 und A11 im Anhang). Zusätzlich wurde die Entfernung zu belasteten Siedlungsräumen berücksichtigt – da in der Nachtsituation die Möglichkeit eines erholsamen Schlafs im Vordergrund steht, wurden dabei der Bewertung nur Siedlungsflächen ohne reine Gewerbeflächen zugrunde gelegt.

[7] Selbst ohne Siedlungsbezug bzw. Funktion für das Kaltluftprozessgeschehen sind Grünflächen aus klimatischer Sicht bebauten Flächen zu bevorzugen, sodass die Klasse *Sehr geringe Bedeutung* nicht vergeben wurde.

Alle Grünflächen, die einer Gemeinde mit unter 900 m² in der Klasse *sehr ungünstige bioklimatische Situation* zugeordnet werden konnten, haben in der Bewertung „keine Bedeutung“ zugewiesen bekommen. In der Zukunft nehmen diese Grünflächen mit keiner Bedeutung ab, da es mehr Gemeinden gibt, die das Flächenkriterium von 900 m² an *sehr ungünstiger bioklimatischer Situation* vorweisen und dementsprechend auch die Grünflächen bewertet wurden.

Im Einzelnen wurde folgender Bewertungsschlüssel verwendet (vgl. vereinfachte Darstellung in Abbildung 26).

Sehr hohe bioklimatische Bedeutung (4)

a) Grünflächen, die Teil einer *Leitbahn* oder im *Kaltluftentstehungsgebiet (Grünflächen, die im Einzugsgebiet der Kaltluftleitbahn liegen und diese speisen,* Abstand von 300m*)* sind und im Prozessraum einer Gemeinde mit klimatisch planungsrelevanten Gemeinden liegen.

   Leitbahnen verbinden Kaltluftentstehungsgebiete (Ausgleichsräume) und Belastungsbereiche und sind somit elementarer Bestandteil des Luftaustausches. Die Ausweisung der Leitbahnbereiche erfolgte manuell und orientierte sich an der Ausprägung des autochthonen Strömungsfeldes der FITNAH-Simulation. Auch Grünflächen, die als Kaltluftentstehungsgebiete auf das Gemeindegebiet ausgerichtete Leitbahnen speisen, sind von besonderer Bedeutung.

Hohe bioklimatische Bedeutung (3)

b) Grünflächen im Nahbereich von Siedlungsflächen mit *Sehr ungünstiger bioklimatischer Situation* (bis 250 m Entfernung) in der Nacht.

   Grünflächen im Umfeld belasteter Siedlungsräume kommt grundsätzlich eine hohe Bedeutung zu. Zusätzlich zu ihrem Kaltluftliefervermögen wirken sie ausgleichend auf das thermische Sonderklima im meist dicht bebauten Umfeld. Je stärker der Siedlungsraum belastet ist, desto wichtiger sind Grünflächen als Ausgleichsräume, sodass die tolerierbare Entfernung zu diesen gewichtet wurde. Umso größer eine Grünfläche ist, desto weiter reichen ihre ausgleichenden Effekte in das angrenzende Siedlungsgebiet (Kuttler 2011).

c) Grünflächen im Prozessraum einer -klimatisch planungsrelevanten Gemeinde, angrenzend an eine Kaltluftleitbahn (4) oder überdurchschnittliche Kaltluftproduktionsrate oder überdurchschnittlicher Kaltluftvolumenstrom oder

d) Grünfläche mit Hangabfluss

Mittlere bioklimatische Bedeutung (2)

e) Grünflächen im Umfeld von einer -klimatisch planungsrelevanten Gemeinde *mit Sehr ungünstiger bioklimatischer Situation* (bis 500 m Entfernung) in der Nacht.

   Auch ohne Leitbahn-Funktion während autochthoner Sommernächte und direkten Siedlungsbezug können Grünflächen, darunter insb. Freiflächen, während anderer Wetterlagen eine wichtige Rolle für die Durchlüftung einer Siedlung einnehmen.

f) Grünfläche an hohe bioklimatische Bedeutung angrenzend und Kaltluftentstehungsgebiet und überdurchschnittlicher Kaltluftvolumenstrom.

Geringe bioklimatische Bedeutung (1)

g) Übrige Grünflächen, die keine der genannten Kriterien erfüllen, aber im Prozessraum einer klimatisch planungsrelevanten Gemeinde liegen.

Ohne Bedeutung (0)

h) Übrige Grünflächen, die in nicht in einem Prozessraum einer klimatisch planungsrelevanten Gemeinde liegen und auch nicht den oben genannten Kriterien entsprechen.

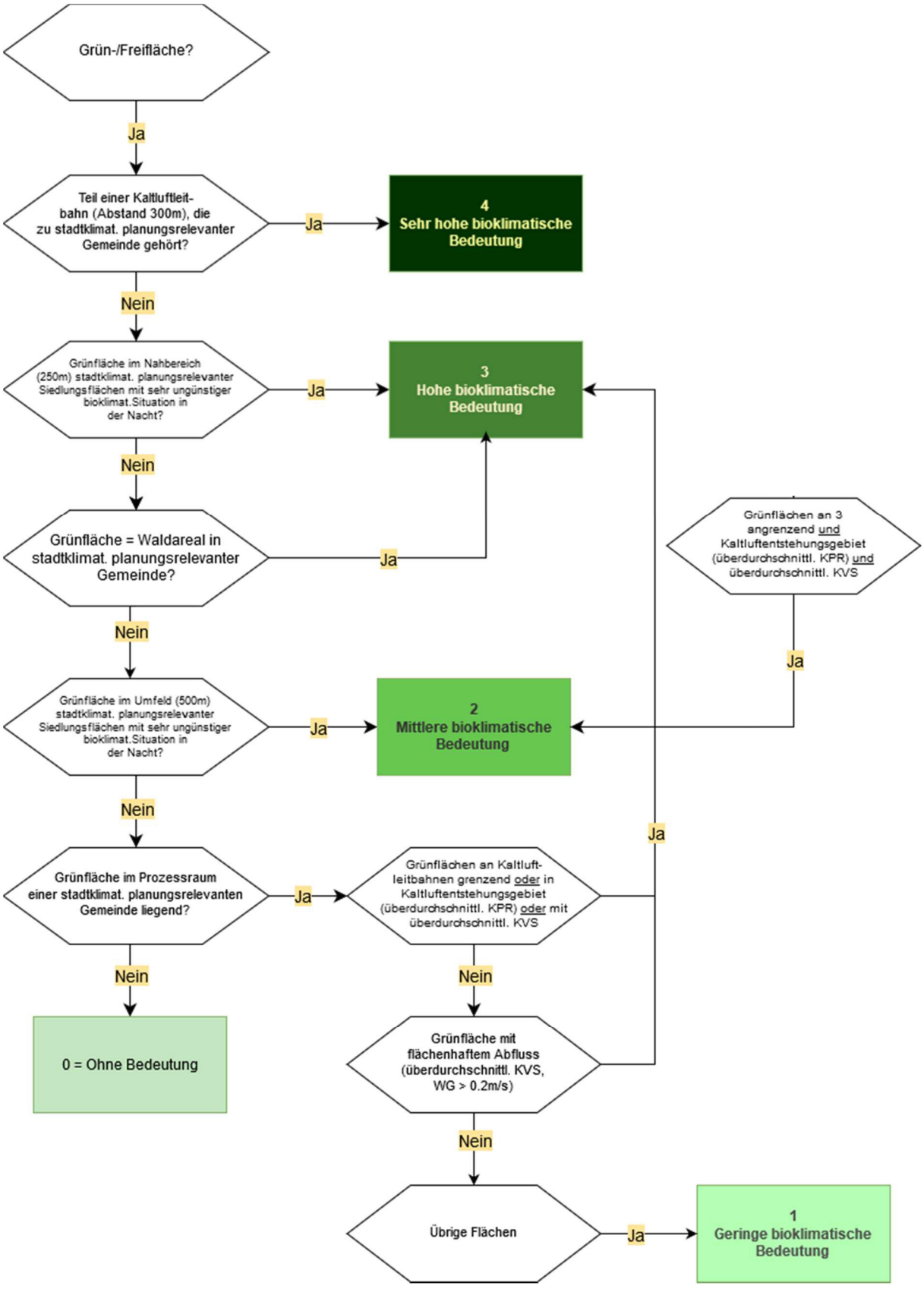


Abbildung 26: Bewertungsschema zur bioklimatischen Bedeutung von Grünflächen in der Nacht

KALTLUFTLEITBAHNEN

Es sind eine Vielzahl von Kaltluftleitbahnen bzw. Kaltluftleitbahnbereiche für das Baselbiet ausgewiesen. Sie verteilen sich um die Gemeindegebiete und sind an Strukturen wie Flussläufe oder weitläufige Grün-/Freiflächen, v. a. in den Hangbereichen gebunden (flächenhafter Kaltluftabfluss).

Das in der Klimaanalysekarte beschriebene Kaltluftprozessgeschehen und damit auch die ausgewiesenen Kaltluftleitbahnen basieren auf der Annahme einer autochthonen Wetterlage. Der Rhein ist keine Kaltluftleitbahn im Kanton BL, er dient eher als rauhigkeitsarme Schneise und ist eine Ventilationsbahn bei anderen Wetterlagen.

6.3.2 BEWERTUNG DER GRÜNFLÄCHEN AM TAGE

Für den Tag basiert die Bewertung der Grünflächen in einem ersten Schritt auf ihrer Ausstattung, damit die Menschen am Tag einen Raum haben, sich zu von der Hitzebelastung zu erholen, bspw. im Schatten. Insbesondere Bäume können durch ihren Schattenwurf für ein angenehmeres Aufenthaltsklima sorgen, da dieser den Strahlungseinfluss deutlich vermindert. In einem zweiten Bewertungsschritt wird die fußläufige Entfernung zu belasteten Siedlungs- und Gewerberäumen zugrunde gelegt. Im Unterschied zur Nachtsituation ist eine möglichst hohe Aufenthaltsqualität auch im Umfeld von Gewerbeflächen relevant, um den Beschäftigten Rückzugsorte während der Arbeitszeiten zu bieten.

Die PET-Modellergebnisse, in die die Verschattung als ein Bestandteil des bioklimatischen Index berücksichtigt ist, wird wieder über eine z-Transformation (siehe Kapitel 6.1) in fünf Bewertungsklassen von *sehr günstiges* – bis *sehr ungünstiges bioklimatische Aufenthaltsklima* überführt. Danach erfolgt dann die Abstandsuntersuchung, ob die Grünfläche aus einem thermisch belasteten Siedlungsraum innerhalb einer fußläufigen Entfernung von 300m Luftlinie zu erreichen ist (Mattanovich et al.) (vgl. vereinfachte Darstellung in Abbildung 27). Je besser die Grünfläche ausgestattet ist und je näher sie an thermisch belasteten Siedlungsgebieten liegt, umso bedeutender ist die Grünfläche am Tag für Erholung und Ausgleich der Bevölkerung. In der Planungshinweiskarte Tag ist zusätzlich die Information zum Hauptausgleichsraum als Signatur enthalten. Ein Hauptausgleichsraum definiert sich so, dass dieser frei zugänglich ist und keine Auflagen für das Betreten bestehen. Dies sind vor allem öffentliche Parkanlagen und Wälder.

Grünflächen PET Klasse (z-transformiert) ↓	Fußläufig gut erreichbar (300m) aus Siedlungsflächen mit 5-*sehr ungünstiger* bioklimatischer Situation ↓	Fußläufig gut erreichbar (300m) aus Siedlungsflächen mit 4-*ungünstiger* bioklimatischer Situation ↓	Fußläufig gut erreichbar (300m) aus Siedlungsflächen mit 3-*mittlerer* bioklimatischer Situation ↓	übrige Grünflächen und ihre PET-Klasse
5 - sehr günstig	5	5	4	3
4 - günstig	5	4	3	3
3 - mittel	4	3	2	2
2 - ungünstig	2	2	2	1
1 - sehr ungünstig	1	1	1	1

Abbildung 27: Bewertungsschema zur bioklimatischen Bedeutung von Grünflächen am Tage

Im Ergebnis ergeben sich dann fünf Klassen für den Ausgleichraum:

Sehr hohe bioklimatische Bedeutung(5)

- Dies sind Grünflächen in einer fußläufigen Entfernung zu *sehr ungünstigen* oder *ungünstigen* Siedlungsflächen, die gleichzeitig eine sehr hohe Ausstattungsqualität (PET-Klasse sehr günstig und günstig) für die Erholung am Tag haben.

Hohe bioklimatische Bedeutung (4)

- haben Grünflächen, die eine mittlere Ausstattungsqualität haben (PET-Klasse mittel) und in fußläufiger Entfernung zu Siedlungsflächen mit sehr ungünstiger bioklimatischer Situation liegen oder
- Grünflächen, die eine hohe Ausstattungsqualität haben (PET-Klasse günstig) und in fußläufiger Entfernung zu Siedlungsflächen mit ungünstiger bioklimatischer Situation liegen oder
- Grünflächen, die eine sehr hohe Ausstattungsqualität haben (PET-Klasse sehr günstig) und in fußläufiger Entfernung zu Siedlungsflächen mit mittlerer bioklimatischer Situation liegen

Mittlere bioklimatische Bedeutung (3)

- haben Grünflächen, die eine mittlere Ausstattungsqualität haben (PET-Klasse mittel) und in fußläufiger Entfernung zu Siedlungsflächen mit ungünstiger bioklimatischer Situation liegen oder
- haben Grünflächen, die eine hohe Ausstattungsqualität haben (PET-Klasse günstig) und in fußläufiger Entfernung zu Siedlungsflächen mit mittlerer bioklimatischer Situation liegen oder
- Grünflächen, die eine (sehr) hohe Ausstattungsqualität haben (PET-Klasse sehr günstig oder günstig) und nicht in fußläufiger Entfernung zu Siedlungsflächen mit sehr ungünstiger /ungünstiger/mittlerer bioklimatischer Situation liegen

Geringe bioklimatische Bedeutung (2)

- haben Grünflächen, die eine niedrige Ausstattungsqualität haben (PET-Klasse ungünstig) und in fußläufiger Entfernung zu Siedlungsflächen mit sehr ungünstiger bioklimatischer Situation liegen oder
- haben Grünflächen, die eine niedrige Ausstattungsqualität haben (PET-Klasse ungünstig) und in fußläufiger Entfernung zu Siedlungsflächen mit ungünstiger bioklimatischer Situation liegen oder
- haben Grünflächen, die eine mittlere bis niedrige Ausstattungsqualität haben (PET-Klasse mittel und ungünstig) und in fußläufiger Entfernung zu Siedlungsflächen mit mittlerer bioklimatischer Situation liegen oder
- die in keiner fußläufigen Entfernung zu Siedlugnsflächen mit mittlerer und darüber liegender bioklimatischer Situation haben, aber eine mittlere Ausstattungsqualität (PET-Klasse mittel).

Keine bioklimatische Bedeutung(1)

- haben Grünflächen, die eine sehr niedrige Ausstattungsqualität haben (PET-Klasse sehr ungünstig) und in fußläufiger Entfernung zu Siedlungsflächen mit sehr ungünstiger, ungünstiger und mittlerer bioklimatischer Situation liegen oder

- haben Grünflächen, die eine (sehr) niedrige Ausstattungsqualität haben (PET-Klasse sehr ungünstig und ungünstig) und nicht in fußläufiger Entfernung zu Siedlungsflächen mit sehr ungünstiger, ungünstiger und mittlerer bioklimatischer Situation liegen.

6.4 ERGEBNISSE

6.4.1 NACHTSITUATION

Flächen mit einer *Sehr ungünstigen bioklimatischen Situation* weisen im Siedlungsraum des Kantons Basel - Landschaft in der Ist-Situation einen geringen Anteil von knapp 3 % aus und betreffen hauptsächlich die Zentren der größeren Gemeinden, die sich südlich der Stadt Basel und im Birstal befinden, aber auch im Ergolztal mit Liestal, Sissach und Gelterkinden sind Gemeinden mit einer *sehr ungünstigen bioklimatischen Situation* in der Nacht zu finden. Unter Klimawandelbedingungen in der nahen Zukunft 2035 nimmt der Anteil um das Dreifache auf 11 % zu (siehe Tabelle 6 und Karten A10 und A11 im Anhang). Ebenso in der Kategorie *ungünstige bioklimatische Situation*. Es werden also zukünftig zahlreiche Gemeinden im Kantonsgebiet mehr, die diese hohen thermischen Belastungskategorien in der Nacht aufweisen. Bspw. sind das Röschenz, Brislach, Bubendorf, Hölstein, Rothenfluh, etc.. Diese Gemeinden sollten bereits heute vorsorgen und Möglichkeitsfenster wie bspw. Stadtsanierung oder –umbau für Maßnahmenumsetzung nutzen.

Tabelle 6: Flächenanteile bioklimatisch belasteter Siedlungsgebiete in der Nacht und abgeleitete Planungshinweise

Bewertung der Siedlungsflächen	Flächenanteil [%] Siedlung ohne Gewerbeareale	Flächenanteil [%] Zukünftige Siedlung ohne Gewerbeareale	Allgemeine Planungshinweise
1 = Sehr günstig	20	5	Die Flächen weisen das angenehmste Kleinklima innerhalb des Wirkraums auf. Aufgrund dieser sehr guten Situation sind keine Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation notwendig. Es besteht keine Empfindlichkeit gegenüber Nachverdichtungen, die sich bei Art und Maß der baulichen Nutzung an der Umgebung orientieren oder eine moderat höhere Dichte aufweisen. Auf gutachterliche Bewertungen kann daher verzichtet werden.
2 = Günstig	46	23	Die Flächen weisen keine thermische Belastung auf. Aufgrund dieser guten Situation sind keine Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation notwendig. Es besteht keine Empfindlichkeit gegenüber Nachverdichtungen, die bei Art und Maß der baulichen Nutzung der Umgebung entsprechen. Bei geplanten höheren Dichtegraden sollte auf die begleitende Umsetzung von optimierenden Maßnahmen hingewirkt werden. Auf gutachterliche Bewertungen kann dabei in aller Regel verzichtet werden.
3 = Mittel	24	34	Die Flächen weisen eine mittlere thermische Situation auf, die noch nicht mit einem relevanten Belastungsniveau verbunden ist. Proaktive Maßnahmen zur Verbesserung der Situation sind daher nicht zwingend notwendig, sollten aber insbesondere im Zusammenhang mit sich bietenden Gelegenheitsfenstern (z.B. Stadtumbau/-sanierung, Straßensanierungen) angestrebt werden. Im Einzelfall kann eine Empfindlichkeit gegenüber Nachverdichtungen jeglicher Art bestehen, so dass mindestens eine gutachterliche verbal-argumentative Stellungnahme – ggf. auch ein modellgestütztes Detailgutachten – eingeholt werden sollte.
4 = Ungünstig	9	27	Die Flächen weisen ein relevantes thermisches Belastungsniveau auf. Zur Verbesserung dieser ungünstigen Situation sollten proaktiv insbesondere auch Instrumente der Städtebauförderung

			eingesetzt werden. Es besteht eine Empfindlichkeit gegenüber Nachverdichtungen jeglicher Art, so dass bei allen klimaökologisch relevanten Planungen modellgestützte Detailgutachten – ggf. unter Berücksichtigung etwaiger weiterer Planungen im Umfeld – notwendig sind.
5 = Sehr ungünstig	3	11	Die Flächen weisen das höchste thermische Belastungsniveau im Wirkraum auf. Maßnahmen zur Verbesserung dieser sehr ungünstigen Situation sollten prioritär umgesetzt werden. Neben Instrumenten der Städtebauförderung sollten auch weitere proaktive Optionen umgesetzt werden (z.B. Förderprogramme zur Gebäude-/ Hofbegrünung, Informationskampagnen, Entsiegelungsinitiativen). Es sollten möglichst keine neuen Strömungshindernisse oder Wärmeemissionen geschaffen werden. Bei jeglicher Art von klimaökologisch relevanten Planungen sind modellgestützte Detailgutachten – ggf. unter Berücksichtigung etwaiger weiterer Planungen im Umfeld – notwendig.

In der Ist Situation weisen ca. 90 % der bewohnten Siedlungsbereiche eine *sehr günstige* bis *mittlere bioklimatische Situation* auf. Vor allem die Gemeinden, die Siedlungsflächen an den Talhängen vorweisen, profitieren in der Nacht von den Kaltluftabflüssen. In der Zukunft unter Klimawandelbedingungen verschieben sich diese Verhältnisse und es werden nur noch ca. 62 % der bewohnten Siedlungsflächen eine *sehr günstige* bis *mittlere bioklimatische Situation* aufweisen, wobei der größte Rückgang in der zweiten Kategorie (günstig) stattfindet (siehe Tabelle 6). Binningen hat in der Zukunft bspw. keine Siedlungsareale mehr, die in der *sehr günstigen* Klasse liegen.

Den Grünflächen im BL Kanton kommt etwa zu ca. 24% eine *hohe* bis *sehr hohe bioklimatische Bedeutung* zuteil (Tabelle 7). 38 % der Grünflächen weisen eine *geringe Bedeutung* auf, d.h. sie erfüllen für den derzeitigen Siedlungsraum keine Funktion, da sie so weit entfernt vom Siedlungsraum liegen. 31 % der Grünflächen weisen keine Bedeutung auf, da sie nicht in einem Einzugsgebiet einer Kaltluftleitbahn liegen, die an eine thermisch belastete Gemeinde anschließt (*sehr ungünstige bioklimatische Situation*). Das sind hauptsächlich Grünflächen, die im äußersten Südosten des Baselbieter Kantons liegen. Die großen Flächenanteile in diesen unteren Klassen ist dem größtenteils sehr ländlich geprägtem Kantonsgebiet geschuldet, auch den Gebirgszügen.

In der Zukunft nimmt die Bedeutung der Grünflächen im Baselbieter Kanton weiter zu. Lediglich 4 % der Grünflächen sind noch in der Klasse 0 *keine Bedeutung.* Ungefähr 45 % der Grünflächen besitzen in der Zukunft unter Klimawandelbedingungen eine *hohe* bis *sehr hohe bioklimatische Bedeutung*.

Tabelle 7: Flächenanteile bioklimatisch bedeutender Grünareale in der Nacht und abgeleitete Planungshinweise

Bedeutung der Grünflächen	Flächenanteil [%]		Allgemeine Planungshinweise
	Ist	Zukunft	
4= sehr hoch	6	11	Die Flächen bilden die Kernbereiche der für die thermisch belasteten Siedlungsräume besonders relevanten Kaltluftleitbahnen und weisen damit eine sehr hohe klimaökologische Bedeutung auf. Aufgrund ihrer linienhaften Ausprägung weisen sie eine hohe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderungen auf, so dass möglichst keine neuen Strömungshindernisse geschaffen werden sollten. Insbesondere bei geplanten baulichen Entwicklungen jeglicher Art (aber ggf. auch z.B. bei Aufforstungen und sonstigen bodennahe Strömungshindernissen) sollte unbedingt auf den Erhalt der Klimafunktionen der Leitbahnen hingewirkt werden. Es sind modellgestützte Detailgutachten zu entsprechenden Einzelvorhaben – ggf. unter Berücksichtigung etwaiger weiterer Planungen im Umfeld – notwendig.
3 = hoch	18	34	Die Flächen liegen im Bereich von zu belasteten Siedlungsräumen gerichteten flächenhaften Kaltluftabflüssen und/oder grenzen an Kaltluftleitbahnen an. Sie weisen somit eine hohe klimaökologische Bedeutung auf. Eine bauliche Entwicklung ist nur unter der Prämisse des Erhalts der Klimafunktion fachlich zu vertreten. Für kleinere Vorhaben (z.B. Einzel-/Reihenhausbebauungen) ist in aller Regel eine gutachterliche verbal-argumentative Stellungnahme zur Optimierung der Planung ausreichend. Für mittlere und größere Vorhaben (Zeilen-/Geschosswohnungsbau, Gewerbestandorte, Hochhäuser) sollte ein modellgestütztes Detailgutachten - ggf. unter Berücksichtigung etwaiger weiterer Planungen im Umfeld - eingeholt werden.
2 = mittel	7	2	Die Flächen liegen in größerer Entfernung zu belasteten Siedlungsräumen, weisen jedoch eine überdurchschnittliche Kaltluftproduktionsrate und Kaltluftvolumenstrom auf. Für kleinere und mittlere Vorhaben (z.B. Einzel-/Reihenhausbebauung, Zeilenbebauungen) sind in aller Regel keine negativen klimaökologischen Auswirkungen zu erwarten. Für größere Vorhaben (vor allem Gewerbestandorte, Hochhäuser) sollte eine gutachterliche verbal-argumentative Stellungnahme zur Optimierung der Planung eingeholt werden.
1 = gering	38	49	Die Flächen liegen zwar innerhalb von Kaltluftprozessräumen, die für thermisch belastete Siedlungsräume relevant sind. Aufgrund Ihrer Lage, Exposition oder Entfernung zu diesen Siedlungsräumen weisen sie aber nur eine geringe klimaökologische Bedeutung auf. Eine bauliche Entwicklung dieser Flächen ist klimaökologisch grundsätzlich möglich. Dabei sollte insbesondere auf die Ausrichtung der Baukörper in Fließrichtung des bodennahen Windfeldes geachtet werden. Für größere Vorhaben (vor allem Gewerbestandorte, Hochhäuser) sollte im Zweifelsfall eine gutachterliche verbal-argumentative Stellungnahme zur Optimierung der Planung eingeholt werden.
0 = keine Bedeutung	31	4	Die Flächen liegen außerhalb von Kaltluftprozessräumen, die für thermisch belastete Siedlungsräume relevant sind. Sie weisen daher für die gegenwärtige Siedlungsstruktur keine klimaökologische Bedeutung auf. Selbst für größere Vorhaben (Gewerbestandorte, Hochhäuser) kann davon ausgegangen werden, dass keine negativen Auswirkungen auf die bestehenden Siedlungen zu erwarten sind. Auf gutachterliche Tätigkeit kann daher verzichtet werden.

6.4.2 TAGSITUATION

Auch am Tage sind deutliche Unterschiede zwischen der Aufenthaltsqualität im Freien in Siedlungsflächen zu erkennen (siehe Karten im Anhang A12 und A13). Die Siedlungsflächen weisen zu 43 % eine *sehr günstige* und *günstige bioklimatische Situation* in der Ist-Situation auf. Dies liegt daran, dass es viele

kleinere Gemeinden im Kantonsgebiet gibt, die gut durchgrünt sind oder aufgrund ihrer Höhenlage eine nicht so starke thermische Belastung am Tag aufweisen. Von den Siedlungsflächen sind in der Ist-Situation 23 % in der Kategorie *ungünstig* bis *sehr ungünstig*.

Straßen, Wege und Plätze weisen aufgrund ihrer nahezu vollständigen Versiegelung insgesamt die höchsten thermischen Belastungen auf. *Ungünstige* bis *Sehr ungünstige* Situationen treten im Straßenraum häufiger auf. Diese Bandbreite ist auf die unterschiedlichen Flächentypen zurückzuführen – von offenen, vollversiegelten Plätzen bis hin zu durch Bäume (oder Gebäude) stark verschattete Straßenabschnitte wie man es bspw. auf dem Münsterplatz in der Basler Altstadt finden kann.

In der Zukunft nehmen die Siedlungsflächen mit *ungünstigen* und *sehr ungünstigen* thermischen Situationen sehr deutlich auf 42 % Flächen zu. Das Verhältnis von *(sehr) günstigen* zu *(sehr) ungünstigen* Flächen kehrt sich in der Zukunft im Verhältnis um (ca. 27 % zu 42%, siehe Tabelle 8). Die mittlere Klasse bleibt recht stabil bestehen.

Tabelle 8: Flächenanteile bioklimatisch belasteter Siedlungsgebiete am Tage und abgeleitete Planungshinweise

Bewertung der Siedlungsflächen	**Flächenanteil** [%] **Ist** Siedlung und Gewerbeareale	**Zukunft** Siedlung und Gewerbeareale	**Allgemeine Planungshinweise**
1 = Sehr günstig	6	5	Es liegen humanbioklimatisch günstige Bedingungen sowie ein hoher Grünanteil vor, die es jeweils zu erhalten gilt. Zusätzliche Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind nicht erforderlich.
2 = Günstig	37	22	Es liegen überwiegend bioklimatisch günstige Bedingungen sowie ein ausreichender Grünanteil vor, die es jeweils zu erhalten gilt. Zusätzliche Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind nicht erforderlich.
3 = Mittel	34	31	Auf einzelnen Teilflächen kann ein thermisch belastende Situation auftreten. Maßnahmen zur Verbesserung können sinnvoll sein, z.B. in Form von Verschattungselementen bzw. zusätzlicher Begrünung. Ausgleichsräume sollten fußläufig erreichbar und zugänglich sein.
4 = Ungünstig	18	29	Es liegen überwiegend humanbioklimatisch ungünstige Bedingungen mit einem relevanten thermischen Belastungsniveau vor. Hoher Bedarf an Anpassungsmaßnahmen wie zusätzlicher Begrünung und Verschattung sowie ggf. Entsiegelung. Ausreichend Ausgleichsräume sollten fußläufig gut erreichbar und zugänglich sein. Dezentrale Grünanlagen sollten neu geschaffen werden.
5 = Sehr ungünstig	5	13	Es liegen sehr ungünstige Bedingungen mit einem hohen thermischen Belastungsniveau vor. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind notwendig und prioritär. Sehr hoher Bedarf an Anpassungsmaßnahmen wie zusätzlicher Begrünung (z.B. Pocket-Parks), Verschattung und Entsiegelung. Ausreichend Ausgleichsräume sollten fußläufig gut erreichbar und zugänglich sein. Dezentrale sollten neu geschaffen werden.

Die Grünflächen sind nach ihrer Ausstattungsqualität und Entfernung zu thermisch belasteten Siedlungsgebieten am Tag bewertet.

In der Ist-Situation sind 11 % der Grünflächen mit einer sehr hohen Bedeutung und 16 % mit einer hohen Bedeutung bewertet. In der Zukunft nimmt die sehr hohe Bedeutung auf 19 % zu, sinkt jedoch in der Klase mit der hohen Bedeutung. Da die Grünflächen auch nach ihrer Ausstattungsqualität bewertet sind, ist

ersichtlich, dass wenn sich die Temperatur in Zukunft durch den Klimawandel erhöht, nimmt auch die PET in den Grünflächen zu und somit sinkt die Aufenthaltsqualität, da keine Erholung in den Grünflächen möglich ist. Sie werden einfach zu warm, v.a. wenn jetzt schon wenige Bäume oder Wasserflächen vorhanden sind. Das spiegelt sich auch in der drastischen Zunahme um 20% in der unteren Klasse mit *keiner Bedeutung* wieder. Hier sortieren sich die Grünflächen wie bspw. Wiesen und Ackerflächen ein, die keine Erholung bieten. Da diese Flächenkulisse stark wächst, ist der Erhalt und die Aufwertung der verbleibenden Grünflächen umso wichtiger. Wenn diese Grünflächen dann öffentlich sind, haben auch die Gemeinden Handhabe.

Tabelle 9: Flächenanteile bioklimatisch bedeutender Grünareale am Tage und abgeleitete Planungshinweise

Bedeutung der Grünflächen	**Flächenanteil** [%]		**Allgemeine Planungshinweise**
	Ist	**Zukunft**	
5 = sehr hoch	11	19	Grünflächen mit einer hohen bis sehr hohen Aufenthaltsqualität, die fußläufig aus den belasteten Siedlungsgebieten erreicht werden können. Verschattende Vegetationselemente sind zu erhalten und zu schützen (ggf. Bewässerung), die gute Erreichbarkeit ist weiterhin zu gewährleisten.
4 = hoch	16	11	Grünflächen mit mindestens mittlerer Aufenthaltsqualität, die fußläufig sehr gut aus dem Belastungsraum zu erreichen sind bzw. Grünflächen mit sehr hoher Aufenthaltsqualität, die fußläufig noch gut aus den belasteten Siedlungsgebieten erreicht werden können. Verschattende Vegetationselemente sind zu erhalten und zu schützen (ggf. Bewässerung) und ggf. auszubauen. Die gute Erreichbarkeit ist weiterhin zu gewährleisten.
3 = mittel	31	20	Siedlungsnahe Grünflächen mit einer mittleren bis hohen Aufenthaltsqualität, bei denen der bioklimatisch positive Einfluss durch Vegetationselemente überwiegt. Verschattende Vegetationselemente sind zu erhalten und zu schützen (ggf. Bewässerung) bzw. ggf. auszubauen. Siedlungsferne Grünflächen mit (sehr) günstigem Klima, die nicht in fußläufiger Erreichbarkeit liegen, aber als Rückzugsorte dienen können. In diesem Fall ist eine gute Grünvernetzung zu gewährleisten.
2 = gering	32	20	Grün- und Freiflächen mit einem Defizit an Verschattung (geringe Ausgleichsfunktion) bzw. unzureichender Erreichbarkeit aus belasteten Siedlungsräumen (nicht als Rückzugsort geeignet). Innerhalb des Siedlungsgebiets sind verschattende Vegetationselemente zu entwickeln bzw. auszubauen (Erhöhung der Mikroklimavielfalt). Bei einer schlechten Erreichbarkeit ist eine gute Grünvernetzung zu gewährleisten.
1 = keine	10	30	Freiflächen bzw. siedlungsferne Grünflächen mit wenig Schatten und intensiver solarer Einstrahlung und damit schlechter Aufenthaltsqualität (vorwiegend Rasen- bzw. landwirtschaftliche Nutzflächen). Im siedlungsnahen Raum sind verschattende Vegetationselemente zu entwickeln bzw. auszubauen (Erhöhung der Mikroklimavielfalt).

6.4.3 AUSBLICK: SIEDLUNGSKLIMATISCHE MASSNAHMEN

Den bewerteten Siedlungs- und Grünflächen sind jeweils allgemeine Planungshinweise zugeordnet, die eine erste Einschätzung möglicher Maßnahmen erlauben, doch bezogen auf den Einzelfall genauer betrachtet werden müssen. Mit der vorliegenden kantonsweiten Analyse können konkrete Maßnahmen zur Verbesserung bzw. Erhalt des thermischen Komforts sowie zur Reduzierung von Hitzestress während hochsommerlichen Extremsituationen abgeleitet werden. Es soll an dieser Stelle bereits ein kurzer Überblick über siedlungsklimatische Maßnahmen bzw. Empfehlungen gegeben werden (MUNLV 2011; MVI 2012). Die jüngst erschienene BAFU Studie zu „Hitze in den Städten“ liefert ebenfalls eine umfangreiche Sammlung von Maßnahmen (Bundesamt für Umwelt (BAFU) 2018).

Der ganz aktuell veröffentlichte Statusbericht Klima Kanton BL (2020) geht auf Handlungsfelder zur CO_2 Reduktion und Klimaanpassung ein. Unter dem Punkt A3.8 Raumentwicklung werden neben den 2 Hauptmaßnahmestoßrichtungen:

- Grundlagen für Planungsfachleute erarbeiten, Erfahrungsaustausch
- Anpassung an den Klimawandel in Gesetz und Praxis

auch die abgeschlossenen und die laufenden Projekte gelistet (Lufthygieneamt beider Basel 2020, 94f), die bei der Anpassung an den Klimawandel berücksichtigt werden sollten bzw. auf deren Erkenntnisse zurückgegriffen werden kann. Die erarbeitete Klimaanalyse liefert hierfür eine Grundlage für den Kanton BL, spezifische Maßnahmen zu verorten, um die Hitzebelastung und Wärmeinsel zu reduzieren.

Soweit möglich sollte der Grünanteil in den Gemeindegebieten erhöht werden, insb. in thermisch belasteten Bereichen der dichteren Gemeinden (Pocket-Parks, großflächige Grünanlagen). Im Vergleich zu wärmespeichernden städtischen Baumaterialien kühlen Grünflächen nachts deutlich schneller ab und können (ab einer gewissen Größe von ca. 0,5 ha) als Kaltluftentstehungsgebiete auf ihr (nahes) Umfeld wirken. Gleichzeitig erfüllen sie viele weitere Funktionen wie die Möglichkeit zur Erholung, die Erhöhung der Biodiversität und Synergieeffekten zum Niederschlagsmanagement (Versickerung) und Luftreinhaltung (Deposition von Luftschadstoffen).

Neben ihres Potenzials zur Verringerung der thermischen Belastung am Tage und in der Nacht (Schattenwurf, Verdunstung, etc.), übernehmen Bäume (und Sträucher) im Straßenraum die Funktion der Deposition und Filterung von Luftschadstoffen und verbessern dadurch die Luftqualität. Bei der Umsetzung entsprechender Maßnahmen sollte darauf geachtet werden, dass der vertikale Luftaustausch erhalten bleibt, um Schadstoffe abzutransportieren und die nächtliche Ausstrahlung zu gewährleisten.

Klimaangepasstes Bauen ist am einfachsten bei Neubauten umzusetzen, doch auch im Bestand und bei der Verdichtung sind entsprechende Maßnahmen möglich. Im Neubau bietet sich die Chance, die Gebäudeausrichtung und Dämmung zu optimieren und damit den direkten Hitzeeintrag zu reduzieren. Unter Berücksichtigung der Sonnen- und Windexposition sollten Gebäude so ausgerichtet werden, dass in sensiblen Räumen wie z.B. Schlaf- bzw. Arbeitszimmern der sommerliche Hitzeeintrag minimiert wird.

Durch geeignete Gebäudeausrichtung kann darüber hinaus eine gute Durchlüftung mit kühlender Wirkung beibehalten bzw. erreicht werden (Ausrichtung parallel zur Kaltluftströmung, (grüne) Freiflächen zwischen den Gebäuden). Auch die Verwendung geeigneter Baumaterialien lässt sich im Wesentlichen nur bei Neubauten realisieren. Dabei ist auf deren thermische Eigenschaften zu achten – natürliche Baumaterialien wie Holz haben einen geringeren Wärmeumsatz und geben entsprechend nachts weniger Energie an die Umgebungsluft ab als z.B. Stahl oder Glas. Bautechnische Maßnahmen zur Verbesserung des Innenraumklimas wie Dach- und Fassadenbegrünung, Verschattungselemente oder Wärmedämmung sind auch im Bestand umsetzbar und bieten vielfach Synergieeffekte zum Energieverbrauch der Gebäude.

Bei Nachverdichtungen in den Gemeindegebieten sollten die Belange klimaangepassten Bauens berücksichtigt werden (insb. die Gewährleistung einer guten Durchlüftung). In der Regel stellt die vertikale Nachverdichtung dabei die aus klimatischer Sicht weniger belastende Lösung dar, wobei die genaue Ausgestaltung jeweils im Einzelfall geprüft werden muss.

7 Literaturverzeichnis

Abteilung Hydrologie (2020): Jahresgang der Wassertemperatur am Pegel Rheinbrücke. Bundesamt für Umwelt (BAFU). Online verfügbar unter https://www.hydrodaten.admin.ch/lhg/az/plots/surface/1year_compared/2613T_RheiWeil.jpg, zuletzt geprüft am 12.08.2020.

Basel-Landschaft: Unser Kanton - Ein Überblick. Online verfügbar unter https://www.baselland.ch/politik-und-behorden/besondere-behorden/landeskanzlei/kanton-in-kuerze/unser-kanton-ein-ueberblick, zuletzt geprüft am 14.08.2020.

Begert, M.; Frei, C.; Abbt, M. (2013): Einführung der Normperiode 1981-2010 - MeteoSchweiz. Hg. v. Meteoschweiz (245). Online verfügbar unter https://www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/klima-der-schweiz/klima-normwerte.subpage.html/de/data/publications/2013/9/einfuehrung-der-normperiode-1981-2010-.html, zuletzt geprüft am 22.10.2020.

Begert, M.; Stöckli, R.; Croci-Maspoli, M. (2019): Klimaentwicklung in der Schweiz - Vorindustrielle Referenzperiode und Veränderung seit 1864 auf Basis der Temperaturmessung. Fachbericht. Hg. v. Meteoschweiz (274). Online verfügbar unter https://www.meteoschweiz.admin.ch/content/dam/meteoswiss/de/service-und-publikationen/Publikationen/doc/AB_Vorind_Refp_v1.1_de.pdf, zuletzt geprüft am 22.10.2020.

Bundesamt für Umwelt (BAFU) (Hg.) (2018): Hitze in Städten. Grundlage für eine klimaangepasste Siedlungsentwicklung. Bern (UW-1812-D). Online verfügbar unter www.bafu.admin.ch/uw-1812-d, zuletzt geprüft am 23.10.2020.

CAISSIE, D. (2006): The thermal regime of rivers: a review. In: *Freshwater Biol* 51 (8), S. 1389–1406. DOI: 10.1111/j.1365-2427.2006.01597.x.

CH2018 (Hg.) (2018): CH2018 – Climate Scenarios for Switzerland. National Centre for Climate Services. Zurich (Technical Report).

Chen, Yen-Chang; Tan, Chih-Hung; Wei, Chiang; Su, Zi-Wen (2014): Cooling effect of rivers on metropolitan Taipei using remote sensing. In: *International journal of environmental research and public health* 11 (2), S. 1195–1210. DOI: 10.3390/ijerph110201195.

Deutsche Forschungsgemeinschaft (Hg.) (1988): Physikalische Grundlagen des Klimas und Klimamodelle. Bonn.

DWD: Wetterlexikon. Klima. Online verfügbar unter https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?lv2=101334&lv3=101462, zuletzt geprüft am 23.10.2020.

Fehrenbach, U. (1998): Klimaanalyse der Region Basel (KABA). Hg. v. Arbeitsgemeinschaft Klimaanalyse der Region Basel. Basel. Online verfügbar unter https://baselbern.swissbib.ch/Record/123709687, zuletzt geprüft am 23.10.2020.

Ginzler, Christian; Hobi, Martina (2015): Countrywide Stereo-Image Matching for Updating Digital Surface Models in the Framework of the Swiss National Forest Inventory. In: *Remote Sensing* 7 (4), S. 4343–4370. DOI: 10.3390/rs70404343.

Gross, Günter (1989): Numerical simulation of the nocturnal flow systems in the Freiburg area for different topographies. In: *Beitr. Phys. Atmosph.* (62), S. 57–72.

Gross, Günter (1993): Air Flow Around and Through Individual Trees. In: D. Barsch, I. Douglas, F. Joly, M. Marcus, B. Messerli und Günter Groß (Hg.): Numerical Simulation of Canopy Flows, Bd. 12. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (Springer Series in Physical Environment), S. 34–91.

Gross, Günter (2002): The exploration of boundary layer phenomena using a nonhydrostatic mesoscale model. In: *metz* 11 (4), S. 295–302. DOI: 10.1127/0941-2948/2002/0011-0295.

Häckel, Hans (2012): Meteorologie. 7., korrigierte Auflage. Stuttgart: Ulmer (UTB Geowissenschaften, Agrarwissenschaften, 1338).

Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG (2016): Erstellung von Immisionskarten für NO2, PM10 und PM2.5 für Basel-Stadt und Basel-Landschaft. Unter Mitarbeit von T. Nagel, H. Lorentz und A. Jost. Online verfügbar unter https://www.baselland.ch/politik-und-behorden/direktionen/bau-und-umweltschutzdirektion/lufthygiene/lufthygiene/luftreinhalteplanung/luftreinhalteplan-2016/download-luftreinhalteplan-2016/2017-12-lohmeyer-endbericht.pdf, zuletzt geprüft am 23.10.2020.

IPCC (Hg.) (2014): Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Unter Mitarbeit von Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.). Geneva, Switzerland. Online verfügbar unter https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/, zuletzt geprüft am 14.04.2020.

Jendritzky, Gerd (1990): Methodik zur räumlichen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen. Fortgeschriebenes Klima-Michel-Modell. Hannover: ARL (Beiträge, 114).

Kuttler, Wilhelm (2009): Klimatologie. Paderborn: Schöningh (Grundriss allgemeine Geographie, 3099).

Kuttler, Wilhelm (2011): Klimawandel im urbanen Bereich, Teil 1, Wirkungen Climate change in urban areas, Part 1, Effects. In: *Environ Sci Eur* 23 (1), S. 11. DOI: 10.1186/2190-4715-23-11.

Lozàn, Josè L.; Maier, Walter A. (Hg.) (2008): Warnsignale Klima. Gesundheitsrisiken. Hamburg: Wiss. Auswertungen.

Lufthygieneamt beider Basel (2016): Luftreinhalteplan 2016 der Kantone Basel-Stadt und Basel-Landschaft. Stand, Handlungsbedarf, Massnahmen. Unter Mitarbeit von C. Todaro, S. Andris-Ogorka, H. Moser, U. Ohnmacht und S. Trüeb. Lufthygieneamt beider Basel. Online verfügbar unter https://www.baselland.ch/politik-und-behorden/direktionen/bau-und-umweltschutzdirektion/lufthygiene/lufthygiene/luftreinhalteplanung/luftreinhalteplan-2016/download-luftreinhalteplan-2016/bericht-lrp-2016-version-1-2.pdf.

Lufthygieneamt beider Basel (Hg.) (2020): Statusbericht Klima Handlungsfelder in Basel-Landschaft. Zollikon. Online verfügbar unter https://www.baselland.ch/politik-und-behorden/direktionen/bau-und-umweltschutzdirektion/lufthygiene/lufthygiene/statusbericht-klima/downloads/2020-03-25-statusbericht-klima-kanton-basel.pdf, zuletzt geprüft am 12.08.2020.

Malberg, Horst (1985): Meteorologie und Klimatologie. Eine Einführung. Berlin, Heidelberg: Springer. Online verfügbar unter http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-08701-5.

Mattanovich, Ernst; Bürger, Gebriele; Fischer, Marielis; Neubauer, Ulrike; Stebegg, Katharina: Handlungsziele für Stadtgrün und deren empirische Evidenz. Indikatoren, Kenn- und Orientierungswerte : ein Projekt des Forschungsprogramms "Experimenteller Wohnungs- und Städtebau (ExWoSt) des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), betreut vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR). Stand April 2017. Hg. v. BBSR. Bonn.

Mayer, H.; Höppe, P. (1987): Thermal comfort of man in different urban environments. In: *Theor Appl Climatol* 38 (1), S. 43–49. DOI: 10.1007/BF00866252.

Meteoschweiz (Hg.) (2020a): Klima-Indikatoren. Online verfügbar unter https://www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/schweizer-klima-im-detail/klima-indikatoren.html?station=bas&filters=WetBulbT_1981-today_JJA, zuletzt aktualisiert am 22.10.2020.

Meteoschweiz (2020b): Klimanormwerte Basel / Binningen. Normperiode 1981 - 2010. Online verfügbar unter https://www.meteoschweiz.admin.ch/product/output/climate-data/climate-diagrams-normal-values-station-processing/BAS/climsheet_BAS_np8110_d.pdf, zuletzt geprüft am 14.08.2020.

Meteoschweiz (Hg.) (2020c): Windrosen pro Station. Online verfügbar unter https://www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/schweizer-klima-im-detail/klima-normwerte/windrosen-pro-station.html?station=rue, zuletzt aktualisiert am 22.10.2020.

Meteoschweiz (2020d): Zeitliche Entwicklung von Temperatur und Niederschlag. Online verfügbar unter https://www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/klimawandel-schweiz/temperatur-und-niederschlagsentwicklung.html?filters=ths200m0_northlow_jja_1864-trend, zuletzt geprüft am 22.10.2020.

MUNLV (2011): Handbuch Stadtklima. Maßnahmen und Handlungskonzepte für Städte und Ballungsräume zur Anpassung an den Klimawandel. Hg. v. Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen. Online verfügbar unter https://www.umwelt.nrw.de/fileadmin/redaktion/PDFs/klima/handbuch_stadtklima_kurzfassung.pdf.

MVI (2012): Städtebauliche Klimafibel. Hinweise für die Bauleitplanung. Hg. v. Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg. Online verfügbar unter https://www.staedtebauliche-klimafibel.de, zuletzt geprüft am 23.10.2020.

NCCS (Hg.) (2018): CH2018 - Klimaszenarien für die Schweiz. National Centre for Climate Services. Online verfügbar unter https://www.nccs.admin.ch/nccs/de/home/regionen/grossregionen/jura/klimaszenarien-ch2018-jura.html, zuletzt aktualisiert am 17.08.2020.

Oke, T. R. (1973): City size and the urban heat island. In: *Atmospheric Environment (1967)* 7 (8), S. 769–779. DOI: 10.1016/0004-6981(73)90140-6.

Oke, Timothy R.; Mills, G.; Christen, A.; Voogt, J. A. (2017): Urban climates. Cambridge: Cambridge University Press.

Schönwiese, Christian-Dietrich (2013): Klimatologie. 31 Tabellen im Text und umfangreicher Tabellenanhang. 4., überarb. und aktualisierte Aufl. Stuttgart (Hohenheim): Ulmer (UTB, 1793).

Trinationale Arbeitsgemeinschaft Regio-Klima-Projekt REKLIP (1995): Klimaatlas Oberrhein Mitte-Süd. Online verfügbar unter https://www.reklip.org/index.php?SecNr=10000, zuletzt geprüft am 23.10.2020.

Umweltbundesamt (2016): Heizen, Raumtemperatur. Online verfügbar unter www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/umweltbewusstleben/heizen-raumtemperatur, zuletzt aktualisiert am 23.10.2020.

VDI 3785, Blatt 1: Umweltmeteorologie. Methodik und Ergebnisdarstellung von Untersuchungen zum planungsrelevanten Stadtklima 2008.

VDI 3787, Blatt 1: Umweltmeteorologie. Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen 2014.

VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 (11/2008): Umweltmeteorologie - Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung - Teil I: Klima.

Fundstelle: VDI/DIN-Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) - Normenausschuss. Online verfügbar unter https://www.vdi.de/nc/richtlinie/vdi_3787_blatt_2-umweltmeteorologie_methoden_zur_human_biometeorologischen_bewertung_von_klima_und_lufthy_/, zuletzt geprüft am 23.10.2020.

VDI-Richtlinie 3787, Blatt 9: Umweltmeteorologie. Berücksichtigung von Klima und Lufthygiene in räumlichen Planungen 2004.

Anhang

A1. EINGANGSDATENWORKFLOW

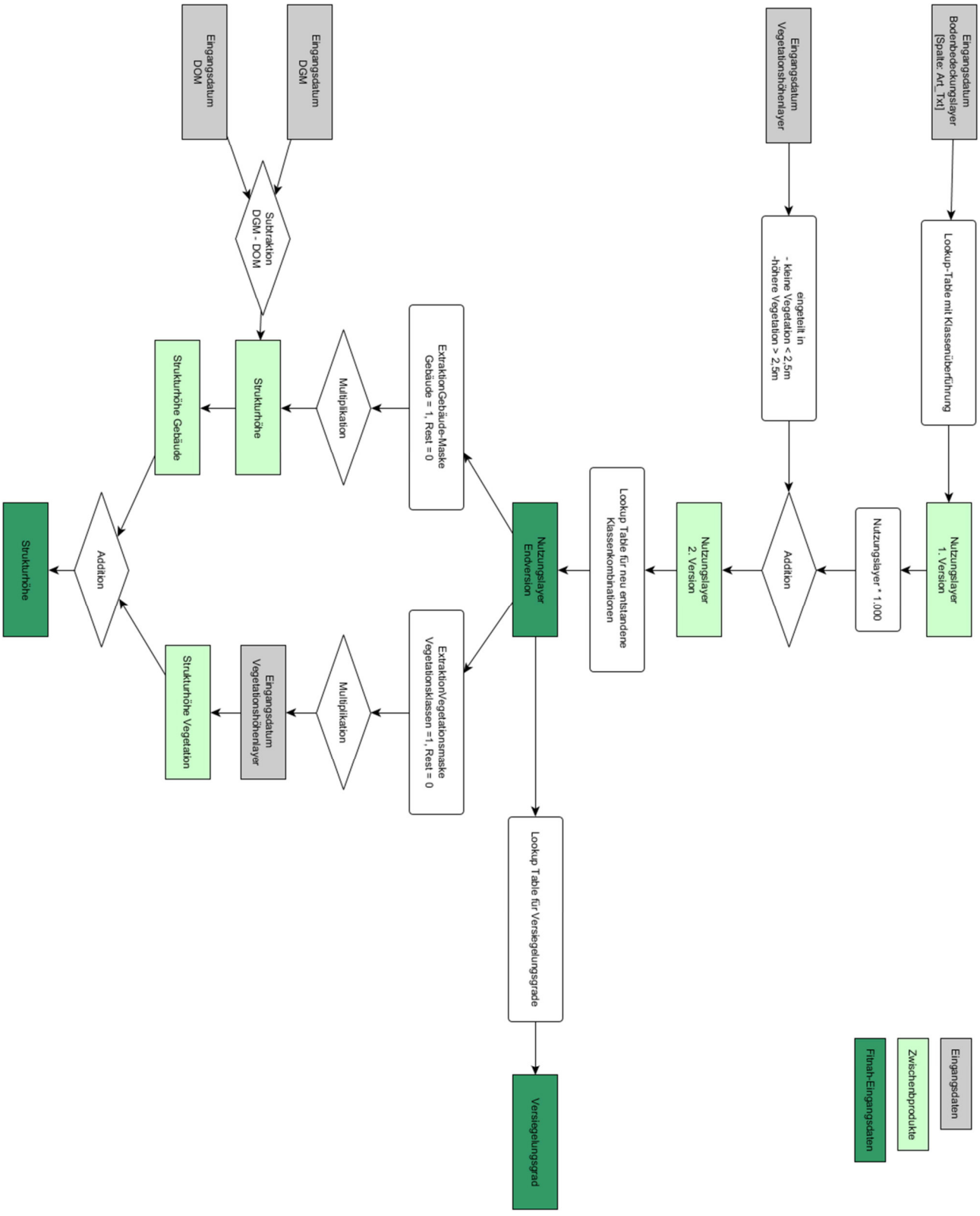


Abbildung 28: Idealtypischer Ablauf der Datenaufbereitung für den Kanton Basel-Landschaft. Quelle: Eigene Darstellung.

KARTEN

A2. NÄCHTLICHES TEMPERATURFELD, IST-SITUATION

A3. NÄCHTLICHES TEMPERATURFELD, ZUKUNFTS-SITUATION

A4. NÄCHTLICHES KALTLUFTSTRÖMUNGSFELD, IST-SITUATION

A5. NÄCHTLICHES KALTLUFTSTRÖMUNGSFELD, ZUKUNFTS- SITUATION

A6. WÄRMEBELASTUNG AM TAGE PET, IST-SITUATION

A7. WÄRMEBELASTUNG AM TAGE PET, ZUKUNFTS-SITUATION

A8. KLIMAANALYSEKARTE NACHT, IST-SITUATION

A9. KLIMAANALYSEKARTE NACHT, ZUKUNFTSSITUATION

A10. PLANUNGSHINWEISKARTE NACHT, IST-SITUATION

A11. PLANUNGSHINWEISKARTE NACHT, ZUKUNFTSSITUATION

A12. PLANUNGSHINWEISKARTE TAG, IST-SITUATION

A13. PLANUNGSHINWEISKARTE TAG, ZUKUNFTSSITUATION