



GESAMTSTÄDTISCHE KLIMAANALYSE

STADT HEILBRONN

Auftraggeber: Stadt Heilbronn
Planungs- und Baurechtsamt
Cäcilienstraße 45
74072 Heilbronn

Durchführung: Ingenieurbüro Rau
Bottwarbahnstraße 4
74081 Heilbronn

Dr. Dütemeyer Umweltmeteorologie
Kruppstraße 82-100/ETEC
45145 Essen

METCON UMB Dr. Bigalke
Jappopweg 9h
25421 Pinneberg

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung.....	1
2	Einleitung und Aufgabenstellung	6
2.1	Relevanz des Stadtklimas in der Umweltplanung	6
2.2	Ziele der Klimaanalyse Heilbronn	11
3	Charakterisierung des Untersuchungsgebietes	13
3.1	Naturräumliche Beschreibung und Abgrenzung	13
3.2	Makroklimatische Zuordnung und regionalklimatische Merkmale	16
4	Stadtklima HN: Untersuchungsmethoden	27
4.1	Allgemeine Anforderungen an ein Messdesign	27
4.2	Stationäres Messnetz.....	28
4.2.1	Auswahl und Beschreibung der Stationsstandorte	28
4.2.2	Erfassung klimatischer Daten.....	35
4.2.3	Datenverarbeitung.....	36
4.3	Mobile Messungen - Lufttemperaturmessfahrten.....	38
4.3.1	Messmethodik.....	38
4.3.2	Messverfahren und Messumfang	38
4.3.3	Auswertung der Messfahrten.....	41
4.4	Numerische Methoden	41
4.4.1	Dynamische Windfeldsimulationen.....	41
4.4.1.1	Methodik.....	43
4.4.1.2	Kartengrundlage und Parameter der Modellrechnungen.....	43
4.4.2	Kaltluftsimulation	44
4.4.2.1	Methodik.....	44
4.4.2.2	Kartengrundlage und Parameter der Modellrechnungen.....	44
4.4.3	Berechnung der thermischen Behaglichkeit	45
4.5	Klimawandelprojektionen	46
5	Repräsentativität des Messzeitraumes	49
5.1	Witterungsverlauf der Messperiode im langjährigen Vergleich	49

5.2	Bestimmung austauscharmer Strahlungstage	51
6	Ergebnisse	57
6.1	Ergebnisse der stationären Messungen	57
6.1.1	Strahlung.....	57
6.1.2	Lufttemperatur.....	63
6.1.2.1	Statistischer Überblick	63
6.1.2.2	Temperaturfeld im Jahres- und Tagesgang/Wärmeinsel.....	68
6.1.2.3	Schichtungsverhältnisse und Inversionen	71
6.1.3	Niederschlag	76
6.1.4	Luftfeuchtigkeit.....	78
6.1.4.1	Statistischer Überblick	78
6.1.4.2	Luftfeuchte im Jahres- und Tagesgang.....	79
6.1.5	Windverhältnisse.....	81
6.1.5.1	Windgeschwindigkeit	81
6.1.5.2	Schwachwindhäufigkeit	87
6.1.5.3	Windrichtung.....	90
6.1.6	Human-Bioklima.....	93
6.2	Spezielle Aspekte: Messfahrten und Kaltluftuntersuchungen	95
6.2.1	Austauscharme Strahlungswetterlagen	95
6.2.2	Räumliche Struktur der Temperaturverteilung	106
6.2.3	Kaltluftdynamik /thermisch bedingte Windsysteme	111
6.2.4	Human-Bioklima.....	115
6.3	Zusammenfassende Bewertung der Messergebnisse	121
7	Regionaler Klimawandel in Heilbronn	129
7.1	Projektionen der Lufttemperatur	129
7.2	Projektionen des Niederschlages	134
8	Planungsanwendung.....	138
8.1	Klimaanalysekarte.....	139
8.1.1	Darstellungsebenen der Klimaanalysekarte	139
8.1.1.1	Klimaanalysekarte – Inhalte der ersten Darstellungsebene (Klimatope).....	140

8.1.1.2	Klimaanalysekarte – Inhalte der zweiten Darstellungsebene (Klimatische Funktionen)	148
8.1.2	Räumliche Genauigkeit der Klimaanalysekarte in Abhängigkeit des Maßstabes	151
8.1.3	Klimatisch-lufthygienische Gliederung des Stadtgebietes von Heilbronn in der Klimaanalysekarte	153
8.2	Planungshinweiskarte	157
8.2.1	Darstellungsebenen der Planungshinweiskarte	157
8.2.1.1	Planungshinweiskarte – Inhalte der ersten Darstellungsebene (Planräume)..	158
8.2.1.2	Planungshinweiskarte – Inhalte der zweiten Darstellungsebene (Planungshinweise)	161
8.3	Flächenänderungen, die nicht in der Realnutzungskartierung (Basis für Klimaanalysekarte und Planungshinweiskarte) enthalten sind.....	163
9	Fazit und Ausblick	168
10	Literatur	169
11	Anhang.....	A1

Tabellenverzeichnis

Tab. 2-1:	Charakteristika des Stadtklimas einer Großstadt in den mittleren Breiten im Vergleich zum unbebauten Umland (nach verschiedenen Autoren; aus Kuttler 2004a, ergänzt).....	7
Tab. 2-2:	Qualitative Merkmale von Klimatopen (nach VDI 3781 (2015) und DÜTEMEYER et al. 2013).....	7
Tab. 3-1:	Verteilung der Flächennutzungen im Stadtgebiet von Heilbronn (Quelle: Stat. Landesamt, Stand:31.12.2015).	14
Tab. 3-2:	Vergleich der Kontinentalität und Klimaklassifikation Heilbronns mit ausgewählten anderen Orten nach verschiedenen Autoren.	16
Tab. 3-3:	Oberste und unterste Top 3-Jahre für Jahresmitteltemperatur TL und Jahresniederschlag N in Heilbronn (Daten: DWD 2016a und LUBW 2016).	19
Tab. 3-4:	Klimastatistische Daten der DWD-Station Heilbronn für die Referenzperioden 1961 – 1990 und 1971 – 2000. (Daten: DWD 2016a).....	21
Tab. 4-1:	Lage, Charakteristika und Messgrößen der Klimafeststationen Heilbronner im Untersuchungsgebiet: St.1 und St.2 (Quelle der dargestellten Kartenauszüge und Luftbilder: Auszüge aus dem Geodatenportal, Vermessungs- und Katasteramt Stadt Heilbronn © Stadt Heilbronn www.heilbronn.de).	30
Tab. 4-2:	Lage, Charakteristika und Messgrößen der Klimafeststationen Heilbronner im Untersuchungsgebiet: St.3 und St.4 (Quelle der dargestellten Kartenauszüge und Luftbilder: Auszüge aus dem Geodatenportal, Vermessungs- und Katasteramt Stadt Heilbronn © Stadt Heilbronn www.heilbronn.de).	31
Tab. 4-3:	Lage, Charakteristika und Messgrößen der Klimafeststationen Heilbronner im Untersuchungsgebiet: St.5 und St.6 (Quelle der dargestellten Kartenauszüge und Luftbilder: Auszüge aus dem Geodatenportal, Vermessungs- und Katasteramt Stadt Heilbronn © Stadt Heilbronn www.heilbronn.de).	32
Tab. 4-4:	Lage, Charakteristika und Messgrößen der Klimafeststationen Heilbronner im Untersuchungsgebiet: St.7 und St.8 (Quelle der dargestellten Kartenauszüge und Luftbilder: Auszüge aus dem Geodatenportal, Vermessungs- und Katasteramt Stadt Heilbronn © Stadt Heilbronn www.heilbronn.de).	33
Tab. 4-5:	Gerätespezifikationen des stationären Heilbronner Messnetzes.	36
Tab. 4-6:	Übersicht über die Datenverfügbarkeit vor und nach der Lückenfüllung sowie Angabe der Rekonstruktionsfunktion und der Rekonstruktionsgüte (R^2) an den	

	Messstationen 1 bis 4 in Heilbronn für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016.....	37
Tab. 4-7:	Übersicht der mobilen Untersuchungsmethoden, Messgrößen, Termine und vorherrschenden Wetterlage.....	40
Tab. 4-8:	Skala der PMV- und PET -Werte für thermisches Empfinden und zugehörige Behaglichkeitsstufen nach VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 (VDI 2008) und MAYER (2006).	45
Tab. 4-9:	Merkmale von Klimamodellen zur Abschätzung der regionalen Auswirkungen des globalen Klimawandels für Deutschland.....	47
Tab. 5-1:	Eigenschaften der 58 Strahlungstage in Heilbronn für den Messzeitraum 04/2015 – 03/2016.....	53
Tab. 5-2:	Liste mit Namen der Großwetterlagen (GWL) (Gerstengarbe & Werner 2010). ...	55
Tab. 5-3:	Zuordnung von Großwettertypen und Zirkulationsformen zu den Strahlungstagen in Heilbronn für den Messzeitraum 04/2015 – 03/2016.....	56
Tab. 6-1:	Statistische Angaben zur Lufttemperatur t_L und zu thermischen Ereignistagen (2 m ü. Gr.) an den Heilbronner Messstationen für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 auf Stundenmittelwertbasis.....	63
Tab. 6-2:	Auftrittshäufigkeiten und Stärken Γ von Lufttemperaturinversionen in Heilbronn für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (berechnet aus Stationen St. 7 und St. 3).	72
Tab. 6-3:	Hydrologische Merkmale ausgewählter markanter Niederschlagsereignisse in Heilbronn für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016.	78
Tab. 6-4:	Statistische Angaben zur Luftfeuchtigkeit (2 m ü. Gr.) an den Heilbronner Messstationen für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 auf Stundenmittelwertbasis	79
Tab. 6-5:	Statistische Angaben zur Windgeschwindigkeit an den Heilbronner Messstationen für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 auf Stundenmittelwertbasis.	84
Tab. 6-6:	Statistische Angaben zur Schwachwindhäufigkeit an den Heilbronner Messstationen für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 auf Stundenmittelwertbasis.	88
Tab. 6-7:	Statistische Angaben zur Lufttemperatur, zur Luftfeuchtigkeit und zur Windgeschwindigkeit an den Heilbronner Messstationen an 58 Strahlungstagen im Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Daten: 1.392 Stundenmittelwerte).....	96

Tab. 6-8:	Statistische Kennwerte von Klimaparametern für 27 heiße Tage in Heilbronn im Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Daten: 648 Stundenmittelwerte).....	115
Tab. 6-9:	Bewertungsgrenzen verschiedener klimatologischer Kennwerte basierend auf den 33,3- und 66,6-Perzentilen der jeweiligen Größen an den 8 Messstationen in Heilbronn.....	123
Tab. 6-10:	Bewertung der thermischen, austauschrelevanten und human-biometeorologischen Verhältnisse im Heilbronner Untersuchungsgebiet.....	124
Tab. 7-1:	Ensemblemittelwertprojektionen des Jahresgangs der Lufttemperatur in 2 m ü. Gr. und des Niederschlags für heute (1991–2000) sowie die nahe (2041–2050) und ferne (2091–2100) Zukunft für die Region Heilbronn. Daten: WERNER & GERSTENGARBE 2007; KREIENKAMP & SPEKAT 2008; UBA 2008; LAUTENSCHLAGER et al. 2009; SPEKAT et al. 2007).	129
Tab. 7-2:	Projektion der geschätzten Periodizität und Intensität von Extremniederschlägen in Mitteleuropa von 2005 auf 2100 (nach DE GREEF 2009).	136
Tab. 8-1:	Hinweise und Nachträge zu Flächenänderungen, die nicht in der RNK dargestellt sind.	164
Tab. A 1:	Witterungskalender für die Messperiode 01.04.2015 – 31.03.2016 in Heilbronn.....	A2
Tab. A 2:	Liste mit Namen der Großwetterlagen (GWL) (Gerstengarbe & Werner 2010).	A11
Tab. A 3:	Liste mit Namen der Großwettertypen (GWT) (Gerstengarbe & Werner 2010).	A12

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2-1.	Maximale Temperaturunterschiede zwischen Stadtzentrum und Umland in Abhängigkeit von der Einwohnerzahl für ausgewählte Städte (LANUV 2010).	8
Abb. 3-1.	Stadt Heilbronn: Topografische Karte mit Reliefschummerung (Quelle: Kartengrundlage aus RK10, DGM10 ©Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg www.lgl-bw.de, Az.: 2851.9-1/19).....	15
Abb. 3-2:	Lange Messreihe (1859 – 2015) der Lufttemperatur TL und des Niederschlages N an den Stationen DWD und LUBW in Heilbronn (Daten: DWD 2016a und LUBW 2016).....	18

Abb. 3-3:	Lange Messreihe (1859 – 2015) der Lufttemperatur TL und des Niederschlages N an den Stationen DWD und LUBW in Heilbronn (Daten: DWD 2016a und LUBW 2016).....	18
Abb. 3-4:	Messreihe 1947 – 2015 der Lufttemperatur TL und des Niederschlages N an den Stationen DWD und LUBW in Heilbronn (Daten: DWD 2016a und LUBW 2016).	19
Abb. 3-5:	Trends verschiedener Klimadaten im Gewerbegebiet Hans-Rießer-Str. in Heilbronn (Daten: LUBW 2016).....	20
Abb. 3-6:	Klimadiagramm der DWD-Station Heilbronn für die Referenzperioden 1961 – 1990 und 1971 – 2000. (Darstellung nach WALTER 1984, Daten: DWD 2016a).	22
Abb. 3-7:	Flächige Verteilung der Windrichtungen (30°-Schritte) und jahresmittleren Windgeschwindigkeiten im Bereich von Heilbronn (Quelle: Kartengrundlage aus GoogleEarth™).	26
Abb. 4-1:	Lage der Klimafeststationen und der Messfahrtrouten im Heilbronner Untersuchungsgebiet (Quelle: Kartengrundla aus RK10, DGM10 ©Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg www.lgl-bw.de, Az.: 2851.9-1/19).....	29
Abb. 4-2:	Räumliche Zuordnung der für die Region Heilbronn verfügbaren Orte und Gebiete mit Projektionsdaten zum Klimawandel (blau: Stadtgebiet Heilbronn).	48
Abb. 5-1.	Relative jährliche Verteilung der Zirkulationsmuster während des Messzeitraumes M (04/2015 – 03/2016) im Vergleich zur Referenzepisode R (1881 – 2016) sowie monatliche Verteilung der 58 austauscharmen Strahlungstage für Heilbronn für den Messzeitraum 4/2015 bis 3/2016 (Quellen: GERSTENGARBE & WERNER 2010, DWD 2016).	50
Abb. 6-1:	Isoplethen der mittleren Globalstrahlung in Heilbronn für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Mittelwerte der Stationen St. 5 (Gewerbe) und St. 6 (Landwirtschaft).....	58
Abb. 6-2:	Mittlerer Tagesgang der gemessenen und maximal möglichen (Astr.Max.) Globalstrahlung für Strahlungstage und allochthone Tage im Sommer- und Winterhalbjahr in Heilbronn für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Daten: Mittelwert der Stationen St. 5 (LUBW) und St. 6 (Landwirtschaft).	59
Abb. 6-3:	Mittlerer Jahresgang der monatlichen Globalstrahlungssumme für Strahlungstage und allochthone Tage in Heilbronn für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Daten: Mittelwert der Stationen St. 5 (LUBW) und St. 6 (Landwirtschaft).....	60

Abb. 6-4:	Tagesgang der Lufttemperatur t_L , relativen Feuchte r_F , Windgeschwindigkeit u , Globalstrahlung GS und des Niederschlages NS an einem typischen Strahlungs-, Wolken- und Regentag im Hochsommer in Heilbronn (Daten: Stationsmittelwerte der Stationen St. 5 (LUBW) und St. 6 (Landwirtschaft)).....	62
Abb. 6-5:	Häufigkeitsverteilung der Lufttemperatur an den Heilbronner Messstationen für Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 auf Stundenmittelwertbasis.	64
Abb. 6-6:	Klimadiagramm für die Stadt Heilbronn, dargestellt als Abweichungen der mittleren Temperaturminima ($\Delta t_{Lmin.}$) und Temperaturmaxima ($\Delta t_{Lmax.}$) der Heilbronner Messstationen von den Heilbronner Gebietsmittelwerten $t_{Lmin.} = 7,9$ °C und $t_{Lmax.} = 16,5$ °C. Datengrundlage: Stundenmittelwerte des Messzeitraumes 01.04.2015 – 31.03.2016.....	65
Abb. 6-7:	Jahresgang der Lufttemperatur an den Messstationen in Heilbronn für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Datenbasis: Stundenmittelwerte).	68
Abb. 6-8:	Mittlerer Tagesgang der Lufttemperatur an den Messstationen in Heilbronn für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Datenbasis: Stundenmittelwerte).	69
Abb. 6-9:	Mittlerer Tagesgang der Wärmeinselintensität UHI an ausgewählten Messstationen in Heilbronn für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Datenbasis: Stundenmittelwerte).....	70
Abb. 6-10:	Isoplethen der Wärmeinselintensität UHI in Heilbronn für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Daten: Stationen 1 und 4).	71
Abb. 6-11:	Isoplethen der relativen Häufigkeit von Lufttemperaturinversionen in Heilbronn für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Daten: Stationen St. 7 und St. 3)..	73
Abb. 6-12:	Isoplethen des vertikalen Lufttemperaturgradienten Γ (K/100 m) in Heilbronn für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Daten: Stationen St.7 und St. 3)...	74
Abb. 6-13:	Anzahl von Lufttemperaturinversionen unterschiedlicher Andauer in Heilbronn für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Daten: Stationen St. 7 und St. 3)..	75
Abb. 6-14:	Jahresgang der monatlichen Niederschlagssummen der Stationen 5 bis 8 in Heilbronn für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 sowie der mittlere Niederschlagsjahresgang der Referenzperiode 1971 – 2000 (DWD 2016a).....	76
Abb. 6-15:	Anzahl von Niederschlagsereignissen unterschiedlicher Andauer in Heilbronn für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Daten: Mittelwert der Stationen 5 bis 8).....	77
Abb. 6-16:	Jahresgang der relativen Luftfeuchtigkeit an den Messstationen in Heilbronn für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Daten: Stundenmittelwerte).....	80

Abb. 6-17: Mittlerer Tagesgang der relativen Luftfeuchtigkeit an den Messstationen in Heilbronn für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Daten: Stundenmittelwerte).	81
Abb. 6-18: Langjähriges Mittel der bodennahen Windgeschwindigkeit in 10 m ü. Gr. in Heilbronn (Quelle: Kartengrundlage aus RK10, DGM10 ©Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg www.lgl-bw.de, Az.: 2851.9-1/19).....	83
Abb. 6-19: Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit an den Messstationen in Heilbronn für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Daten: Stundenmittelwerte).....	84
Abb. 6-20: Jahresgang der Windgeschwindigkeit an den Messstationen in Heilbronn für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Daten: Stundenmittelwerte).....	86
Abb. 6-21: Mittlerer Tagesgang der Windgeschwindigkeit an den Messstationen in Heilbronn für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Daten: Stundenmittelwerte).....	86
Abb. 6-22: Anzahl von Schwachwindepisoden unterschiedlicher Andauer an den Messstationen in Heilbronn für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Daten: Stundenmittelwerte).....	89
Abb. 6-23: Tageszeitliche Auftrittshäufigkeit von Schwachwind an den Messstationen in Heilbronn für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Daten: Stundenmittelwerte).	90
Abb. 6-24: Mittlere jährliche Stärkewindrosen an den Messstationen in Heilbronn für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Daten: Stundenmittelwerte) (Quelle: Kartengrundlage aus RK10, DGM10 ©Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg www.lgl-bw.de, Az.: 2851.9-1/19).....	91
Abb. 6-25: Jahresgang der physiologischen Äquivalenttemperatur PET an den Messstationen in Heilbronn für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Daten: Stundenmittelwerte).	94
Abb. 6-26: Mittlerer Tagesgang der physiologischen Äquivalenttemperatur PET an den Messstationen in Heilbronn für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Daten: Stundenmittelwerte).....	95
Abb. 6-27: Mittlerer Tagesgang der Lufttemperatur an den Messstationen in Heilbronn an 58 Strahlungstagen im Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Daten: 1.392 Stundenmittelwerte).	97

Abb. 6-28:	Mittlerer Tagesgang der Wärmeinselintensität UHI an ausgewählten Messstationen in Heilbronn an 58 Strahlungstagen im Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Daten: 1.392 Stundenmittelwerte).	98
Abb. 6-29:	Mittlerer Tagesgang der relativen Luftfeuchtigkeit an den Messstationen in Heilbronn an 58 Strahlungstagen im Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Daten: 1.392 Stundenmittelwerte).	100
Abb. 6-30:	Mittlerer Tagesgang der Windgeschwindigkeit an den Messstationen in Heilbronn an 58 Strahlungstagen im Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Daten: 1.392 Stundenmittelwerte).	101
Abb. 6-31:	Tageszeitliche Auftrittshäufigkeit von Schwachwind an den Messstationen in Heilbronn an 58 Strahlungstagen im Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Daten: 1.392 Stundenmittelwerte).	102
Abb. 6-32:	Stärkewindrosen an den Messstationen in Heilbronn an 58 Strahlungstagen im Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Daten: 1.392 Stundenmittelwerte) (Quelle: Kartengrundlage aus RK10, DGM10 ©Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg www.lgl-bw.de , Az.: 2851.9-1/19).	104
Abb. 6-33:	Tag-Nacht-Windrosen an den Messstationen in Heilbronn an 58 Strahlungstagen im Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Daten: 1.392 Stundenmittelwerte) (Quelle: Kartengrundlage aus RK10, DGM10 ©Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg www.lgl-bw.de , Az.: 2851.9-1/19).	105
Abb. 6-34:	Mittlere Anomalie der Lufttemperaturverteilung in 2 m ü. Gr. in der 1. Nachthälfte austauscharmer Strahlungstage in Heilbronn, bezogen auf eine durchschnittliche Gebietsmitteltemperatur von 25,2°C (Quelle: Kartengrundlage aus RK10, DGM10 ©Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg www.lgl-bw.de , Az.: 2851.9-1/19).	107
Abb. 6-35:	Mittlere Anomalie der Lufttemperaturverteilung in 2 m ü. Gr. in der 2. Nachthälfte austauscharmer Strahlungstage in Heilbronn, bezogen auf eine durchschnittliche Gebietsmitteltemperatur von 20,9°C (Quelle: Kartengrundlage aus RK10, DGM10 ©Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg www.lgl-bw.de , Az.: 2851.9-1/19).	109
Abb. 6-36:	Kaltluftfließrichtung und -geschwindigkeit (oben, Mitte) und Kaltluftvolumenstrom (unten) nach 5 Stunden Kaltluftproduktion um 1 Uhr MEZ einer austauscharmen Strahlungsnacht (Quelle: Kartengrundlage aus RK10, DGM10 ©Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg www.lgl-bw.de , Az.: 2851.9-1/19).	113

- Abb. 6-37: Mittlerer Tagesgang Lufttemperatur t_L und der physiologischen Äquivalenttemperatur PET an 27 heißen Tagen ($t_{Lmax} \geq 30^\circ \text{C}$) in Heilbronn im Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Daten: 648 Stundenmittelwerte)..... 116
- Abb. 6-38: Mittlere tägliche Dauer thermischen Empfindens an 27 Heißen Tagen ($t_{Lmax} \geq 30^\circ \text{C}$) in Heilbronn für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Daten: 648 Stundenmittelwerte). 118
- Abb. 6-39: Zeitlicher Verlauf der Lufttemperatur, der PET und der Globalstrahlung für ausgewählte Stationen während der einwöchigen der Hitzewelle vom 28.06.-06.07.2016 in Heilbronn. 120
- Abb. 7-1: Ensemblemittelwertprojektionen des Jahresgangs der Lufttemperatur in 2 m ü. Gr. für heute (1991–2000) sowie die nahe (2041–2050) und ferne (2091–2100) Zukunft für die Region Heilbronn. Werte in Klammern in Legende: Jahresmitteltemperatur (Daten: WERNER & GERSTENGARBE 2007; KREIENKAMP & SPEKAT 2008; UBA 2008; LAUTENSCHLAGER et al. 2009; SPEKAT et al. 2007). 130
- Abb. 7-2: Ensembleprojektionen zur Bandbreite der Auftrittshäufigkeiten klimatischer Ereignistage für heute (1991–2000) sowie die nahe (2041–2050) und ferne (2091–2100) Zukunft für die Region Heilbronn (Daten: WERNER & GERSTENGARBE 2007; KREIENKAMP & SPEKAT 2008; UBA 2008; LAUTENSCHLAGER et al. 2009; SPEKAT et al. 2007). 131
- Abb. 7-3: Ensemblemittelwertprojektionen der jährlichen Episodenanzahl und -andauer von heißen Tagen ($t_{Lmax} \geq 30^\circ \text{C}$) für heute (1991–2000) sowie die nahe (2041–2050) und ferne (2091–2100) Zukunft für die Region Heilbronn (Daten: WERNER & GERSTENGARBE 2007; KREIENKAMP & SPEKAT 2008; UBA 2008; LAUTENSCHLAGER et al. 2009; SPEKAT et al. 2007). 133
- Abb. 7-4: Ensemblemittelwertprojektionen des Jahresgangs des Niederschlages für heute (1991–2000) sowie die nahe (2041–2050) und ferne (2091–2100) Zukunft für die Region Heilbronn (Daten: WERNER & GERSTENGARBE 2007; KREIENKAMP & SPEKAT 2008; UBA 2008; LAUTENSCHLAGER et al. 2009; SPEKAT et al. 2007)..... 134
- Abb. 7-5: Ensemblemittelwertprojektionen der mittleren jährlichen Anzahl von regenreichen Tagen mit Mindestniederschlagsmengen ab 20 mm/d für heute (1991–2000) sowie die nahe (2041–2050) und ferne (2091–2100) Zukunft für die Region Heilbronn (Daten: WERNER & GERSTENGARBE 2007; KREIENKAMP &

	SPEKAT 2008; UBA 2008; LAUTENSCHLAGER et al. 2009; SPEKAT et al. 2007).....	136
Abb. 8-1:	Klimaanalysekarte der Stadt Heilbronn (Quelle: Kartengrundlage aus RK10, DGM10 ©Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg www.lgl-bw.de, Az.: 2851.9-1/19).....	156
Abb. 8-2:	Planungshinweiskarte der Stadt Heilbronn (Quelle: Kartengrundlage aus RK10, DGM10 ©Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg www.lgl-bw.de, Az.: 2851.9-1/19).....	165
Abb. 8-3:	Ausschnittvergrößerungen der Planungshinweiskarte zur Lage der Plangebiete (Plangebiete 1, 3, 7, 8, 12, 14, 16).	166
Abb. 8-4:	Ausschnittvergrößerungen der Planungshinweiskarte zur Lage der Plangebiete (Plangebiete 2, 6, 15).	166
Abb. 8-5:	Ausschnittvergrößerungen der Planungshinweiskarte zur Lage der Plangebiete (Plangebiete 4, 5, 17)	167
Abb. 8-6:	Ausschnittvergrößerungen der Planungshinweiskarte zur Lage der Plangebiete (Plangebiete 9, 10, 11)	167
Abb. A 1:	Fisheye-Aufnahmen zur Bestimmung des Sky-View-Faktors (SVF) an den Heilbronner Messstationen. Sommeraspekt im Juni 2016.	A13

1 Zusammenfassung

Zielsetzung

Das Ingenieurbüro Rau wurde vom Planungs- und Baurechtsamt der Stadt Heilbronn mit Vertrag vom 03.02.2015 beauftragt, eine gesamtstädtische Klimaanalyse für die Stadt Heilbronn durchzuführen. Ziel war die Erfassung und Bewertung der heutigen stadtklimatischen Situation für das gesamte Stadtgebiet. Die Ergebnisse wurden zu GIS-basierten Klimaanalyse- und Planungshinweiskarten aufbereitet und als GIS-Datenbank in Form eines Klimamanagementsystem verfügbar gemacht. Diese Werkzeuge sollen es der Umwelt- und Bauleitplanung ermöglichen, zukünftige Flächeneingriffe bezüglich der gesetzlich verankerten Umweltschutzgüter „Klima“ und „Luft“ im Rahmen einer Ersteinschätzung zu beurteilen und deren klimaökologische Relevanz zu ermes- sen, um ggf. mit erforderlichen Verbesserung- oder Schutzmaßnahmen reagieren zu können.

Datenerhebung

Die Datenerhebung erfolgte durch verschiedene Methoden. Mit einem stationären Messnetz aus acht Klimastationen wurden im Zeitraum vom 01.04.2015 bis zum 31.03.2016 die Messgrößen Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit sowie Windgeschwindigkeit und Windrichtung in einer hohen zeitlichen Auflösung erfasst und als stündliche Mittelwerte verarbeitet. Zur Verdichtung der räumli- chen Klimainformation wurden ergänzend in fünf austauscharmen Strahlungsnächten insgesamt 20 Lufttemperaturmessfahrten durchgeführt. Ferner wurden die dynamischen Windverhältnisse und strahlungsnächtliche Kaltluftprozesse mittels numerischer Simulationsverfahren in hoher Auf- lösung flächendeckend analysiert. Neben der eigenen Datenerhebung wurden ergänzend histo- rische Klimadaten sowie Zukunftsprojektionen zum Klimawandel ausgewertet.

Ergebnisse der klimatischen Untersuchungen

Seit 1859 bis heute wurde in Heilbronn bei den Jahresniederschlägen eine sehr hohe interannu- elle Variabilität von 306 mm (1947) bis 1.217 mm (1882) beobachtet. Dabei war ein leicht anstei- gender Trend bis zum Jahre 2003 zu beobachten. Seitdem ist der Trend jedoch stark rückläufig und der mittlere Jahresniederschlag der letzten Dekade (2001 - 2010) betrug ca. 650 mm. Bei den seit 1947 gemessenen Lufttemperaturen war seit 1957 ein deutlicher Temperaturanstieg auf zuletzt 10,7 °C Jahresmitteltemperatur (Dekade 2001 - 2010) zu verzeichnen, wobei insbeson- dere die Winter milder wurden. Der Vergleich der Referenzperioden 1961 – 1990 und 1971 – 2000 zeigt bei den Sommertagen ($t_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$) einen durchschnittlichen Zuwachs von 3,5 Ta- gen/Jahr (+7 %) auf 51 Tage sowie bei den heißen Tagen ($t_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$) von 1,9 Tagen/Jahr (+18 %) auf 12 Tage. Bei den Winden herrschten südliche bis südsüdwestliche Richtung vor, die vor allem durch das Relief des Neckartals geprägt wurden. Auch nordnordöstliche Winde wurden relativ häufig beobachtet. Die Windgeschwindigkeiten betragen im Freiland zwischen 2,6 m/s bis 2,8 m/s, wurden aber in der Stadt aufgrund der strömungshemmenden Bebauung auf etwa 2,0 m/s abgebremst.

Einfluss der Bebauung

Die im Rahmen dieser Klimaanalyse durchgeführten Messungen zeigen für die Gegenwart einen deutlichen Einfluss der Bebauung auf die klimatischen Verhältnisse innerhalb des Stadtgebietes von Heilbronn.

Bei den allgemeinen Lufttemperaturverhältnissen (Jahresmittel) zeigt die Innenstadt die ungünstigsten Verhältnisse mit im Sommer hoher Wärmebelastung und geringer nächtlicher Abkühlung. Wohngebiete sind thermisch etwas günstiger einzustufen, wenngleich es auch hier zu Wärmebelastung im Sommer kommen kann. Die Gefahr der Wärmebelastung nimmt zu den locker bebauten Siedlungsrändern hin ab. Mäßige bis günstige thermische Bedingungen herrschen in unversiegelten Bereichen vor. Hierzu zählen die städtischen Parks, die Landwirtschaftsflächen im Umland sowie die Wälder. Bei den Austauschverhältnissen weisen Landwirtschaftsflächen aufgrund freier Anströmbarkeit günstige Verhältnisse auf. Ungünstige Durchlüftungsbedingungen liegen hingegen in den Industrie- und Siedlungsbereichen und dort insbesondere in der Innenstadt vor. Aus der genauen räumlichen Analyse der Klimadaten konnte folgende klimatische Gliederung Heilbronns abgeleitet werden:

Innenstadtklimatop und Gewerbeklimatope

Zu den so genannten klimatischen Lasträumen, in denen dringender Handlungsbedarf zur Klimaverbesserung besteht, zählt der Innenstadtbereich. Dieses Innenstadtklimatop weist infolge der hochverdichteten Bebauung mit geringem Grünanteil das höchste thermische Niveau im Stadtgebiet auf, das aufgrund stark eingeschränkter Durchlüftung an heißen Tagen zu Hitzestaus führen kann. Auch in Sommernächten kommt es aufgrund mangelnder Abkühlung zu einer hohen Wärmebelastung. Industrie- und Gewerbegebiete sind ebenfalls als Lasträume einzustufen. Neben vereinzelt im gesamten Stadtgebiet auftretenden, kleineren Industrie- und Gewerbegebieten sind große und zum Teil zusammenhängende Industrie- und Gewerbeklimatope hauptsächlich nördlich der Innenstadt vorzufinden. Hierzu zählen die Industriegebiete Kanalhafen, Neckar und Osthafen. Daneben gibt es die kleineren Gewerbeklimatope Böckingen Nord, Knorrstraße und Sontheim. Da diese Komplexe weitestgehend innerhalb des Neckartals liegen, ist während windschwacher Inversionswetterlagen potenziell von einer Gefahr der Spurenstoffakkumulation auszugehen. Neben diesen städtischen oder stadtnahen Industriegebieten befinden sich auf den Freiflächen der westlichen Anhöhen die solitär gelegenen Gebiete Industriepark Böllinger Höfe in Neckargartach sowie das Gewerbegebiet Böckingen West.

Stadtklimatope

Etwas bessere Klimabedingungen herrschen in den so genannten klimatischen Ungunsträumen vor, obwohl auch hier Handlungsbedarf zur Klimaverbesserung besteht. Hierzu zählen die primär an den Innenstadtbereich angrenzenden Stadtklimatope, die bei kompakter, mehrgeschossiger Bauweise einen höheren Grünflächenanteil als die Innenstadt aufweisen. In diesen Klimatopen

kann die Wärmebelastung trotzdem zeitweise sehr hoch sein. Sie befinden sich hauptsächlich auf der Neckarinsel, ferner im Bereich südlich der Innenstadt sowie im Gebiet nördlich der Innenstadt. Auch der Bereich östlich der Innenstadt ist überwiegend diesem Stadtklimatop zuzuordnen, wengleich sich hier die großen innerstädtischen Grünflächen Alter Friedhof, Stadtgarten und Friedensplatz befinden, die eigene Klimatope darstellen (Erläuterung siehe weiter unten). Ein weiteres Stadtklimatopcluster liegt in Böckingen.

Stadtrand- und Vorstadtklimatope

In den Übergangsbereichen zwischen Last- und Ausgleichsraum der städtischen Peripherie wird die klimatische Situation besser. Die im Übergangsbereich zum Umland liegenden Stadtrandklimatope sind durch eine überwiegend aufgelockerte und geringgeschossige Wohnbebauung gekennzeichnet, in der aufgrund des höheren Grünflächenanteils die Durchlüftung besser sowie die thermische Belastung geringer als in der übrigen Bebauung ist. Auch die solitär im Umland gelegenen Vororte Biberach, Kirchhausen, Frankenbach und Klingenberg sind in weiten Teilen diesem Klimatotyp zuzuordnen. In Biberach, Kirchhausen, Frankenbach sowie kleineren Teilen Neckargartachs und in Südost-Böckingen nimmt die Durchgrünung weiter zu, sodass fast dorfähnliche Strukturen vorherrschen. Die Areale sind als Vorstadtklimatope einzustufen.

Wald-, Freiland und Gewässerklimatope

Die Frei- und Waldflächen jenseits der Siedlungsgebiete nehmen mit ihren positiven klimatischen und lufthygienischen Verhältnissen weite Teile des Heilbronner Stadtgebietes ein. Sie stellen klimatische Ausgleichsräume mit hohem Schutzbedarf dar, da sie eine ausgleichende oder positive Wirkung auf die Last- und Ungunsträume ausüben können. Größere zusammenhängende Wälder befinden sich in den höheren Relieflagen beiderseits des Neckars. Das größte Waldklimatop liegt auf den südöstlichen Anhöhen oberhalb der Weinberge. Weitere, wenn auch kleinere Waldgebiete befinden sich in Kirchhausen, Biberach, Neckargartach und Frankenbach. Der übrige, nicht bebaute Umlandbereich ist den Freilandklimatopen mit ihren positiven klimatischen und lufthygienischen Eigenschaften zuzuordnen und umfasst flächenmäßig den größten Teil des Heilbronner Stadtgebietes. Die Freilandklimatope bestehen hauptsächlich aus Acker- und Wiesenflächen, aber auch aus Weinbergen sowie Brachflächen. Die Freilandklimatope liegen hauptsächlich auf den westlichen Anhöhen sowie südlich von Horkheim und Sontheim, wobei Acker- und Wiesenflächen dominieren. In den steileren Hanglagen von Klingenberg und Horkheim sowie insbesondere der Höhenzüge östlich des Neckars befinden sich die Weinbauflächen mit ihrem mildwarmen Mikroklima. Die Freilandklimatope stellen mit Ausnahme der Weinbauflächen zudem potenzielle Produzenten für lokale Kaltluft dar, die weitgehend in die niedrigere Neckartalung und damit der Bebauung zufließt. Ein tiefes Eindringen der Kaltluft in die Bebauung findet jedoch aufgrund weitreichender Strömungsriegel entlang der Bebauungsränder sowie fehlender in die Stadt gerichteter Ventilationsbahnen nicht statt.

Innerstädtische Grünflächen stellen lokalklimatische Ausgleichsflächen innerhalb der Siedlungsstrukturen dar, da sie aufgrund ihrer Größe ein spürbares und zudem günstiges Eigenklima gegenüber der bebauten Umgebung entwickeln können. Großflächige Durchgrünungen sind innerhalb der Heilbronner Bebauung nur sporadisch vorhanden und fehlen in der Innenstadt völlig. Zu diesen Klimatopen der innerstädtischen Grünflächen zählen im Stadtklimatopbereich der Alte Friedhof, der Stadtgarten und der Friedensplatz. Bereits im Stadtrandbereich liegen zudem Pfühlpark, Hauptfriedhof und Landwehr. Nordwestlich der Innenstadt entsteht in einem Umfeld aus Gewerbegebieten auf dem Fruchtschuppenareal derzeit das BUGA-Gelände mit dem Stadtquartier Neckarbogen. Südlich davon (südlich der Otto-Kunz-Brücke) liegt beiderseits des Neckars der große Grünflächenkomplex mit den Sportanlagen, dem Wertwiesenpark und den Böckinger Seewiesen. Auffällig ist, dass bis auf diesen Grünflächenkomplex die Klimatope der innerstädtischen Grünflächen untereinander nicht durch Grünzüge miteinander vernetzt sind.

Eine Sonderstellung nehmen die Gewässerklimatope ein, die sich entlang der Gewässerläufe von Neckar, Kanalhafen, Osthafen, des Leinbach und dem Böllinger Bach ausdehnen und als Lüftungsschneisen dienen.

Klimaprojektionen

Die Klimaprojektionen für das Heilbronner Klima der Zukunft haben gezeigt, dass auch Heilbronn vom Klimawandel betroffen sein wird. Die Jahresmitteltemperatur wird bis zum Ende dieses Jahrhunderts um bis zu 3,3 K auf ca. 13,2 °C ansteigen und dabei insbesondere zu einer Verdoppelung bis Verdreifachung der Situationen mit hoher Wärmebelastung (Hitzestress) führen. Dieses Klima wird den mediterranen Verhältnissen bereits sehr nahekommen. Bei den Niederschlägen ist langfristig ein nur leichter Anstieg von ca. 4 % zu erwarten, jedoch wird sich die jährliche Niederschlagsverteilung zu trockeneren Sommern und niederschlagsreicheren, aber schneeärmeren Wintern hin verschieben. Mit einer Zunahme von Überflutungen durch Starkniederschläge muss gerechnet werden.

Erstellung einer Klimaanalysekarte und eines Klimamanagementtools

Basierend auf den Untersuchungsergebnissen sowie unter Berücksichtigung der aktuellen Flächennutzung und Topografie wurden abschließend eine Klimaanalysekarte und eine Planungshinweiskarte erarbeitet. Diese stellen zum einen eine bewertende, flächenhafte Übersicht der klimatischen und lufthygienischen Verhältnisse im Stadtgebiet dar und liefern zum anderen Planungshinweise zur Verbesserung bzw. Sicherung der klimatischen und lufthygienischen Verhältnisse. Um diese Information in der Planungspraxis effizient anwenden zu können, wurde ergänzend ein Klimamanagementsystem erstellt. Dieses im GIS der Heilbronner Stadtverwaltung bereitgestellte Werkzeug ermöglicht die objektive und quantitative Ersteinschätzung der klimatisch-lufthygienischen Situation der kommunalen Flächen auf B-Planebene.

Ausblick

Schließlich kann diese Klimaanalyse auch als Datenbasis zur Erstellung von Klimawandelanpassungskonzepten dienen. Wie die Klimawandelprojektionen gezeigt haben, scheint in den Themenfeldern der sommerlichen Hitzebelastung und der Starkregenschäden ein Handlungsschwerpunkt zu liegen. Da derzeit (Stand 2017) für die Erstellung von kommunalen Klimawandelanpassungskonzepten öffentliche Fördermittel aus dem Bundeshaushalt zur Verfügung stehen, bietet sich die zeitnahe Bearbeitung dieses Themas an.

2 Einleitung und Aufgabenstellung

2.1 Relevanz des Stadtklimas in der Umweltplanung

Der urbane Siedlungsraum verursacht im Vergleich zu seiner nicht bebauten Umgebung klimatische und lufthygienische Veränderungen, die allgemein unter dem Begriff Stadtklima zusammengefasst werden (KUTTLER 2004a). Entstehungsursachen des Stadtklimas sind die dreidimensionale Vergrößerung der Erdoberfläche durch die städtische Bebauung, die damit verbundene weitest gehende Versiegelung der Oberfläche bei gleichzeitiger Reduzierung der Vegetations- und Wasserflächen sowie anthropogene Emissionen von Wärme und Spurenstoffen aus den Quellen Verkehr, Hausbrand und Industrie (KUTTLER 2008). Basierend auf diesen Voraussetzungen verursachen die Eigenschaften der versiegelten Oberflächen, deren Aufheizungstendenz und eingeschränktes Evaporationsvermögen sowie die stadtbedingte Erhöhung der Oberflächenrauigkeit vielfältige Modifikationen des lokalen urbanen Klimas gegenüber dem Umland (**Tab. 2-1**). Neben den thermischen und lufthygienischen Modifikationen der relativen Überwärmung und Trockenheit betrifft das auch die Veränderung des Strahlungs- und Energiehaushaltes und die Beeinflussung der Austauschverhältnisse (Wind bzw. Durchlüftung) (HUPFER & KUTTLER 2006).

Das Stadtklima wird somit wesentlich durch die **Flächennutzungsstruktur** geprägt, wobei es zwischen den einzelnen Flächennutzungstypen deutliche Unterschiede gibt. Dabei lassen sich die Flächennutzungen in Grundtypen klassifizieren, die durch ähnliche Flächennutzung sowie ähnliche mikroklimatische und lufthygienische Bedingungen charakterisiert sind und dann als **Klimatope** bezeichnet werden (VDI 2015). **Tab. 2-2** enthält eine Übersicht der Klimatope mit qualitativen Angaben zu ihren stadtklimatisch-lufthygienischen Eigenschaften.

Das Stadtklima bildet sich am deutlichsten während **autochthoner**, d.h. windschwacher und strahlungsreicher **Wetterlagen** aus, jenen als „eigenbürtig“ zu bezeichnenden Witterungsabschnitten, die vornehmlich bei antizyklonalen Großwetterlagen entstehen und durch ausgeprägte Tagesgänge der meisten meteorologischen Elemente gekennzeichnet sind. In Mitteleuropa weisen durchschnittlich etwa 20 % der Tage und 30 % der Nächte eines Jahres die Charakteristika von Strahlungswetter auf (GERSTENGARBE & WERNER 2010). Zu der erwähnten räumlichen Abgrenzung ergibt sich somit auch eine zeitliche Abhängigkeit des Stadtklimas, die an die Dauer der meist nach Tagen zu bemessenden Witterungsabschnitte gebunden ist.

Tab. 2-1: Charakteristika des Stadtklimas einer Großstadt in den mittleren Breiten im Vergleich zum unbebauten Umland (nach verschiedenen Autoren; aus Kuttler 2004a, ergänzt).

Einflussgrößen	Veränderungen gegenüber Umland	Einflussgrößen	Veränderungen gegenüber Umland
Strahlungs- und Wärmehaushalt		Hygrische Verhältnisse	
Sonnenscheindauer		Luftfeuchtigkeit	Geringe Unterschiede
– Im Sommer	bis –8 %	Nebel	
– Im Winter	bis –10 %	– Großstadt	Weniger
Globalstrahlung	bis –10 %	– Kleinstadt	Mehr
Albedo	Geringe Unterschiede	Niederschlag	
Gegenstrahlung	bis +10 %	– Regen	Mehr (leeseitig)
UV-Strahlung		– Schnee	Weniger
– Im Sommer	bis –5 %	– Tauabsatz	Weniger
– Im Winter	bis –30 %	Verdunstung	Weniger
Sensibler Wärmestrom	bis +50 %	Austausch und Lufthygiene	
Wärmespeicherung im Stadtkörper	bis +40 %	Wind	
Thermische Verhältnisse		– Geschwindigkeit	Bis –20 %
Lufttemperatur		– Richtungsböigkeit	Stark variierend
– Jahresmittel	~ + 2 K	– Geschwindigkeitsböigkeit	Erhöht
– Winterminima	bis + 10 K	Luftverunreinigungen	
– In Einzelfällen	bis + 15 K („Wärmeinsel“)	– CO, NO _x , PM _x , AVOC ¹⁾ ,	Mehr
Dauer der Frostperiode	bis –30 %	– O ₃	Weniger (Spitzenwerte höher)
Bioklima		1) = anthropogene Kohlenwasserstoffe	
Vegetationsperiode	bis zu 10 Tage länger		
Humane Wärmebelastung	Mehr		
Humaner Kältereiz	Weniger		

Tab. 2-2: Qualitative Merkmale von Klimatopen (nach VDI 3781 (2015) und DÜTEMEYER et al. 2013).

Klimatop	Thermischer Komfort	Kaltluftproduktion	Durchlüftung, Ventilation	Luftqualität	Gesamtklimaqualität	Klassifizierung
Gewässer-, Seenklima	gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	Gunstraum
Freilandklima	sehr gut	sehr gut	gut	sehr gut	sehr gut	Gunstraum
Waldklima	gut	sehr gut	schlecht	sehr gut	gut	Gunstraum
Klima innerstädtischer Grünflächen, Parks	mittel	sehr gut	schlecht	gut	mittel - gut	Gunstraum
Vorstadtklima, Gartenstadt, Dorf	mittel	mittel	schlecht	gut	mittel	
Stadtrandklima	schlecht	sehr schlecht	schlecht	gut	mittel - schlecht	Ungunstraum
Stadtklima, verdichtete Bebauung	sehr schlecht	sehr schlecht	sehr schlecht	mittel	schlecht	Ungunstraum
Innenstadtklima	sehr schlecht	sehr schlecht	sehr schlecht	sehr schlecht	sehr schlecht	Ungunstsraum
Gewerbe-, Industrieklima	sehr schlecht	sehr schlecht	sehr schlecht	schlecht	sehr schlecht	Ungunstraum

Das Stadtklima wirkt in vielfältiger Weise negativ, aber auch positiv auf die in Städten lebenden Bewohner sowie Pflanzen und Tiere (MUNLV 2010). Während unter humanbiometeorologischen Gesichtspunkten im Bereich der thermischen Eigenschaften im Sommer, und dort insbesondere während **Hitzewellen**, Nachteile für die Stadtbewohner zu erwarten sind, führen höhere Stadtemperaturen im Winter zu einem geringeren Heizenergiebedarf und einer selteneren Schneeabfuhr, wodurch sich wirtschaftliche Einsparungen ergeben (BRANDT 2007). Bei Pflanzen bewirken die höheren Stadtemperaturen eine Veränderung der Aspektwechsel durch vorgezogene Blüh- und Reifephasen sowie eine deutliche Verlängerung der Vegetationsperioden im Vergleich zum Umland. Während niederschlagsarmer und heißer **Trockenphasen** kann jedoch auch die **Vegetation** Hitzestress erleiden (Austrocknung, Verdorrung), zumal diese dann gleichzeitig mangels aktiver Verdunstung keinen Beitrag zur Senkung der Wärmebelastung in der ohnehin schon überwärmten Bebauung leisten kann.

Unabhängig von den Witterungsverhältnissen sind erhöhte atmosphärische Spurenstoffeinträge aus Industrie, Gewerbe, Hausbrand und Verkehr für das Stadtklima kennzeichnend.

Mit zunehmender Größe einer Stadt treten die stadtklimatischen Effekte sowie deren nachteiligen Wirkungen deutlicher hervor, wie exemplarisch anhand der städtischen Überwärmung, der sog. **städtischen Wärmeinsel**, in **Abb. 2-1** gezeigt werden kann.

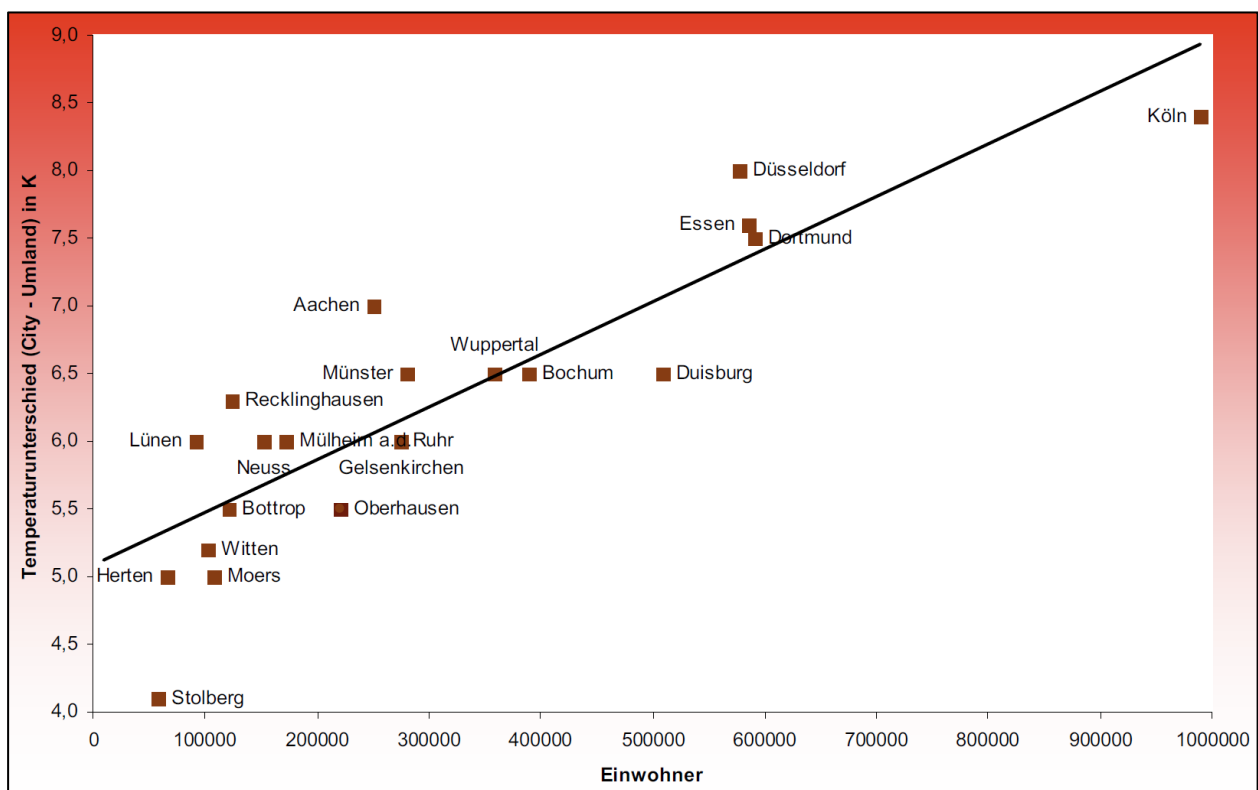


Abb. 2-1. Maximale Temperaturunterschiede zwischen Stadtzentrum und Umland in Abhängigkeit von der Einwohnerzahl für ausgewählte Städte (LANUV 2010).

In Städten, die wie Heilbronn in ein **ausgeprägtes Relief** eingebettet sind, kann die Geländeform das lokale Klima zusätzlich beeinflussen. Hierbei wirken sich besonders Hanglagen mit unterschiedlicher Sonnenexposition aus (Schattenlage oder Sonnenlage, z.B. beim Wein- und Obstbau). Auch das bodennahe Windfeld wird i.d.R. beeinflusst, indem die Strömungsrichtung durch die Hangneigungsrichtungen und Talverläufe der Haupt- und Seitentäler vorgegeben wird (Kanalisation) und dabei deutlich vom regional typischen Windfeld abweichen kann. Zudem kann in austauscharmen Strahlungsnächten an den Hängen **Kaltluft** gebildet werden, die sich in den Talverbänden sammeln und als mächtiger Kaltluftstrom abfließen und zur Ventilation der Stadt beitragen kann (VDI 2003). Da in der schweren Kaltluft jedoch der vertikale Austausch deutlich eingeschränkt ist (DÜTEMEYER 2000), kann die Kaltluft im Siedlungsbereich zur „**Spurestofffalle**“ werden und zu erhöhten Spurenstoffkonzentrationen führen.

Vielerorts führt das Zusammenspiel von Reliefform, geeigneter Sonnenexposition der Hänge und die Möglichkeit der strahlungsnächtlichen Kaltluftbildung zur regelmäßigen Ausbildung ausgeprägter diurnaler **Berg-Tal-Windsysteme**, welche die lokalen Windverhältnisse dominieren können.

Aufgrund dieser im Allgemeinen ungünstigen stadtklimatischen Eigenschaften gilt es daher im Rahmen der umweltgerechten Gestaltung von Bauvorhaben in der **Bau- und Umweltplanung** u.a., die **Schutzgüter „Klima“** und **„Luft“** besonders zu berücksichtigen (BauGB (2015) §1 Abs.6 Nr.7), um diese Mängel so weit wie möglich zu reduzieren. Dabei ist seit der BauGB-Novelle 2011 bei Bauvorhaben auch dem Nachhaltigkeitsprinzip in verstärktem Maße Rechnung zu tragen, indem neben Maßnahmen zum Klimaschutz (insbesondere durch EnEV 2015) auch solche zur **Klimawandelanpassung** schon heute zu ergreifen sind (BauGB (2015) §1a Abs. 5).

Die Verbesserung des Klimas in der Bebauung kann durch Maßnahmen vor Ort im Rahmen der **Quartiergestaltung** erreicht werden (MUNLV 2010). Hierzu zählen Flächenentsiegelungen, Anlegen von Vegetations- und Gewässerflächen sowie Parks und Dach- und Fassadenbegrünungen. Diese Maßnahmen fördern die Verdunstung, welche durch Energieentzug aus den die Luft erwärmenden Oberflächen die Lufttemperatur bei Hitzeereignissen deutlich senken kann. Ferner können Vegetationsflächen durch Absetzen von Spurenstoffen (insbesondere Staub) zur Verbesserung der Luftqualität beitragen. Auch gezielte Verschattungen im Außenbereich und helle Gebäudefassaden sowie vergrößerte Gebäudeabstände können der sommerlichen Wärmebelastung entgegenwirken.

Eine weitere Möglichkeit zur Verbesserung des Stadtklimas ist die **Fernwirkung** von **Freiflächen** auf die städtische Bebauung. Diese „Freilandklimatope“ besitzen günstige bzw. unbelastete klimatisch-lufthygienische Eigenschaften mit „Wohlfahrtswirkung“ (VDI 3787 / 01 2015), siehe auch **Tab. 2-2**. Sie weisen einen ausgeprägten Tages- und Jahresgang der Temperatur und Feuchte sowie sehr geringe Windfeldveränderungen auf. Ferner ist in austauscharmen Strahlungsnächten

auf Grund starker Oberflächenabkühlung **Kaltluftproduktion** möglich. Zudem sind die Areale i.d.R. aufgrund fehlender Emittenten lufthygienisch unbelastet („**Frischluft**“). Dies trifft insbesondere auf ausgedehnte **Wiesen- und Ackerflächen** sowie auf Freiflächen mit lockerem Gehölzbestand zu.

Auch **innerstädtische Grünflächen** (insbesondere Parks), weisen i.d.R. günstigere Klimaeigenschaften als die umgebende Bebauung auf, wenn auch ihre Fernwirkung i.d.R. geringer ist als die der großen Freiflächen am Stadtrand (BONGARDT 2006).

Weitere Flächennutzungstypen mit günstigen klimatisch-lufthygienischen Eigenschaften sind Wälder und Gewässer. Während **Wälder** insbesondere die Auswirkungen thermischer Extrema (Hitze) mildern können, verbessern **Gewässer** den Austausch bzw. die Ventilation und damit auch die Luftqualität, sofern nicht übermäßige Spurenstoffemissionen aus der Binnenschifffahrt dem entgegenstehen.

Die **planerische Relevanz** von Freilandflächen, Parks, Wäldern und Gewässern ist daher insbesondere dann gegeben, wenn die Möglichkeit besteht, dass unter geeigneten Witterungsbedingungen die kühlere und ggf. auch saubere Luft über rauhigkeitsarme Ventilationsbahnen in die angrenzende Bebauung mit ungünstigeren mikroklimatischen Bedingungen transportiert wird und dort zu einer Verbesserung des Klimas beitragen kann (MW-BW 2012). Diese Flächen besitzen dann eine hohe „**Klimaaktivität**“. Diese Funktion ist insbesondere während **windschwacher** oder **heißer Witterungsbedingungen** von Bedeutung. Insbesondere in heißen, klaren Nächten kann durch den Zustrom kühlerer Luft aus dem Umland (**Kaltluft**) die **Hitzebelastung** in Stadtquartieren spürbar reduziert werden. Freilandflächen, Parks, Wälder und Gewässer werden daher mit einer hohen **Empfindlichkeit** gegenüber nutzungsändernden Eingriffen bewertet; d.h. bauliche und zur Versiegelung beitragende Nutzungen können zu spürbaren klimatischen Beeinträchtigungen der Klimafunktion der Freiflächen führen.

Ziel der Umweltplanung hinsichtlich des Stadtklimas ist es daher, das ungünstige Klima in den belasteten versiegelten und bebauten Bereichen zu verbessern, indem Quartiere klimagerecht gestaltet sowie die klimatisch günstigen, unversiegelten Flächen im Umland gesichert und deren positive Wirkung auf die versiegelten und bebauten Bereiche erhalten, verbessert und gefördert werden.

Durch die gesetzlichen Regelungen werden klimatologische Aussagen sowohl in der räumlichen Gesamtplanung als auch im Bereich der sektoralen Fachplanung benötigt und gefordert. Für eine nachhaltige und klimawandelgerechte Stadtentwicklung ist die genaue Kenntnis der aktuellen, lokalklimatischen und lufthygienischen Verhältnisse daher unabdingbar und von öffentlichem Interesse. **Gesamtstädtische Klimaanalysen** sind daher für eine qualifizierte Flächennutzungsplanung in Verdichtungsräumen von großer Bedeutung. Sie stellen eine ausführliche Daten- und

Beurteilungsgrundlage für den biometeorologischen sowie immissionsklimatischen Handlungs- und Planungsbedarf eines Siedlungsraumes dar (KUTTLER 2004b).

Insbesondere für größere Städte ist die Erstellung einer Klimaanalyse mit Planungshinweisen sinnvoll, um dem gesetzlich geforderten Schutz des „Klimas“ und der „Luft“ gerecht zu werden (LANUV 2010).

2.2 Ziele der Klimaanalyse Heilbronn

Da auch die Großstadt Heilbronn einem stetigen Flächenwandel unterliegt und zukünftig von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen sein wird, soll mit der vorliegenden Klimaanalyse eine Arbeitsgrundlage geschaffen werden, welche die heutige stadtklimatische Situation für das gesamte Stadtgebiet erfasst und bewertet. Damit ist es in der Umweltplanung möglich, zukünftige Flächeneingriffe bezüglich der Schutzgüter „Klima“ und „Luft“ im Sinne einer Ersteinschätzung zu beurteilen und deren klimaökologische Relevanz zu ermesen.

Die Klimaanalyse beinhaltet mehrere Komponenten, die aufeinander aufbauen:

Schritt 1: Die aktuelle klimatische Situation Heilbronns wird anhand verschiedener wissenschaftlicher Methoden erhoben (siehe **Kap. 6**). Hierzu zählen Klimamessungen vor Ort und numerische Verfahren, welche flächendeckende Aussagen zum Stadtklima erlauben.

Auf Grundlage dieser Datenbasis werden die belasteten Stadtgebiete (Ungunst- oder Lasträume) und unbelasteten Stadtgebiete (Gunst- oder Ausgleichräume) ermittelt und ihre räumlichen klimafunktionalen Wechselbeziehungen aufgezeigt, sodass das gesamtstädtische klimatische Wirkungsgefüge Heilbronns dargestellt werden kann.

Im Anschluss erfolgt die Aufbereitung dieser Informationen zur Anwendung in der Umweltplanung gemäß der VDI-Richtlinie 3787 Blatt 1 (VDI 2015), die Empfehlungen für die Darstellung klimatischer Sachverhalte für die Planung aufzeigt und in Deutschland allgemein anerkannt ist (VM-BW 2012, BAUMÜLLER & REUTER 2003). Hierbei wird in zwei Schritten vorgegangen:

Schritt 2: Die klimatischen Sachverhalte werden zunächst kartografisch in Form einer „**Klimaanalysekarte**“ abgebildet. Diese beinhaltet die Darstellung der Ungunst- bzw. Lasträume und Gunst- bzw. Ausgleichräume sowie den zwischen ihnen bestehenden räumlichen Klimafunktionen.

Schritt 3: Aus der Klimaanalysekarte werden Handlungsempfehlungen erarbeitet, die in der „**Planungshinweiskarte**“ dargestellt werden. Diese löst sich von der ausschließlich klimawissenschaftlichen Darstellung und konzentriert sich auf die klimaökologische Bewertung einzelner Gebietsbereiche. In Abhängigkeit der jeweiligen Klimateigenschaften werden Handlungsempfehlungen zur Verbesserung ungünstiger Gebiete und Flächen

oder zum Schutz bzw. Erhalt günstiger Gebiete und Flächen aufgezeigt. In Ergänzung zur Planungshinweiskarte wird ein schriftlicher Handlungsleitfaden erstellt, der das klimatische Wirkungsgefüge Heilbronns detailliert beschreibt und möglichen Handlungsoptionen ausführlich darstellt.

3 Charakterisierung des Untersuchungsgebietes

3.1 Naturräumliche Beschreibung und Abgrenzung

Heilbronn liegt im nördlichen Baden-Württemberg in der vom Neckar geschaffenen, fruchtbaren Talfläche des Heilbronner Beckens, einem nördlichen Ausläufer des Neckarbeckens.

Das Stadtgebiet umfasst, seit der Eingemeindung von 8 ursprünglich eigenständigen Gemeinden, eine Fläche von etwa 100 km² bei einer Nord-Südausdehnung von 13 Kilometern und einer Ost-Westausdehnung von 19 Kilometern (HANSCH ET AL 2008). Die Markungsgrenze beträgt 72 Kilometer, die Bevölkerungsdichte ca. 1200 Einwohner je km². **Abb. 3-1** zeigt einen Ausschnitt aus der topographischen Karte mit der Stadtgrenze von Heilbronn.

Trotz der vergleichsweise geringen Fläche von ca. 100 km² hat das Stadtgebiet Anteil an den drei Naturräumen Neckarbecken, Kraichgau und Schwäbisch-Fränkische Waldberge (MÜLLER, OBERDORFER 1974). Dies spiegelt sich in der Topografie wieder mit einem Höhenunterschied zwischen Talauie mit ca. 150 m über NHN und der höchsten Erhebung im Osten (Reisberg) mit 378 m über NHN. Die so genannten Heilbronner Berge (HANSCH ET AL 2006) (Bergzone) als Ausläufer der Löwensteiner Berge im **Osten** der Stadt, überwiegend bewaldet, werden zum Naturraum Schwäbisch-Fränkische-Waldberge gezählt. Zu den Heilbronner Bergen zählen u. a. die Erhebungen Büchelberg, Galgenberg, Gaffenberg, Hintersberg, Reisberg, Schweinsberg und Wartberg. Im Norden schließt die Sulmer Bergebene an. Die unmittelbar an das Tal anschließenden Randhöhen von Wartberg und Jägerhaus erreichen eine Höhe von ca. 310 m über NHN. Die östlichen Hangbereiche zur Stadt hin (Hangzone) bestehen überwiegend aus ausgedehnten Rebflächen. Der geologische Untergrund wird in der Bergzone von den Schichten des Schilfsandsteins, in der Hangzone von Unteren Bunten Mergeln und Gipskeuper geprägt.

Nach Westen schließt sich an die Hangbereiche das Heilbronner Becken (Hügelzone, Stadtzone) als Bestandteil des Naturraums Neckarbecken mit nur geringen Höhenunterschieden an. Der Innenstadtbereich von Heilbronn liegt im Zentrum einer geologischen Mulde („Heilbronner Mulde“), die der Neckar während der Eiszeiten „ausmodelliert“ hat. So entstand bspw. auch im Südwesten der Prallhang bei Klingenberg, der sich als Felsband (Naturdenkmal „Felsendiluviae“) darstellt und in dem der Muschelkalk oberflächlich ansteht. Die Beckenlandschaft umfasst neben dem Kernstadtbereich die Stadtteile Böckingen, Horkheim, Klingenberg, Neckargartach und Sontheim.

Das Heilbronner Becken geht im Westen in das leicht gewellte, von verschiedenen Bachtälern durchzogene Gartacher Feld über, das dem Naturraum Kraichgau zugeordnet wird. Der Untergrund wird hier durch mächtige, während der späten Eiszeit abgelagerte Lößauflagen (im Natur-

schutzgebiet „Frankenbacher Schotter“ bis zu 19 m) geprägt, aus denen sich fruchtbare Lößlehm-
böden entwickelt haben. Die fruchtbaren Böden sind dann auch der Grund für die ausgedehnte,
intensive Ackernutzung und den nur geringen Bewaldungsanteil im Westen von Heilbronn.

Hinsichtlich der Flächennutzungsstruktur im Stadtgebiet von Heilbronn haben die versiegelten
Flächen (Wohnen, Industrie/Gewerbe, Verkehr, Ent- und Versorgung) etwa einen Anteil von
33 %, die unversiegelten Flächen von ca. 67 %. Unter den versiegelten Flächen sind Wohnquar-
tiere sowie Verkehrsflächen mit je 11 % der Stadtfläche etwa gleich stark vertreten; Gewerbe-
und Industriegebiete tragen etwa 5,5 % zur Stadtfläche bei. Die Grün- und Landwirtschaftsflächen
nehmen nahezu 50 %, die Waldgebiete etwa 14 % des Stadtgebietes ein.

In **Tab. 3-1** sind die Flächennutzungen für das Stadtgebiet Heilbronn zusammengestellt

**Tab. 3-1: Verteilung der Flächennutzungen im Stadtgebiet von Heilbronn (Quelle: Stat. Lan-
desamt, Stand:31.12.2015).**

Nutzungsart	Anteil an der Gesamtbodenfläche	
	[ha]	[%]
Bodenfläche gesamt	9.988	100
Gebäude und Freifläche (Wohnen, Industrie/Gewerbe etc.)	2.131	21,3
Betriebsfläche (Entsorgung, Halde, Lagerplatz etc.)	67	0,7
Erholungsfläche (Grünfläche, Sportfläche)	248	2,5
Verkehrsfläche (Straße, Platz, Bahn, Schiff etc.)	1.080	10,8
Landwirtschaftsfläche (Ackerland, Grünland, Rebkultur etc.)	4.718	47,2
Waldfläche (Laubwald, Nadelwald, Mischwald etc.)	1.417	14,2
Wasserfläche (Bach, Fluss, Hafen etc.)	218	2,2
Flächen sonstiger Nutzung (Friedhof, Schutzfläche, etc.)	109	1,1

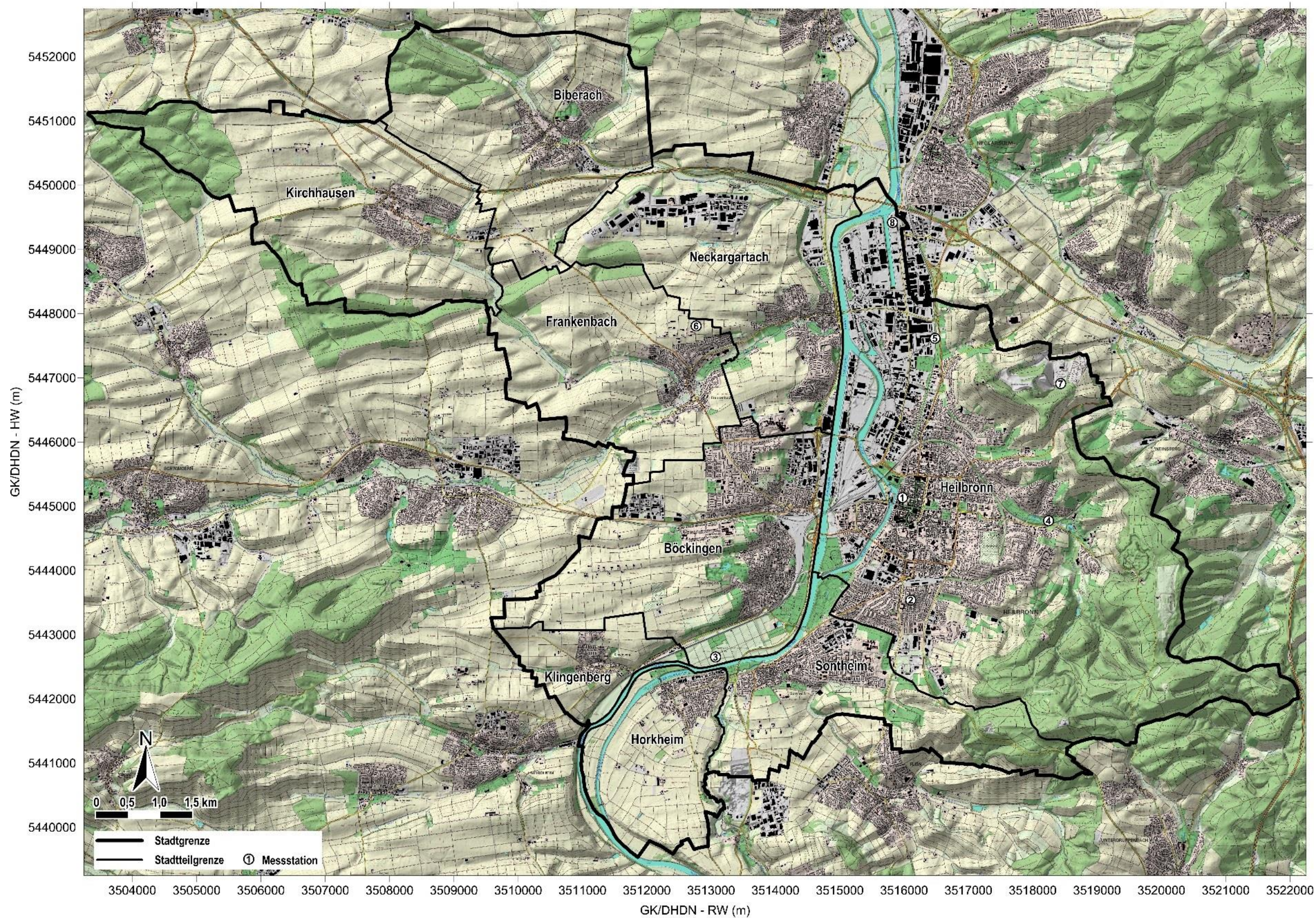


Abb. 3-1. Stadt Heilbronn: Topografische Karte mit Reliefschumierung
(Quelle: Kartengrundlage aus RK10, DGM10 ©Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg www.lgl-bw.de, Az.: 2851.9-1/19).

3.2 Makroklimatische Zuordnung und regionalklimatische Merkmale

Die Region Heilbronn wird makroklimatisch durch ihre Lage in den mittleren Breiten und die relative Nähe zu dem vom Golfstrom beeinflussten atlantischen Ozean (870 km) sowie zur Nordsee (530 km) geprägt. Die Kontinentalität beträgt ca. 25 % (**Tab. 3-2**).

Tab. 3-2: Vergleich der Kontinentalität und Klimaklassifikation Heilbronns mit ausgewählten anderen Orten nach verschiedenen Autoren.

Ort	Kontinentalität in %		Klima	
	GORCZINSKI (1920)	SCHREPFER (1925)	KÖPPEN (1931)	
Azoren	5,9	9,0	Csa	ozeanisch / maritim ↓ kontinental
Norderney	17,1	19,4	Cfb	
Essen	18,9	21,9	Cfb	
Heilbronn	23,5	27,3	Cfb	
Passau	32,0	37,4	Cfb	
Krakau	32,6	37,0	Cfb	
Ulan-Ude (Sibirien)	78,2	86,4	Dwc	

Im langjährigen Mittel herrschen deshalb im Vergleich zu anderen Orten auf diesem Kontinent vergleichsweise kühlere und feuchtere Sommer sowie milde Winter bei einem weitgehend ausgeglichenen thermischen Jahresgang vor (Cfb-Klima nach KÖPPEN 1931). Zurückzuführen ist dies darauf, dass in der warmen Jahreszeit eine großräumige Luftdruckverteilung mit relativ hoher nördlicher Lage der subtropischen Hochdruckzellen und relativ niedrigem Luftdruck über Asien häufig wetterbestimmend ist. Daraus resultiert überwiegend eine vorherrschende Südwestströmung. Im Winter hingegen baut sich über Asien ein Kältehoch auf, während die Subtropenhochs in niedrigeren Breiten dominieren. Als Ausgleichsströmungen stellen sich meist südwestliche Windrichtungen ein. Für die Sommermonate ergibt sich daraus eine Zufuhr meist kühlerer Nordatlantikluft, in den Wintermonaten wird dagegen relativ häufig warme Luft aus Südwest nach Mitteleuropa geleitet, wodurch sowohl die Sommer- als auch die Wintertemperaturen gedämpft werden.

Für die Stadt Heilbronn liegen langjährige klimatische Beobachtungsdaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) seit 1859 vor. Im Zeitraum 1958 bis zum Jahr 2003 wurden diese Daten vom DWD in der Pfühlstraße erhoben. Diese erlauben statistisch abgesicherte Aussagen zum Klima Heilbronns. Diese innerstädtische Station wird seit Ende 2003 nicht mehr betrieben. Allerdings ist seit 1997 eine Klima- und Luftmessstation der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) nördlich des Stadtgebietes von Heilbronn im Industrie-/Gewerbegebiet in der Hans-Rießler-Straße in Betrieb.

Die nachfolgenden Abbildungen **Abb. 3-2** und **Abb. 3-3** zeigen in zwei unterschiedlichen Darstellungsarten die langjährigen Reihen der Lufttemperatur und des Niederschlags der DWD-Station im Zeitraum von 1859 bis 2003 und der LUBW-Station im Zeitraum von 1997 bis 2015. Dabei ist zu berücksichtigen, dass hierbei die Reihen der unterschiedlich gelegenen Stationen DWD und LUBW miteinander verknüpft werden, so dass in den absoluten Zahlen Unterschiede bestehen. Die Pfühlstraße liegt am östlichen Rand der Heilbronner Innenstadt, die Hans-Rießler-Straße im Industriegebiet nördlich der Heilbronner Kernstadt. Für den Überschneidungszeitraum 1997 – 2003 wurden an der LUBW im Mittel 4,4 % niedrigere Niederschläge sowie ca. 0,3 K höhere Lufttemperaturen gemessen¹. Die interannuellen Änderungen verlaufen jedoch weitgehend gleichsinnig, wie der Detailausschnitt in **Abb. 3-3** zeigt, sodass beide Stationsreihen zur Abschätzung von Trends verwendet werden können.

Bei den **Niederschlägen** ist eine sehr hohe Variabilität zwischen den einzelnen Jahren zu erkennen. Die Niederschlagssumme schwankt zwischen 1.217 mm in 1882 und 306 mm in 1947 (vgl. **Tab. 3-3**). Insgesamt ist jedoch ein leicht ansteigender Trend bis zum Jahre 2003 zu beobachten. Seitdem ist der Trend jedoch eindeutig stark fallend, d.h. der Niederschlag ist rückläufig und der mittlere Jahresniederschlag der letzten Dekade (2001 - 2010) betrug ca. 650 mm.

Bei den erst seit 1947 gemessenen **Lufttemperaturen** ist zunächst ein abnehmender Trend bis 1956 zu beobachten. Seit 1957 ist jedoch bis heute ein deutlicher Temperaturanstieg auf zuletzt 10,7 °C Jahresmitteltemperatur (Dekade 2001 - 2010) zu verzeichnen.

Das sowohl wärmste als auch trockenste Jahr war 1947 mit einer jahresgemittelten Lufttemperatur von 13,3 °C und einer jährlichen Niederschlagsmenge von 386 mm (siehe **Tab. 3-3**), gefolgt vom Jahr 2003 mit dem „Jahrhundertsommer“ (DWD 2003) mit 12,6 °C und 446 mm. Auch das Jahr 2014 zählt mit 12,4 °C zu den drei wärmsten Jahren dieses Zeitraums. Als kühles und verregnetes Jahr ist 1965 mit 9,2 °C und 1.181 mm zu nennen. Einzelne Jahre waren noch kühler (1962 mit 9,0 °C und 1956 sowie 1963 mit jeweils 8,7 °C) oder noch niederschlagsreicher (1882 mit 1.217 mm). Auch das drittfeuchteste Jahr 1886 (1.087 mm) ist auffällig.

¹ Nach DIN werden Temperaturdifferenzen in der SI-Einheit Kelvin (K) angeben.

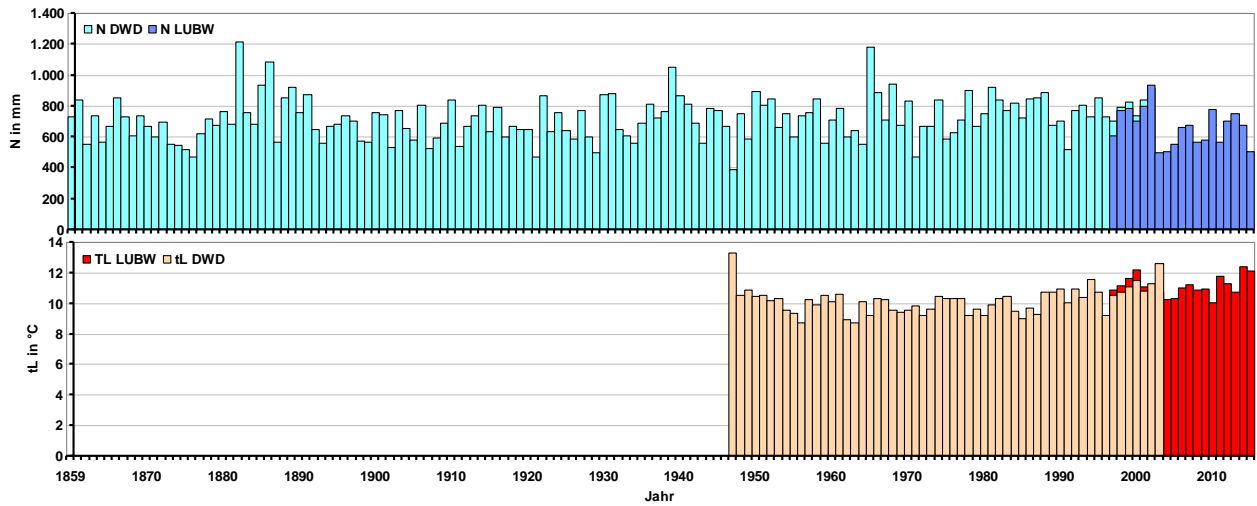


Abb. 3-2: Lange Messreihe (1859 – 2015) der Lufttemperatur TL und des Niederschlages N an den Stationen DWD und LUBW in Heilbronn (Daten: DWD 2016a und LUBW 2016).

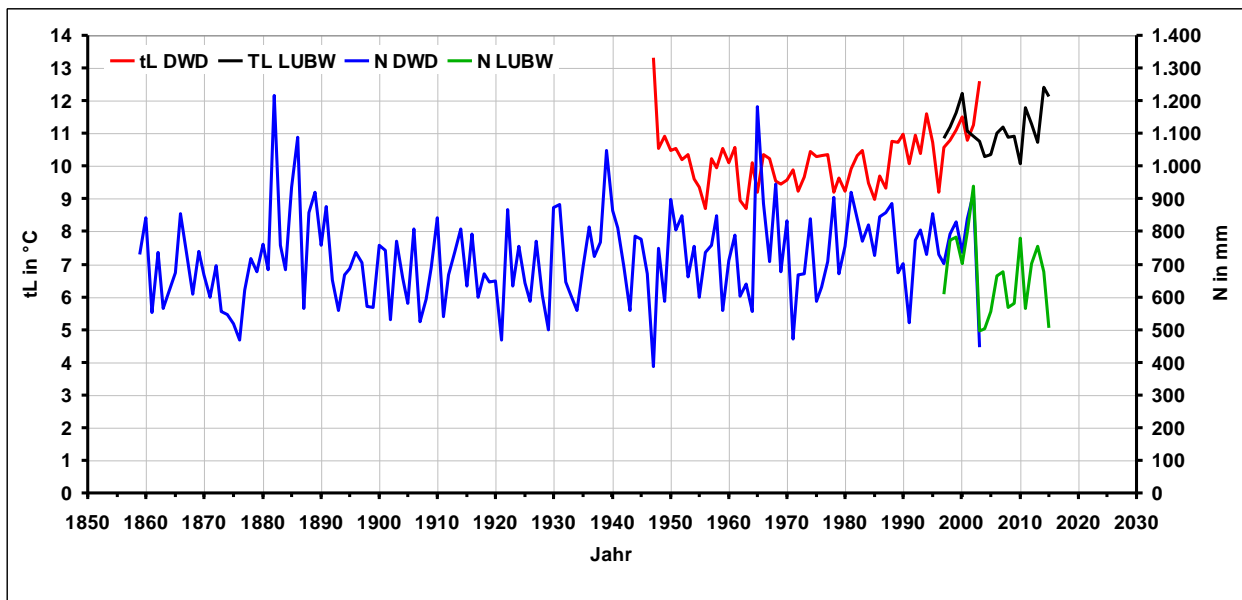


Abb. 3-3: Lange Messreihe (1859 – 2015) der Lufttemperatur TL und des Niederschlages N an den Stationen DWD und LUBW in Heilbronn (Daten: DWD 2016a und LUBW 2016).

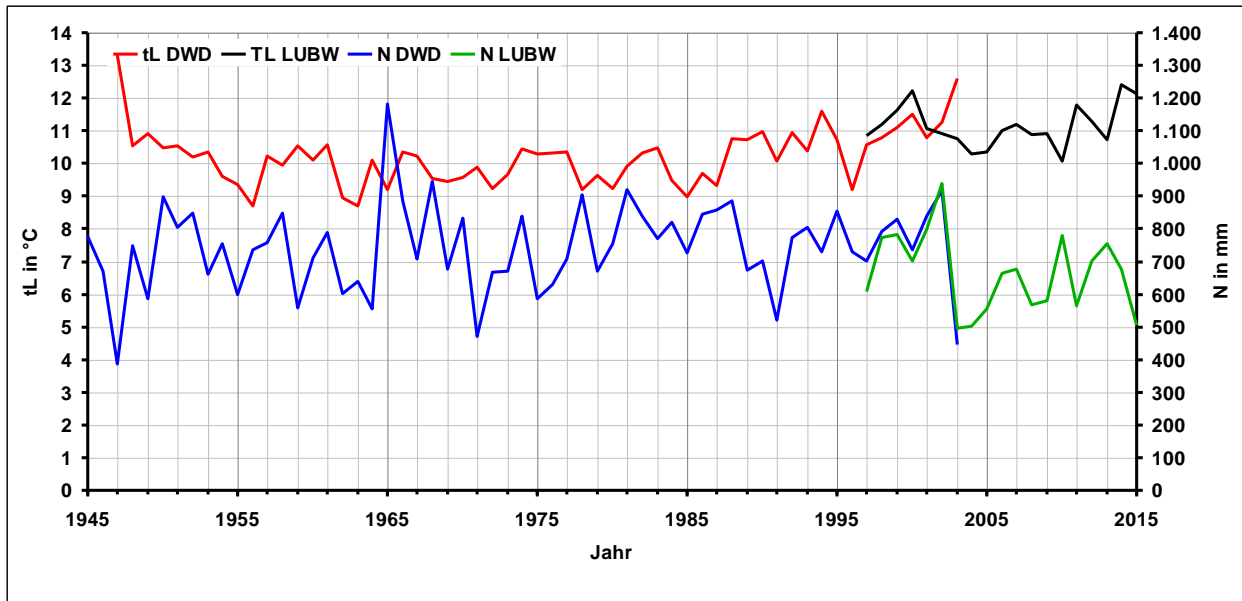


Abb. 3-4: Messreihe 1947 – 2015 der Lufttemperatur TL und des Niederschlages N an den Stationen DWD und LUBW in Heilbronn (Daten: DWD 2016a und LUBW 2016).

Tab. 3-3: Oberste und unterste Top 3-Jahre für Jahresmitteltemperatur TL und Jahresniederschlag N in Heilbronn (Daten: DWD 2016a und LUBW 2016).

Jahr	TL in °C Station	N in mm Station
1882	Keine Daten	1.217 DWD
1886	Keine Daten	1.087 DWD
1947	13,3 DWD	386 DWD
1956	8,7 DWD	737 DWD
1962	9,0 DWD	603 DWD
1963	8,7 DWD	639 DWD
1965	9,2 DWD	1.181 DWD
2003	12,6 DWD	446 DWD
2004	10,3 LUBW	503 LUBW
2014	12,4 LUBW	678 LUBW

Für die LUBW-Station liegen für den Zeitraum 1997 – 2015 ergänzend Trends der Auftrittshäufigkeiten von Sommertagen, heißen Tagen, Frosttagen und Eistagen sowie dem Jahresmittel der Windgeschwindigkeit u [m/s] vor (Abb. 3-5).

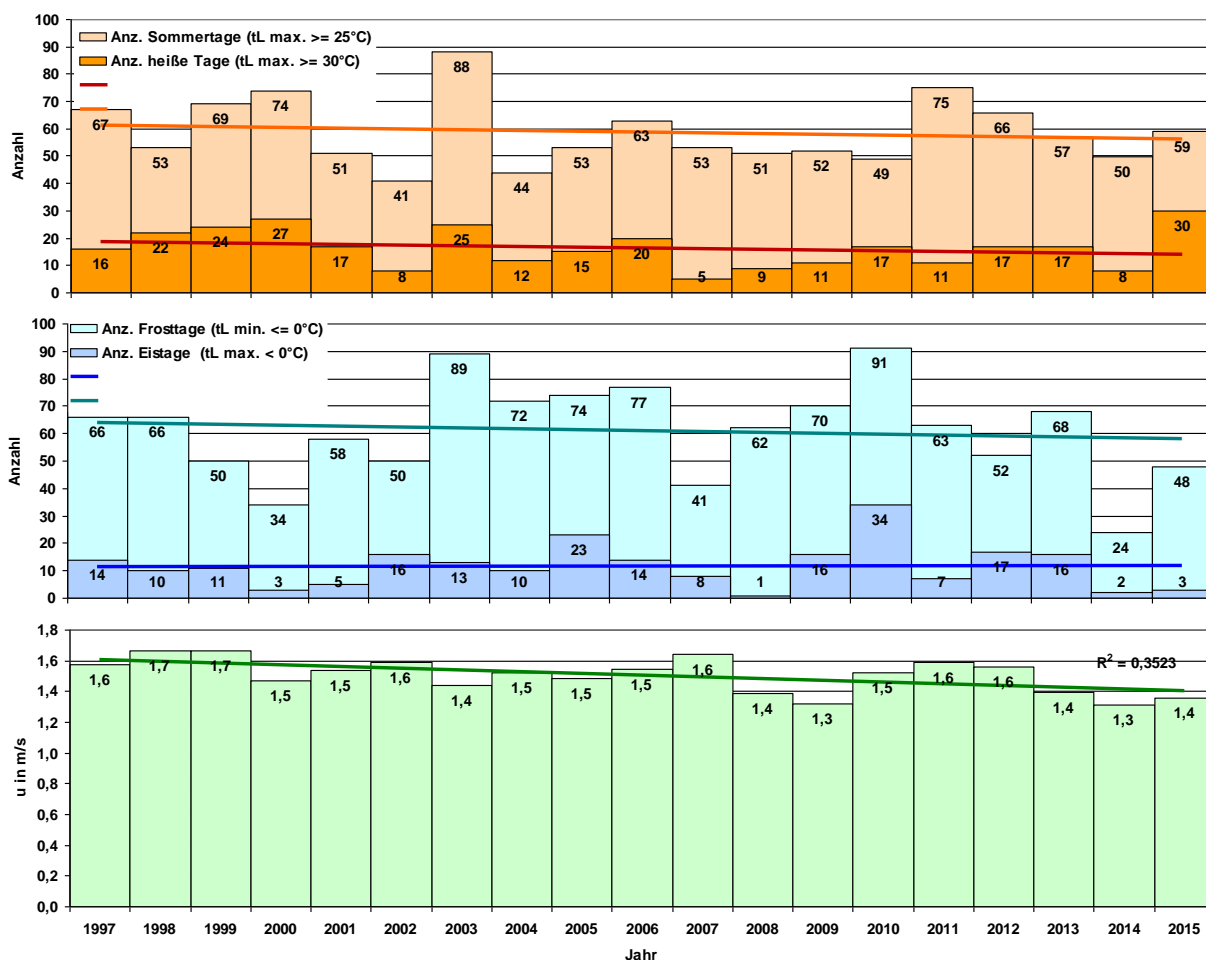


Abb. 3-5: Trends verschiedener Klimadaten im Gewerbegebiet Hans-Rießler-Str. in Heilbronn (Daten: LUBW 2016).

Bei der jahresmittleren **Windgeschwindigkeit** ist ein leicht abnehmender Trend von 1,6 m/s bis 1,7 m/s in 1997-1999 um 18 % auf 1,3 m/s bis 1,4 m/s in 2014/2015 zu verzeichnen. Ob dieser Effekt witterungsbedingt, durch eine sich verändernde Umgebung (erhöhte Rauigkeit durch zunehmende Nachverdichtung durch neue Gebäude oder gewachsene Bäume) oder eine veränderte Messhöhe hervorgerufen ist, kann an dieser Stelle nicht geklärt werden.

Bei den Ereignistagen sticht der Jahrhundertssommer 2003 mit 88 **Sommertagen** und 25 **heißen Tagen** deutlich hervor. Gleichzeitig war der Winter 2003 mit der zweithöchsten Anzahl von 89 **Frosttagen** relativ kalt. Weitere sehr warme Sommer waren 2000 und 2011 mit 74 bzw. 75 Sommer- und 27 heißen Tagen (2000). Die meisten heißen Tage wurden jedoch im hiesigen Messjahr 2015 registriert.

Als besonders kalte Winter sind 2010 mit 91 Frost- und 34 Eistagen sowie 1996 mit 77 Frost- und 24 Eistagen und 2005 mit 74 Frost- und 23 Eistagen zu nennen. Bei allen Ereignistagen ist auffällig, dass trotz des ansteigenden Trends bei der Jahresmitteltemperatur bei den Sommertagen und heißen Tagen eine Stagnation mit marginaler absteigender Tendenz zu beobachten ist. Gleiches gilt für die Frost- und Eistage. Ob es sich hierbei um einen längerfristigen Zustand handelt,

bleibt abzuwarten, da zuverlässige statistische Aussagen gemäß WMO erst über einen Zeitraum von 30 Jahren getroffen werden können (KUTTLER 2009). Derartig lange Messperioden liegen für die Station LUBW noch nicht vor, aber für die DWD-Station. Im Folgenden werden daher einige thermische Messgrößen sowie der Niederschlag für die 30-jährige Referenzperiode 1961 – 1990 sowie für die Periode 1971 – 2000 im Sinne eines gleitenden Mittels dargestellt und verglichen (**Tab. 3-4**). Die Jahrgänge der Lufttemperatur und des Niederschlages sind zusätzlich im Klimadiagramm nach WALTER (1984) (**Abb. 3-6**) dargestellt.

Tab. 3-4: Klimastatistische Daten der DWD-Station Heilbronn für die Referenzperioden 1961 – 1990 und 1971 – 2000. (Daten: DWD 2016a).

Messgröße	Periode	Jan.	Feb.	März	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
Lufttemperatur	1961-1990	1,0	2,3	5,7	9,6	14,0	17,1	18,9	18,1	14,7	10,0	5,1	2,0	9,8
	1971-2000	1,7	2,5	6,4	9,7	14,4	17,2	19,3	18,8	14,7	9,9	5,1	2,8	10,2
	Diff. abs.	0,7	0,2	0,7	0,1	0,4	0,1	0,4	0,7	0,0	-0,1	0,0	0,8	0,4
Niederschlag	1961-1990	56,9	50,1	54,6	58,2	79,2	83,3	67,5	75,1	55,0	53,5	62,5	62,1	758,1
	1971-2000	52,0	47,0	52,0	47,0	80,0	81,0	78,0	59,0	60,0	63,0	62,0	66,0	747,0
	Diff. abs.	-4,9	-3,1	-2,6	-11,2	0,8	-2,3	10,5	-16,1	5,0	9,5	-0,5	3,9	-11,1
	Diff. rel.	-8,6 %	-6,2 %	-4,8 %	-19,2 %	1,0 %	-2,8 %	15,6 %	-21,4 %	9,1 %	17,8 %	-0,8 %	6,3 %	-1,5 %
Sommertage	1961-1990	0,0	0,0	0,1	0,8	4,6	9,7	13,8	13,0	5,1	0,6	0,0	0,0	47,8
	1971-2000	0,0	0,0	0,1	0,9	5,3	9,3	14,8	15,6	4,8	0,5	0,0	0,0	51,3
	Diff. abs.	0,0	0,0	0,0	0,1	0,7	-0,4	1,0	2,6	-0,3	-0,1	0,0	0,0	3,5
	Diff. rel.	0,0 %	0,0 %	0,0 %	12,5 %	15,2 %	-4,1 %	7,2 %	20,0 %	-5,9 %	-16,7 %	0,0 %	0,0 %	7,3 %
Heiße Tage:	1961-1990	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	1,7	4,6	3,2	0,4	0,0	0,0	0,0	10,3
	1971-2000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	1,7	4,9	4,6	0,4	0,0	0,0	0,0	12,2
	Diff. abs.	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,2	0,0	0,3	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9
	Diff. rel.	0,0 %	0,0 %	0,0 %	-100,0 %	66,7 %	0,0 %	6,5 %	43,8 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	18,4 %
Frosttage	1961-1990	16,9	14,6	9,2	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	8,7	16,0	69,3
	1971-2000	16,1	14,3	7,7	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	7,9	14,3	64,4
	Diff. abs.	-0,8	-0,3	-1,5	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,8	-1,7	-4,9
	Diff. rel.	-4,7 %	-2,1 %	-16,3 %	8,7 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	-5,9 %	-9,2 %	-10,6 %	-7,1 %
Eistage	1961-1990	6,3	2,4	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	4,8	14,4
	1971-2000	5,1	2,4	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	3,0	11,6
	Diff. abs.	-1,2	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	-1,8	-2,8
	Diff. rel.	-19,0 %	0,0 %	-33,3 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	50,0 %	-37,5 %	-19,4 %

DWD-Stationslage: 49°8'41" = 49.144752 N, 9°14'00" = 9.233334 E (Pfühlstraße)

Sommertag: $t_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$, Heißer Tag: $t_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$, Frosttag: $t_{\min} \leq 0^{\circ}\text{C}$, Eistag: $T_{\max} \leq 0^{\circ}\text{C}$

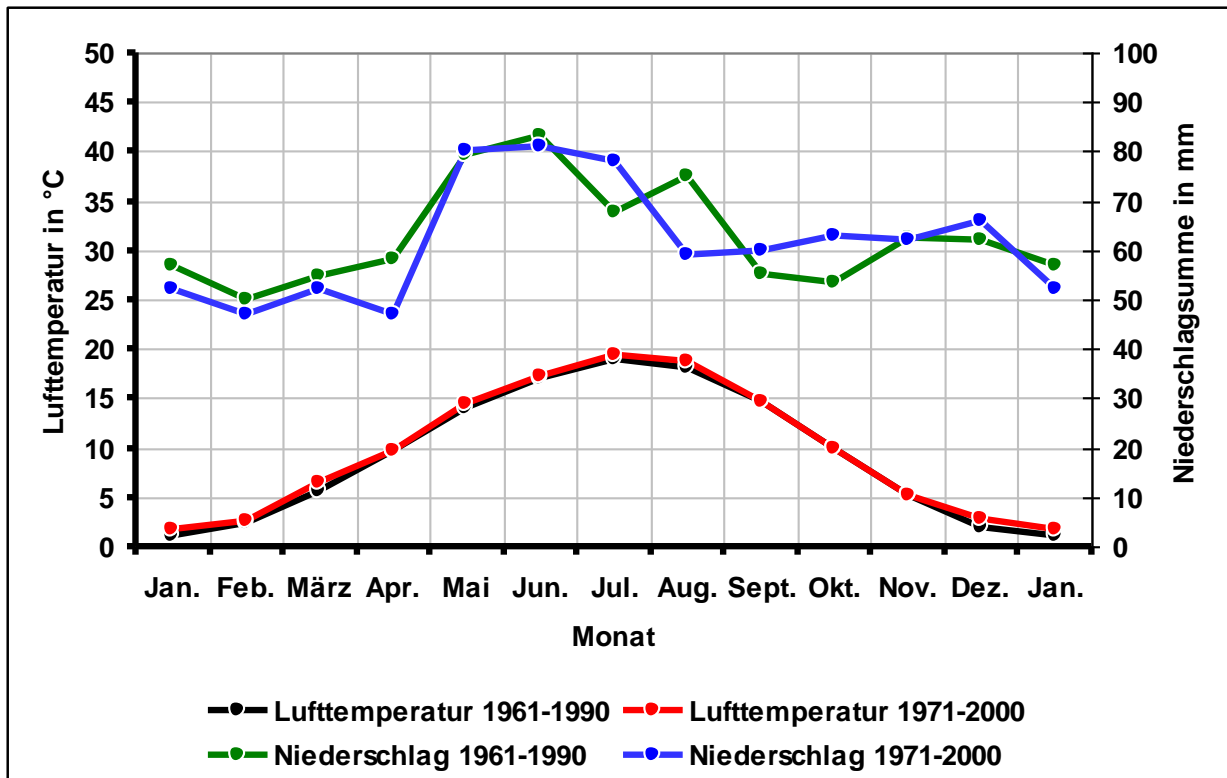


Abb. 3-6: Klimadiagramm der DWD-Station Heilbronn für die Referenzperioden 1961 – 1990 und 1971 – 2000. (Darstellung nach WALTER 1984, Daten: DWD 2016a).

In der **Referenzperiode** 1961 – 1990 reichen die Lufttemperaturen von 1,0 °C im Januar bis 18,9 °C im Juli. Niederschläge sind in allen Monaten zu verzeichnen. Zeitweise Trockenphasen treten nicht auf. Die Niederschläge reichen von 50,1 mm im Februar bis zu einem Sommermaximum von 83,3 mm.

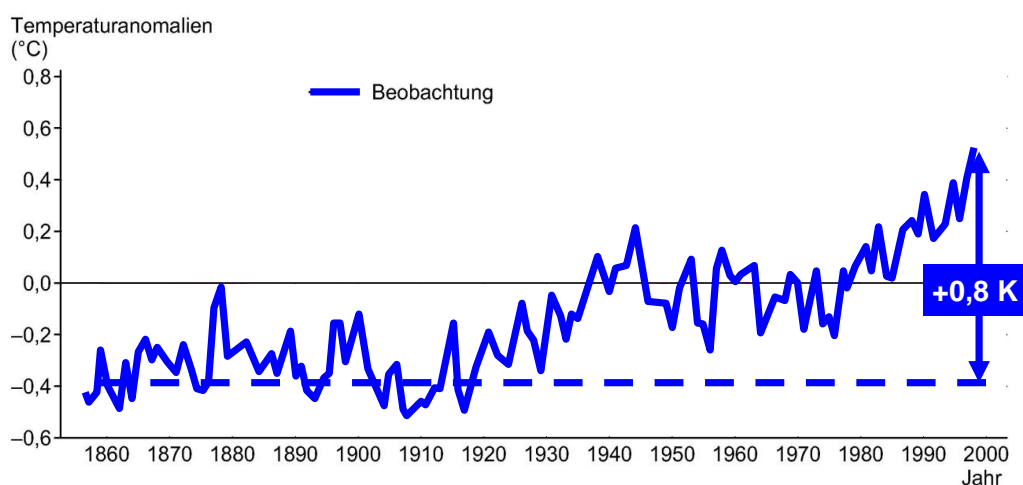
Es werden fast 48 Sommertage ($t_{Lmax} \geq 25 \text{ °C}$) registriert, entsprechend 13 % aller Tage im Jahr. Das Maximum liegt mit jeweils 13 Tagen im Juli und August. Auch im März und April können Sommertage auftreten, allerdings nicht in jedem Jahr. Heiße Tage ($t_{Lmax} \geq 30 \text{ °C}$) treten bis zu 10-mal im Jahr auf, ebenfalls mit einem Maximum im Juli und August (4,6 bzw. 3,2 Tage). Bemerkenswert ist das alle 10 Jahre vorkommende Auftreten von heißen Tagen bereits im April (0,1 Tage) sowie alle drei Jahre im Mai (0,3 Tage). Es wurden ferner 69 Frosttage ($t_{min} \leq 0 \text{ °C}$) (19 % aller Jahrestage) registriert, mit einem Maximum im Dezember und Januar (16 bzw. 17 Tage). Fröste können jedoch auch bereits im Oktober (1,7 Tage) und noch im April (2,3 Tage) auftreten. Die Eistage ($t_{max} \leq 0 \text{ °C}$) treten mit 14,4 Fällen relativ selten auf. Auch hier liegt der Schwerpunkt im Dezember und Januar.

Der Vergleich dieser Daten mit der **Periode 1971 – 2000** zeigt, dass der **Klimawandel** bereits stattfindet (zum zukünftigen Klima siehe **Kap. 7**, zum Begriff „Klimawandel“ siehe Infobox auf der nächsten Seite). So stieg innerhalb dieser Dekade die Jahresmitteltemperatur von 9,8 °C um

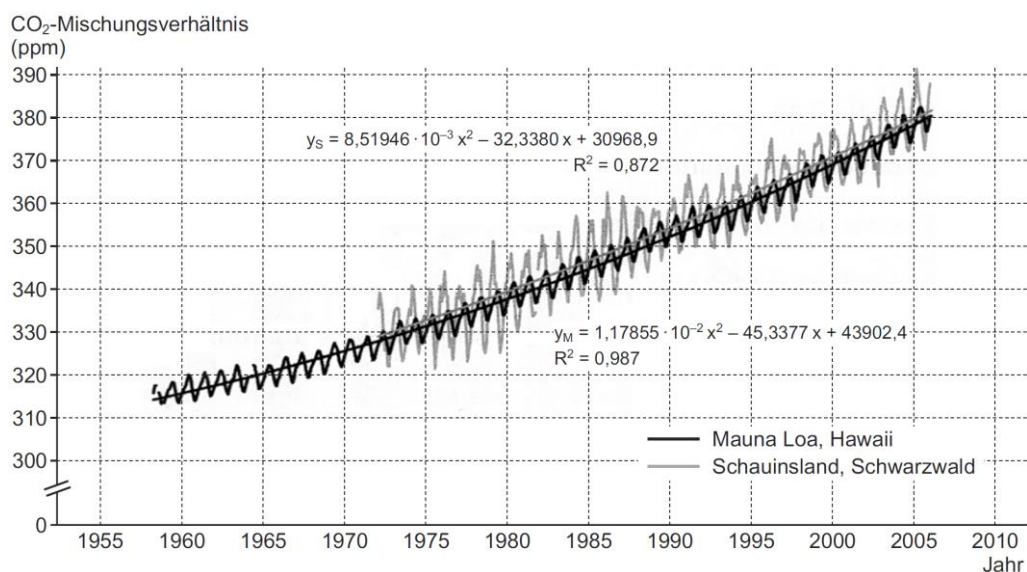
0,4 K auf 10,2 °C, wobei der stärkste Anstieg in den Wintermonaten Dezember und Januar (0,8 K bzw. 0,7 K), aber auch im Frühjahr (März: 0,7 K) sowie im August (0,7 K) zu verzeichnen war.

Infobox: Klimawandel

Die derzeitige politische Diskussion meint mit Klimawandel die **globale Erwärmung**. Seit der Industrialisierung Mitte des 18. Jahrhunderts bis zum Anfang des 21. Jahrhunderts wird ein Anstieg der globalen **mittleren** Lufttemperatur beobachtet, der mit einer gleichzeitigen Zunahme von treibhauswirksamen atmosphärischen Spurengasen einhergeht (siehe nachfolgende Abbildungen). Als Ursache wird die anthropogene Erhöhung der Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre genannt, die über den natürlichen Treibhauseffekt hinaus eine Steigerung der Lufttemperatur bewirkt (Kuttler 2009). Es handelt sich somit um eine Beobachtung der Lufttemperaturzunahme über viele Jahrzehnte, die einen Zusammenhang mit den ebenfalls ansteigenden atmosphärischen Spurengasen wahrscheinlich erscheinen lässt.



Beobachtete Abweichung der Globalen Lufttemperatur vom Mittelwert (1860 – 2000) (aus KUTTLER 2009, verändert).



Verlauf des CO₂-Mischungsverhältnisses an den Stationen Mauna Loa (M), Hawaii (4.170 m ü. NN), und Schauinsland (S), Schwarzwald (1.250 m ü. NN)). (aus KUTTLER 2009, verändert).

Somit wurde insbesondere der Winter milder. Dieses zeigen auch die Frosttage und Eistage, deren gesamtjährliche Anzahl um 7 % bzw. 19 % auf 64 Tage bzw. 12 Tage zurückging. Bei den Sommertagen wurde im Gegenzug für das Gesamtjahr ein Zuwachs von 3,5 Tagen (+7 %) auf 51 Tage sowie bei den heißen Tagen von 1,9 Tagen (+18 %) auf 12 Tage beobachtet.

Beim Jahresniederschlag ist ein Rückgang von 1,5 % auf 747 mm zu verzeichnen. Dabei sind die Monate Januar bis April sowie Juni, August und November betroffen, wobei insbesondere im April und August der Rückgang mit 19 % bzw. 21 % markant ist. Andererseits sind für einzelne Monate deutlich Niederschlagsanstiege zu verzeichnen. Juli +16 %, September +9 % und Oktober +18 %). Während sich der Erwärmungstrend zukünftig fortsetzen wird, ist bei den Niederschlägen zukünftig von einer leichten Zunahme auszugehen, wie später in **Kap. 7** zum Klimawandel ausgeführt wird.

Langjährige kontinuierliche Windmessungen liegen lediglich von der LUBW-Station in der Hans-Rießer-Straße vor. An der Messstation in 10 m Höhe über Grund überwiegen Winde aus Süd-südwest bis Westsüdwest. Das Sekundärmaximum liegt bei Winden aus nordöstlicher Richtung. Die mittlere Windgeschwindigkeit an der Messstation liegt in den letzten Jahren deutlich unter 2 m/s im Jahresmittel und scheint tendenziell eher noch abzunehmen (vgl. **Abb. 3-5**). Der große Anteil äußerst windschwacher Situationen mit Windgeschwindigkeiten < 1 m/s (fast 40 % Auftretenshäufigkeit) ist auf die Ausbildung von Inversionswetterlagen, bei denen eine Wärme- und Schadstoffakkumulation zu beobachten ist, zurückzuführen. Aus bioklimatischer, aber auch aus lufthygienischer Sicht sind aus diesem Grund an windschwachen Strahlungswetterlagen lokale Luftaustauschsysteme, die sich zwischen kühleren und wärmeren Flächen innerhalb des Stadtgebietes (Flurwinde) bzw. zwischen den Randhöhen und den Stadtrandgebieten (Kaltluftsysteme) ausbilden können, von großer Bedeutung.

Die Windverhältnisse, und zwar sowohl die Windrichtungsverteilungen als auch die Windgeschwindigkeiten variieren innerhalb des Stadtgebietes auf Grund der Topographie sowie der Rauigkeitsstrukturen. Einen guten Überblick über die kleinräumig variierenden Windverhältnisse geben die synthetischen Windrosen wieder, die von der ARGE IB Rau, Heilbronn und METCON Umweltmeteorologische Beratung, Pinneberg, im Auftrag des Landes Baden-Württemberg für das gesamte Bundesland in einem Raster von 500 x 500 m² berechnet wurden (BIGALKE UND RAU 2013 und BIGALKE ET AL 2008). Sie geben für einen 10-jährigen Zeitraum (2001 bis 2010) die Verhältnisse in etwa 10 m über Verdrängungshöhe wieder und berücksichtigen sowohl die topographische Gliederung als auch die variierenden Rauigkeitsstrukturen des Untergrundes.

In **Abb. 3-7** sind für das Stadtgebiet Heilbronn diese Windrosen dargestellt. Die Windrosen zeigen die für Heilbronn typische Dominanz von Winden aus südlicher bis südsüdwestlicher Richtung. Im Bereich Horkheim und Sontheim liegt das Maximum bei Winden aus südlicher Richtung und dreht dann im weiteren Verlauf nach Südwesten. Das Sekundärmaximum liegt bei Winden aus

nordnordöstlicher Richtung. Während im Bereich der ausgedehnten Freiflächen im Raum Horkheim und Sontheim das Geschwindigkeitsniveau bei 2,8 bzw. 2,6 m/s liegt, nimmt in Folge der hohen Rauigkeit mit Annäherung an das Stadtgebiet die mittlere Windgeschwindigkeit kontinuierlich bis auf etwa 2,0 m/s im Bereich des Hauptbahnhofes ab. Das bedeutet, dass die Durchlüftungswirkung im Innenstadtbereich gegenüber den südlichen Stadtteilen reduziert ist. Die Freiflächen bei Horkheim, die Neckarauen westlich des Neckars und in der Fortsetzung des Wertwiesenparks stellen somit eine wichtige Schneise dar, über die der Wind in das Stadtgebiet vordringen kann. Bei thermisch geprägten schwachwindigen Wetterlagen kann dies dazu führen, dass sich beispielsweise Kaltluft, die sich in der Mulde zwischen Horkheim und Sontheim ansammelt und zur Stagnation neigt, durch die Unterstützung des leichten Windes in die Randbereiche der Innenstadt vordringen kann. Allerdings sind mit Annäherung an die Innenstadt immer wieder Störungen der Strömungsschneise zu beobachten, so z. B. durch die Neckartalstraße mit Vertiefungen, Brückenbauwerken und seitlichem Damm, durch die Otto-Konz-Brücke und weiter nördlich durch die von Nordost nach Südwest verlaufende Bundesbahntrasse. Im Bereich der östlichen Randhöhen sowie im Bereich der überwiegend landwirtschaftlich genutzten Freiflächen westlich von Böckingen in Richtung Nordheim nehmen die mittleren Windgeschwindigkeiten deutlich zu.



Abb. 3-7: Flächige Verteilung der Windrichtungen (30°-Schritte) und jahresmittleren Windgeschwindigkeiten im Bereich von Heilbronn (Quelle: Kartengrundlage aus GoogleEarth™).

4 Stadtklima HN: Untersuchungsmethoden

4.1 Allgemeine Anforderungen an ein Messdesign

Wie in **Kap. 2** bereits dargelegt wurde, ist das lokale Klima stark von der Flächennutzung abhängig. Des Weiteren hat das Relief einen wesentlichen Einfluss auf das Klima. Und schließlich weist das Klima eine hohe zeitliche Variabilität auf. Hierzu zählen der allgemeine Jahres- und Tagesgang sowie der Einfluss des Witterungsgeschehens. Um das Heilbronner Klima in seiner Gesamtheit zu erfassen, werden lokale Klimainformationen in sowohl räumlich als auch zeitlich hoher Auflösung benötigt. In dieser Klimauntersuchung kommen daher sowohl Messverfahren als auch numerische Verfahren zum Einsatz, um die erforderliche hohe räumliche und zeitliche Dichte an Klimainformationen zu erhalten.

Hauptbestandteil des Messkonzeptes bildete ein einjähriges stationäres Klimamessnetz zur diurnalen, saisonalen und witterungsabhängigen Analyse der klimatischen Verhältnisse. Diese zeitlich hochauflösenden Messungen sind jedoch nur für das jeweilige nähere Stationsumfeld räumlich repräsentativ. Zur Erhöhung der räumlichen Dichte von Klimainformationen wurden daher ergänzend mobile Messmethoden in Form von Temperaturmessfahrten und punktuellen Windmessungen in ausgewählten Strahlungsnächten angewendet. Ferner wurden die Austauschverhältnisse flächendeckend mittels numerischer Simulationsverfahren untersucht.

Im Einzelnen wurden folgende Methoden zur Erfassung der zeitlichen und räumlichen Auflösung der klimatischen und lufthygienischen Situation in Heilbronn angewandt:

- Betrieb von vier und Auswertung von insgesamt acht Klimafeststationen,
- insgesamt 20 nächtliche Lufttemperaturmessfahrten in fünf Strahlungsnächten,
- flächendeckende Analyse der dynamischen Windverhältnisse und Kaltluftprozesse mittels numerischer Simulationsverfahren.

Das jeweilige zugrundeliegende methodische Vorgehen der verschiedenen Untersuchungsansätze wird in den folgenden Kapiteln näher erläutert.

Bereits an dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass in sämtlichen nachfolgenden Methodikbeschreibungen und Ergebnisdarstellungen die **Uhrzeiten** ausschließlich in Mitteleuropäischer Zeit (MEZ) angegeben werden. Eine Unterscheidung zwischen (normaler) Winterzeit und Sommerzeit erfolgt nicht. Dies ist insbesondere bei der Darstellung und Bewertung der Ergebnisse für das Sommerhalbjahr zu berücksichtigen. Ferner wird bei vielen zu untersuchenden Sachverhalten zwischen **Tag-** und **Nachtsituation** unterschieden. Die Tag-Nachtabgrenzung erfolgte nach STULL (1995) durch astronomische Berechnung der mittleren, wahren Heilbronner Ortszeit des apparenten Sonnenauf- und -untergangs für jeden einzelnen Tag der Messperiode. Als benötigte geografische Lagereferenz wurde die Innenstadt mit 49°8'N und 9°13'E gewählt. Während die

Dämmerungszeiten im Jahrgang variabel sind, ist der wahre Heilbronner Mittag immer um 12:23 MEZ und die wahre Heilbronner Mitternacht um 00:23 MEZ. Aufgerundet zur vollen Stunde sind dieses 12:00 MEZ und 0:00 MEZ. Anhand dieser Werte werden die Taghälften sowie Vormittage, Nachmittage und erste und zweite Nachthälfte abgegrenzt.

4.2 Stationäres Messnetz

4.2.1 Auswahl und Beschreibung der Stationsstandorte

Das stationäre Messnetz dient zur Erfassung des Klimas in seiner zeitlichen Variabilität bezüglich Jahrgang, Tagesgang und Witterungsgeschehen. Mit vier eigenen sowie den Daten von vier externen Klimastationen konnte das Klima in den wichtigsten Flächennutzungstypen analysiert werden. Nachfolgend werden die Messnetze sowie die Datenverarbeitung erläutert. Die Lage der acht Messstationen ist in **Abb. 4-1** dargestellt. Eine Übersicht über alle Stationen und ihre Eigenschaften enthalten die Tabellen **Tab. 4-1** bis **Tab. 4-4**.

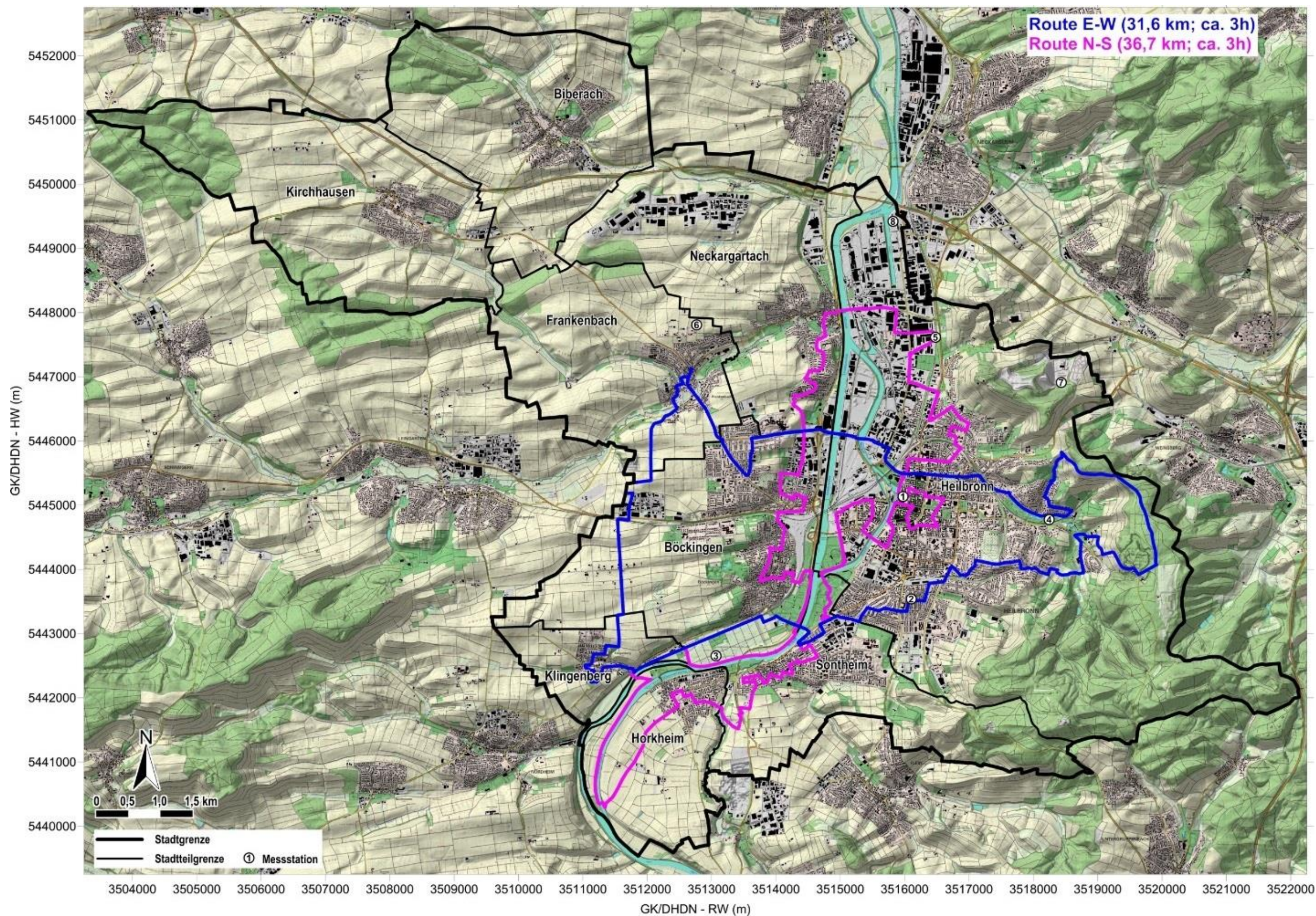
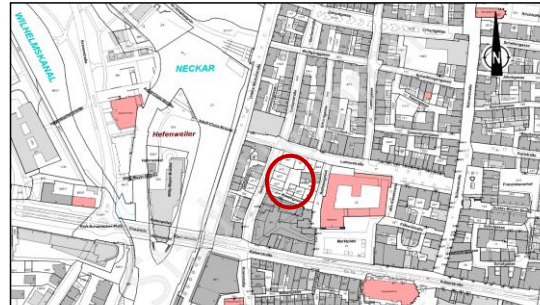


Abb. 4-1: Lage der Klimafeststationen und der Messfahrtrouten im Heilbronner Untersuchungsgebiet
(Quelle: Kartengrundla aus RK10, DGM10 ©Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg www.lgl-bw.de, Az.: 2851.9-1/19).

Tab. 4-1: Lage, Charakteristika und Messgrößen der Klimafeststationen Heilbronner im Untersuchungsgebiet: St.1 und St.2
 (Quelle der dargestellten Kartenauszüge und Luftbilder: Auszüge aus dem Geodatenportal, Vermessungs- und Katasteramt
 Stadt Heilbronn © Stadt Heilbronn www.heilbronn.de).

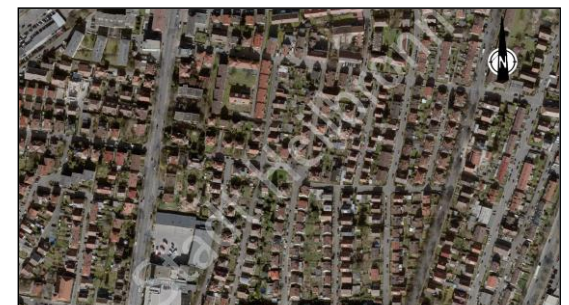
St.1 Innenstadt

Adresse Lothorstraße Ecke Gerberstraße
 Geogr. Lage E3515962 / N5445139
 Höhe ü NN (M) 158 m
 Klimatop Innenstadt
 Standortmerkmale Solartankstelle auf öffentl. Parkplatzfläche
 Messgrößen/-höhen 4 m über Gr.: tL, rF, u, WR
 zeitliche Auflösung: 5 min
 Betreiber: IBRAU



St.2 Wohngebiet

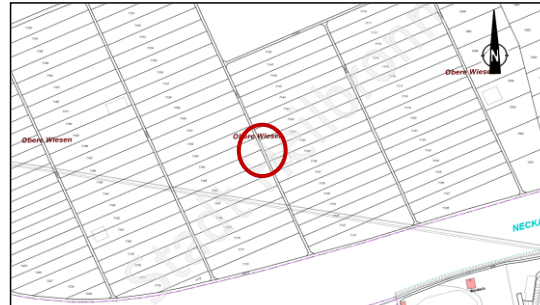
Adresse Louis-Hentges-Str. 15
 Geogr. Lage E3516111 / N5443543
 Höhe ü NN (M) 187 m
 Klimatop städtisches Wohngebiet
 Standortmerkmale Freigelände gegenüber Louis-Hentges-Str.15
 Messgrößen/-höhen 4 m über Gr.: tL, rF, u, WR
 zeitliche Auflösung: 5 min
 Betreiber: IBRAU



Tab. 4-2: Lage, Charakteristika und Messgrößen der Klimafeststationen Heilbronner im Untersuchungsgebiet: St.3 und St.4
 (Quelle der dargestellten Kartenauszüge und Luftbilder: Auszüge aus dem Geodatenportal, Vermessungs- und Katasteramt
 Stadt Heilbronn © Stadt Heilbronn www.heilbronn.de).

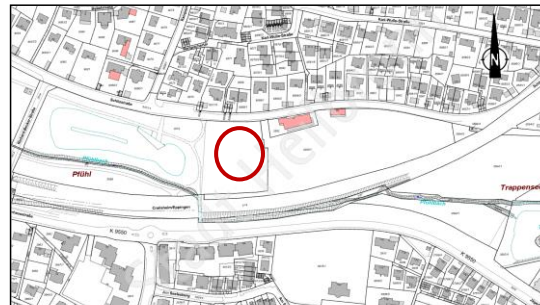
St.3 Neckaraue

Adresse Segelfluggelände Riegelwiesen
 Geogr. Lage E3513070 / N5442660
 Höhe ü NN (M)
 Klimatop Freiland
 Standortmerkmale Nah am Neckar
 Messgrößen/-höhen 4 m über Gr.: tL, rF, u, WR
 zeitliche Auflösung: 5 min
 Betreiber: IBRAU



St.4 Pfühlpark

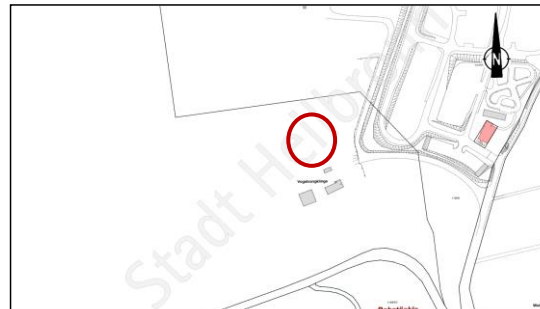
Adresse Schlizstraße 78
 Geogr. Lage E3518239 / N5444778
 Höhe ü NN (M) 183 m
 Klimatop Stadtrand/Park
 Standortmerkmale Freigelände gegenüber Hockeyplatz
 Messgrößen/-höhen 4 m über Gr.: tL, rF, u, WR
 zeitliche Auflösung: 5 min
 Betreiber: IBRAU



Tab. 4-4: Lage, Charakteristika und Messgrößen der Klimafeststationen Heilbronner im Untersuchungsgebiet: St.7 und St.8
 (Quelle der dargestellten Kartenauszüge und Luftbilder: Auszüge aus dem Geodatenportal, Vermessungs- und Katasteramt
 Stadt Heilbronn © Stadt Heilbronn www.heilbronn.de).

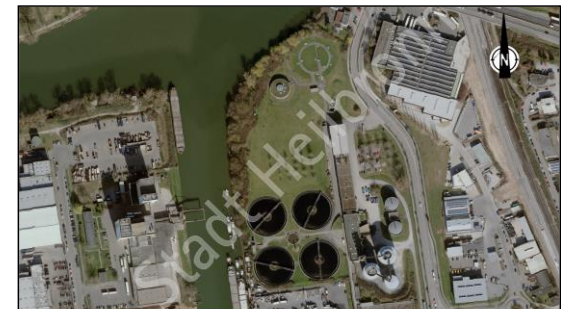
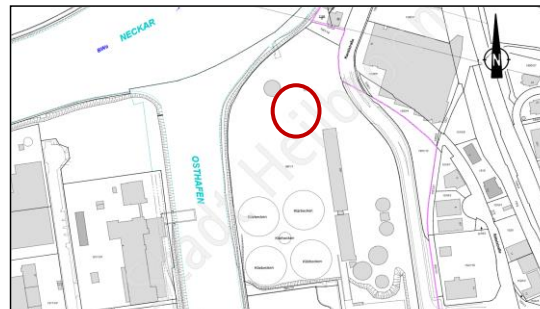
St.7 Wartberg

Adresse
 Geogr. Lage E3518429 / N5446916
 Höhe ü NN (M) 308 m
 Klimatop Freiland mit Waldumgebung
 Standortmerkmale Deponiegelände
 Messgrößen/-höhen 10m ü.G.: u
 4m ü.G.: TL, RF, DP, Nsch
 zeitliche Auflösung: 1 h
 Betreiber: MeteoMedia



St.8 Klärwerk

Adresse Austraße 201
 Geogr. Lage E3515822 / N5449422
 Höhe ü NN (M) 153 m
 Klimatop Gewerbe/ Industrie
 Standortmerkmale Nahe am Neckar gelegen
 Messgrößen/-höhen 15m ü.G.: u (10m Geb.+5m Mast)
 4m ü.G.: TL, RF, DP, Nsch
 zeitliche Auflösung: 1 h
 Betreiber: MeteoMedia



Die vier eigenen Messstationen wurden in vier unterschiedlichen Flächennutzungen bzw. Klimatopen installiert, die einerseits aus stadtklimatisch-biometeorologischer Sicht eine große Bedeutung haben und andererseits die vier bereits vorhandenen Messstationen in Heilbronn (im Folgenden als externe Stationen bezeichnet) ergänzen. Die eigenen Stationen sind:

- Station 1 „Innenstadt“: Im Kern der Innenstadt hinter dem Rathaus gelegen; typisch für den dicht bebauten, hoch versiegelten Innenstadtbereich, wegen Überwärmungstendenz bioklimatisch relevant.
- Station 2 „Wohngebiet“: Louis-Hentges-Straße, repräsentativ für die Heilbronner Wohnbebauung im äußeren Kernstadtbereich, steht für das Klimatop städtisches Wohngebiet, wegen Überwärmungstendenz bioklimatisch relevant.
- Station 3 „Neckaraue“: westlich des Neckars in der Nähe des Segelfluggeländes gelegen: die Riegelwiesen in der Neckaraue repräsentieren ein typisches Freilandklimatop in Luv der Stadt; in Bezug auf die Hauptwindrichtung und damit von Stadtklimaeffekten nahezu unbeeinflusst.
- Station 4 „Pfühlpark“: am westlichen Rand des Hockeygeländes in der Schlizstraße etwas östlich des Pfühlparks gelegen; diese Station am Hangfuß der östlichen Weinberghänge ist zum Nachweis potenzieller Kaltluftabflüsse von den östlichen Weinberghängen sowie zur Untersuchung der Funktion von potenziellen Ventilationsbahnen aufgestellt worden und repräsentiert das Klimatop Stadtrand/Parkklima.

Die externen Stationen sind:

- Station 5 „Gewerbegebiet“: Station der LUBW in der Hans-Rießler-Straße nördlich des Heilbronner Kernstadtbereichs; bei dieser Station handelt es sich um eine Klima-/Luftmessstation zur Erfassung der städtischen Hintergrundbelastung. Die Lage repräsentiert das Klimatop Gewerbe-/Industrie.
- Station 6 „Landwirtschaftsfläche“: Diese Klimamessstation wird seit 2004 von der LTZ (Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg) betrieben. Sie liegt auf einer Wiesenfläche westlich des Ortsrandes von Frankenbach (Naturraum Kraichgau) und repräsentiert das Klimatop Freiland der westlich gelegenen Anhöhen.
- Station 7 „Wartberg“: Bei dieser Station handelt es sich um eine Station der Meteo Media Gruppe (MM-Station) auf dem Heilbronner Deponiegelände Vogelsang. Die Station liegt auf der Ostseite des Höhenrückens, der vom Weinsberger Sattel bis zum Wartberg verläuft. Die Station repräsentiert die Heilbronner Randhöhen (Naturraum Fränkisch-Schwäbische Waldberge) im Osten und ist als Freilandklimatop mit Waldumgebung einzustufen.

- Station 8 „Klärwerk“: Bei dieser Station handelt es sich ebenfalls um eine Station der Meteo Media Gruppe (MM-Station) auf dem Klärwerkgelände. Diese Station repräsentiert das gewässernahe Gewerbe-/Industrieklimatop.

4.2.2 Erfassung klimatischer Daten

Für die eigenen Stationen erfolgte die Installation der Messinstrumente an Straßenlaternen oder Masten. Aus Sicherheitsgründen – zum Schutz gegen Vandalismus – wurde von der WMO vorgesehenen Standardmesshöhe von 2 m ü. Gr. (OKE 2006) abgewichen. Dies ist nach KUTTLER et al. (2014) im urbanen Gebieten möglich, da in Bodennähe die vertikalen Lufttemperaturunterschiede an einem Standort geringer sind als zwischen verschiedenen Klimatopen. Die Messungen wurden an den vier Standorten in vergleichbaren Höhen von ca. 3,4 m für die Lufttemperatur t_L und die relative Luftfeuchte rF sowie von 3,8 m für die Windgeschwindigkeit u und die Windrichtung WR durchgeführt, sodass die Messwerte als repräsentativ zur Bestimmung des thermischen Komforts im Fußgängerniveau (ca. 1,5 bis 2,0 m ü. Gr.) angesehen werden können.

Alle eigenen Messstationen waren mit einer Messtechnik (**Tab. 4-5**) ausgestattet, die den hohen Qualitätsanforderungen der VDI-Richtlinie 3786 „Umweltmeteorologie – Meteorologische Messungen“ (VDI 2013) entsprechen. Die Stationen waren mit kombinierten Temperatur- und Feuchtesensoren (Pt100, kapazitives Messelement, Fa. Friedrichs) in Strahlungsschutzhütten ausgestattet, um die Lufttemperatur (t_L) und relative Luftfeuchte (rF) zu bestimmen. Ferner wurden Schalenkreuzanemometer und Windfahnen (Fa. Friedrichs) installiert, die die Windgeschwindigkeit (u) und Windrichtung (WR) erfassten.

Die Aufzeichnung der sekundlich erfassten Daten erfolgte durch einen Datalogger vom Typ Combilog 1022 (Fa. Friedrichs), der die Daten automatisch zu Fünfminutenmittelwerte aggregierte. Die Daten wurden in einem wöchentlichen Rhythmus ausgelesen und auf ihre Plausibilität geprüft.

Die Messdaten der Fremdstationen wurden von den Betreibern validiert zur Verfügung gestellt.

Tab. 4-5: Gerätespezifikationen des stationären Heilbronner Messnetzes.

Kombinierter Temperatur- und Feuchtesensor in Strahlungsschutzhütte			
Hersteller	Friedrichs		
Typ	3031.0000		
Messgröße	Lufttemperatur	Messelement	Pt 100
		Messbereich	-40 °C bis +60 °C
		Messgenauigkeit	±0,1 °C
	relative Luftfeuchtigkeit	Messelement	Kapazitives Messelement
		Messbereich	0 bis 100 %
		Messgenauigkeit	±1 %
Kombinierter Windgeber auf L-Tragrohr			
Hersteller	Friedrichs		
Typ	4035 und 4121		
Messgröße	Windgeschwindigkeit	Messelement	Schalenkreuzanemometer
		Messbereich	0 bis 60 m·s ⁻¹
		Messgenauigkeit	±0,2 m/s
		Anlaufgeschwindigkeit	< 0,3 m·s ⁻¹
	Windrichtung	Messelement	Windfahne
		Messbereich	0 bis 359°
		Messgenauigkeit	±1°
	Datalogger		
Hersteller	Friedrichs		
Typ	COMBILOG 1022		
Messintervall	1 s		
Mittelungsintervall	5 Minuten		
Wartungsintervall	wöchentlich		

4.2.3 Datenverarbeitung

Tab. 4-6 enthält eine Übersicht zur Datenverfügbarkeit aller acht Stationen bezogen auf die aggregierten Stundenmittelwerte. Die technisch bedingten, temporären Messausfälle innerhalb des einjährigen Untersuchungszeitraums vom 01.04.2015 bis 31.03.2016 sind sehr gering. Die Datenverluste an den einzelnen Stationen belaufen sich demnach auf lediglich maximal 3 % des gesamten Kollektivs.

Anhand von Regressionsanalysen konnten die Datenlücken teilweise aus den Werten der anderen Stationen geschlossen werden. Dabei wurden verschiedene lineare und polynomische Regressionsanalysen geprüft und diejenige mit dem höchsten Bestimmtheitsmaß R^2 verwendet. Aus **Tab. 4-6** gehen die zur Vervollständigung der Daten jeweils eingesetzten Stationen sowie die Regressionsgleichungen und deren Bestimmtheitsmaße hervor. Eine vollständige Rekonstruktion der

fehlenden Daten war jedoch an keiner Station möglich, da vereinzelt Messausfälle an mehreren Stationen zugleich bestanden. Daher gibt **Tab. 4-6** weiterhin Auskunft über die Verfügbarkeit nach der Datenergänzung. Bezüglich der Windrichtung ergaben sich keine hohen Korrelationen zwischen den einzelnen Stationen, weshalb auf eine Datenergänzung verzichtet wurde und die Auswertungen der Windrichtung auf einem etwas geringeren Datenkollektiv beruhen. Für die Fremdstationen 5 bis 8 konnte aufgrund der hohen Datenverfügbarkeit auf eine Interpolation verzichtet werden.

Tab. 4-6: Übersicht über die Datenverfügbarkeit vor und nach der Lückenfüllung sowie Angabe der Rekonstruktionsfunktion und der Rekonstruktionsgüte (R^2) an den Messstationen 1 bis 4 in Heilbronn für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016.

Station	Messgröße	Vorher		Nachher		Funktion	Station	R^2
		Verfügbarkeit	Ausfälle	Verfügbarkeit	Ausfälle			
1	tL	96,8 %	3,2 %	99,9 %	0,1 %	$y = 0,9994 x + 0,6169$	2	0,9967
	rF	94,7 %	5,3 %	99,9 %	0,1 %	$y = 1,0793 x - 5,3734$	2	0,9510
	u	96,9 %	3,1 %	97,9 %	2,1 %	$y = 0,4299 x + 0,3675$	4	0,7985
	WR	96,9 %	3,1 %	96,9 %	3,1 %	<i>unzureichend</i>		< 0,1
2	tL	99,6 %	0,4 %	99,9 %	0,1 %	$y = 0,9973 x - 0,5746$	1	0,9967
	rF	99,6 %	0,4 %	99,9 %	0,1 %	$y = 0,8812 x + 8,1617$	1	0,9510
	u	99,6 %	0,4 %	99,7 %	0,3 %	$y = 0,3792 x + 0,1298$	3	0,8150
	WR	99,6 %	0,4 %	99,6 %	0,4 %	<i>unzureichend</i>		< 0,1
3	tL	99,1 %	0,9 %	99,3 %	0,7 %	$y = 0,984 x + 0,4078$	4	0,9918
	rF	99,1 %	0,9 %	99,3 %	0,7 %	$y = 0,9572 x + 4,3931$	4	0,9337
	u	99,1 %	0,9 %	99,7 %	0,3 %	$y = 2,1491 x + 0,0158$	2	0,8150
	WR	99,1 %	0,9 %	99,1 %	0,9 %	<i>unzureichend</i>		< 0,1
4	tL	96,8 %	3,2 %	99,3 %	0,7 %	$y = 1,0079 x - 0,3156$	3	0,9918
	rF	96,8 %	3,2 %	99,3 %	0,7 %	$y = 0,9754 x + 0,6403$	3	0,9337
	u	97,0 %	3,0 %	99,9 %	0,1 %	$y = 0,5983 x + 0,017$	3	0,8096
	WR	97,0 %	3,0 %	97,0 %	3,0 %	<i>unzureichend</i>		< 0,1
5	tL	>99,9 %	<0,1 %	<i>keine Lückenfüllung</i>				<i>entfällt</i>
	rF	>99,9 %	<0,1 %					
	u	>99,9 %	<0,1 %					
	WR	>99,9 %	<0,1 %					
	NS	99,4 %	0,6 %					
	GS	>99,9 %	<0,1 %					
6	tL	99,7 %	0,3 %	<i>keine Lückenfüllung</i>				<i>entfällt</i>
	rF	99,1 %	0,9 %					
	u	99,7 %	0,3 %					
	NS	99,7 %	0,3 %					
	GS	99,7 %	0,3 %					
7	tL	99,9 %	0,1 %	<i>keine Lückenfüllung</i>				<i>entfällt</i>
	rF	99,9 %	0,1 %					
	u	96,7 %	3,3 %					
	NS	99,9 %	0,1 %					
8	tL	99,8 %	0,2 %	<i>keine Lückenfüllung</i>				<i>entfällt</i>
	rF	99,8 %	0,2 %					
	u	99,8 %	0,2 %					
	NS	99,8 %	0,2 %					

tL = Lufttemperatur in 4 m ü. Gr., rF = relative Luftfeuchtigkeit in 4 m ü. Gr., u = Windgeschwindigkeit in 4 m ü. Gr., WR = Windrichtung in 4 m ü. Gr., NS = Niederschlag, GS = Globalstrahlung

4.3 Mobile Messungen - Lufttemperaturmessfahrten

4.3.1 Messmethodik

Da die stationären Messungen nicht alle Flächennutzungen repräsentieren und nur eine begrenzte räumliche Aussagekraft haben, sind diese für die räumlich differenzierte Betrachtung des Klimas im gesamten Heilbronner Stadtgebietes nur eingeschränkt geeignet. Daher wurden ergänzend flächenhafte Messfahrten im Heilbronner Stadtgebiet durchgeführt. Als Messgröße wurde die Lufttemperatur verwendet, da sie die deutlichste klimatische Differenzierung verschiedener Flächennutzungen gestattet. Folgende Anforderungen wurden an die Durchführungen der Messfahrten gestellt:

- Messfahrten sollen möglichst weite Bereiche des Heilbronner Stadtgebietes abdecken;
- die wichtigsten Flächennutzungsstrukturen bzw. Klimatope sind repräsentativ zu erfassen;
- das Relief des Neckartals soll berücksichtigt werden;
- Messfahrten sind in austauscharmen Strahlungsnächten durchzuführen;
- Messfahrten sollen zweimal pro Nacht hintereinander durchgeführt werden, um aus den Temperaturdifferenzen auf eine mögliche Kaltluftdynamik schließen zu können;
- Messfahrten sollen in mehreren Nächten durchgeführt werden, um die Repräsentativität zu erhöhen;
- Messfahrten müssen bezüglich der Dauer auch in der kürzesten Sommernacht durchgeführt werden können.

Unter diesen technischen Bedingungen wurden zwei Messrouten erstellt, welche die o.g. Anforderungen erfüllen (Abb. 4-1, S. 29). Die Messfahrten wurden mit E-Bikes durchgeführt, welche mit der benötigten Messtechnik ausgestattet wurden.

4.3.2 Messverfahren und Messumfang

Die nordsüdlich verlaufende Route hat eine Länge von 36,7 km und deckt gleichzeitig alle in Heilbronn vorkommenden Klimatoptypen sowie in geomorphologischer Hinsicht die Neckartalsole ab. Die ostwestlich verlaufende Route ist 31,6 km lang und bildete vor allem die Reliefverhältnisse des Neckartalquerschnitts zwischen den östlichen Weinhängen und den westlichen Hochebenen ab.

Für die Messfahrten wurden zur Erfassung der Lufttemperatur, Feuchte und des Luftdrucks entlang der Messrouten zwei baugleiche Erfassungssysteme mit Datenlogger und GPS Position Sensor eingesetzt (Datalogger Xplorer GLX, GPS Position Sensor PS-2175, Weather Sensor PS-2174 von PASCO scientific), so dass zeitlich parallel beide Messrouten aufgezeichnet werden konnten.

Die Erfassung der Lufttemperatur erfolgte mithilfe eines strahlungsgeschützten, durch den Fahrtwind ventilierten Thermistors. Die Fühler waren mittels eines Auslegers im Abstand von etwa 1,0 m vor dem Fahrer des E-Bikes in etwa 1,0 m ü. Gr. befestigt. Durch die Datenerfassung mit einer Rate von 1 Hz ergab sich bei einer mittleren Fahrtgeschwindigkeit von ca. 15 km/h eine räumliche Auflösung von etwa 4 m. Die Verortung der Messpunkte und die Routenführung erfolgten über GPS-Geräte der Firma Garmin vom Typ GPSMAP 64st mit einer Genauigkeit, die der räumlichen Taktung der Erfassung entspricht.

Insgesamt wurden in fünf austauscharmen Strahlungsnächten zwanzig nächtliche Lufttemperaturmessfahrten durchgeführt. Zwei Messteams mit je zwei Personen befuhren mit den ausgerüsteten E-Bikes zweimal pro Messnacht zeitgleich die Ost-West-Route und die Nord-Süd-Route. Durch die Wahl von E-Bikes als Erfassungsfahrzeuge konnte eine relativ konstante Fahrgeschwindigkeit sichergestellt werden. Die Messrouten waren auf das Stadtgebiet ohne die Teilorte Kirchhausen und Biberach beschränkt, da vornehmlich der Fokus der Messfahrten auf die in Sommernächten überhitzten Innenstadt bzw. Stadtrandrandbereiche sowie die angrenzenden Ausgleichsräume gelegt wurde. Zeitgleich wurden die lokalen Temperaturverhältnisse an neuralgischen Punkten und in den Teilorten punktuell messtechnisch erfasst.

Insgesamt wurden unter Berücksichtigung von der Abtastrate der Messgeräte und der Fahrtgeschwindigkeit der E-Bikes durchschnittlich 34000 Messpunkte pro Messnacht erfasst. **Tab. 4-7** enthält eine Übersicht der mobilen Untersuchungsmethoden, Messgrößen, Termine und vorherrschenden Wetterlage zu den Terminen.

Tab. 4-7: Übersicht der mobilen Untersuchungsmethoden, Messgrößen, Termine und vorherrschenden Wetterlage.

Nr.	Datum	Nacht-hälfte	Route	Länge in km	Start MEZ	Ende MEZ	Dauer MEZ	v in km/h	MP-Dichte in m	tL °in C			dt _{max} in K	Str. Tag	ST	HT	GWL	GWT	Zirkulationsform	Witterungscharakter	Anmerkung
										Beginn	Mitte	Ende									
1	01./02.07.2015	1. NH	Nord-Süd	36,7	22:30	1:06	2:36	14,1	3,9	26,5	24,4	22,4	9,4	X	X	X	HM	Hoch Mitteleuropa	Gemischt	unbestimmt	Am Boden gelangt eine subtropische Luftmasse nach Mitteleuropa. Sie erwärmt sich unter Einfluss des Hochs über Ostmitteleuropa meist ungestört und bringt die bislang heißesten Tage des Jahres hervor.
2			Ost-West	31,6	22:30	0:47	2:17	13,8	3,8	25,9	24,0	22,2	9,3								
3		2. NH	Nord-Süd	36,7	2:03	4:17	2:13	16,4	4,6	21,6	20,5	19,4	7,2								
4			Ost-West	31,6	2:03	4:12	2:09	14,7	4,1	21,3	20,3	19,2	7,9								
5	02./03.07.2015	1. NH	Nord-Süd	36,7	22:27	0:53	2:25	15,2	4,2	27,7	26,6	25,6	9,5	X	X	X	HM	Hoch Mitteleuropa	Gemischt	unbestimmt	Am Boden gelangt eine subtropische Luftmasse nach Mitteleuropa. Sie erwärmt sich unter Einfluss des Hochs über Ostmitteleuropa meist ungestört und bringt die bislang heißesten Tage des Jahres hervor.
6			Ost-West	31,6	22:28	0:37	2:09	14,6	4,1	27,1	26,1	25,1	10,2								
7		2. NH	Nord-Süd	36,7	1:47	4:14	2:26	15,0	4,2	23,8	23,1	22,4	6,8								
8			Ost-West	31,6	1:47	4:01	2:14	14,1	3,9	23,7	22,9	22,1	8,0								
9	02./03.08.2015	1. NH	Nord-Süd	36,7	22:25	0:53	2:28	14,9	4,1	22,1	20,5	18,9	8,5	X	X	X	WW	West	Zonal	unbestimmt	Mitteleuropa wird von atlantischen Tiefausläufern überquert.
10			Ost-West	31,6	22:25	0:42	2:16	13,9	3,8	22,5	20,8	19,2	9,8								
11		2. NH	Nord-Süd	36,7	1:54	3:31	1:36	22,7	6,3	17,3	16,6	16,0	6,1								
12			Ost-West	31,6	1:54	3:58	2:04	15,3	4,2	17,5	16,8	16,0	9,0								
13	03./04.08.2015	1. NH	Nord-Süd	36,7	22:18	0:43	2:25	15,1	4,2	23,7	22,0	20,3	8,3	X	X	X	SWz	Südwest	Gemischt	zyklonal	Die mittleren Teile Europas werden bei südwestlicher Strömung von Tiefausläufern überquert.
14			Ost-West	31,6	22:18	0:34	2:16	13,9	3,9	23,6	21,8	20,0	8,6								
15		2. NH	Nord-Süd	36,7	1:33	3:47	2:14	16,4	4,5	20,4	18,9	17,5	8,1								
16			Ost-West	31,6	1:33	4:00	2:27	12,9	3,6	19,7	18,6	17,5	10,8								
17	06./07.08.2015	1. NH	Nord-Süd	36,7	22:24	0:52	2:28	14,9	4,1	26,5	24,2	22,0	8,6	X	X	X	WW	West	Zonal	unbestimmt	Mitteleuropa wird zeitweise von atlantischen Tiefausläufern überquert, die kaum Niederschlag bringen.
18			Ost-West	31,6	22:24	0:43	2:19	13,6	3,8	26,2	24,1	21,9	7,8								
19		2. NH	Nord-Süd	36,7	1:48	4:10	2:22	15,5	4,3	21,7	21,0	20,3	6,8								
20			Ost-West	31,6	1:48	4:20	2:32	12,4	3,4	22,1	21,2	20,4	8,6								
Mittel				34,2			2:18	15,0	4,2			8,5									

v = Fahrtgeschwindigkeit, MP = Messpunkt, tL = Streckenmittel der Lufttemperatur zum Beginn, zur Mitte und zum Ende der Messfahrt, dt_{max} = maximale Temperaturspanne entlang der Messstrecke, Str.Tag = Strahlungstag, ST = Sommertag, HT = heißer Tag, GWL = Großwetterlage, GWT = Großwettertyp

4.3.3 Auswertung der Messfahrten

Im Verlauf von Nächten findet eine allgemeine Abkühlung statt, die ihre tiefsten Lufttemperaturen zum Ende der Nacht kurz vor Sonnenaufgang erreicht. Daher sind die während der mehrstündigen Messfahrten erhobenen Temperaturdaten ebenfalls von der allgemeinen Abkühlung überlagert, sodass auf einzelnen Flächen zu einem früheren Zeitpunkt der Nacht die Lufttemperaturen höher sind als zu einem späteren Zeitpunkt der Nacht. Zur Gewährleistung der Vergleichbarkeit der Lufttemperaturen zwischen verschiedenen Flächennutzungen muss daher der allgemeine nächtliche Abkühlungstrend mathematisch entfernt werden. Aus den Anfangs- und Endzeiten der Messfahrten wurden daher für die erste und zweite Nachthälfte ein zeitlich abhängiger Temperaturgradient bestimmt und die jeweiligen Messfahrt Daten mittels einer linearen Regression auf den Endzeitpunkt der Messungen chronologisch korrigiert, um den Effekt der übergeordneten diurnalen Variabilität zu eliminieren (DANZEISEN 1983). Anschließend wurden die Isanomalien für die erste und die zweite Nachthälfte berechnet, d.h. die Darstellung der Messwerte erfolgte als ΔT zum Messfahrtmittel als zeitliches und räumliches Gebietsmittel.

Aus diesen Temperaturdifferenzen entlang der Messrouten und aus punktuell in den Messnächten erfassten Temperaturstützpunkten wurden die Daten zu flächennutzungsspezifischen Streckenabschnittsmittelwerten zusammengefasst, deren Abgrenzung auf Grundlage der vorliegenden Realnutzungskartierung (SHAPE_LNP_RNK_OUTPUT_GESAMT mit Stand vom 07.11.2016) und den digitalen Höhendaten (DGM10) für das Stadtkreisgebiet von Heilbronn erfolgte.

Die flächenhafte Darstellung der nächtlichen Temperaturverteilungen im Stadtkreisgebiet von Heilbronn, in Form einer Isanomalienkarte erfolgte mit Hilfe eines räumlichen- und geostatistischen Kriging-Verfahrens. Dabei wurden die Temperaturdifferenzen anhand der Streckenabschnittstypen und unter Berücksichtigung der Höhenlage mittels Bikubischer-Spline-Interpolation auf das Stadtgebiet übertragen.

4.4 Numerische Methoden

Im Rahmen der Klimauntersuchung kamen unterschiedliche numerische Methoden zum Einsatz, und zwar dynamische Windfeldrechnungen zur Ermittlung der charakteristischen kleinräumigen Windverhältnisse als Maß für die Ventilation innerhalb des Stadtgebietes, Kaltluftberechnungen zur Ermittlung des Austauschpotenzials in typischen windschwachen Strahlungsnächten sowie Berechnungen zur thermischen Behaglichkeit. Die Methoden sind in den folgenden Unterkapiteln näher erläutert.

4.4.1 Dynamische Windfeldsimulationen

Ziel der dynamischen Windfeldsimulationen war es, die langjährigen charakteristischen Windverhältnisse (Windrichtungen, Windgeschwindigkeiten) in einer hohen räumlichen Auflösung von

100 m für das Stadtgebiet von Heilbronn zu ermitteln. Die mittleren Windgeschwindigkeiten geben Hinweise darauf, welche Bereiche des Stadtgebietes gut belüftet sind und in welchen Bereichen mit eingeschränkter Durchlüftung und damit einer größeren Überwärmung im Sommer bzw. mit höheren Luftschadstoffbelastungen zu rechnen ist. Trotz der feinen Auflösung werden jedoch nicht die lokalen Einflüsse der Bebauung aufgelöst, also beispielsweise die Strömung innerhalb einer Straße. Bebauung wirkt sich über die unterschiedliche Rauigkeit, also die Abbremsung des Windes am Boden aus.

Die Berechnungen wurden mit dem Modell METRAS PC durchgeführt. Dieses Modell zählt zu der Klasse der mesoskaligen prognostischen nicht-hydrostatischen Strömungsmodelle. Es handelt sich um eine frei verfügbare Version des an der Universität Hamburg entwickelten wissenschaftlichen Modells METRAS (SCHATZMANN ET AL 1998; SCHLÜNZEN ET AL 1988; SCHLÜNZEN ET AL 1998).

METRAS PC beruht auf den grundlegenden atmosphärischen Zustandsgleichungen wie z. B. den Bewegungsgleichungen, dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik und der Kontinuitätsgleichung. Das Modellgebiet wird mit einem dreidimensionalen Maschennetz von Gitterpunkten überzogen (Arakawa-C-Gitter). An jedem dieser Gitterpunkte werden die Modellgleichungen numerisch gelöst. Die Randbedingungen sind numerisch so formuliert, dass sich die Strömung an allen Rändern des Modellgebietes frei einstellen kann. Damit werden Einflüsse der Ränder auf die Berechnungsergebnisse im Modellinnern minimiert.

In das Modell geht die großräumige meteorologische Situation über den Druckgradienten bzw. den geostrophischen Wind und die atmosphärische Stabilität ein. Weitere Eingangsdaten sind die Geländehöhen und Flächennutzungen sowie die geographische Lage.

Im *stationären* Simulationsmodus berechnet METRAS PC dreidimensionale Windfelder, wie sie sich im dynamischen Gleichgewicht unter den gegebenen topographischen, (Geländerelief, Landnutzung) und großräumigen meteorologischen Bedingungen einstellen. Im instationären Simulationsmodus werden zusätzlich die zeitabhängigen Energieflüsse am Boden berücksichtigt. In diesem Modus werden thermische Windsysteme, Temperatur und Feuchte sowie weitere diagnostisch abgeleitete Größen berechnet.

Aufgrund der umfassenden Modellphysik können mit METRAS PC alle auf der regionalen Skala relevanten Prozesse realitätsnah berechnet werden. Die horizontale räumliche Auflösung liegt typischerweise zwischen 50 m und 1 km, die typische vertikale Auflösung bei 20 m bodennah bis 1 km am Modelloberrand. Das Modellgitter kann in alle Raumrichtungen nicht-äquidistant gewählt werden.

Die Ergebnisgüte des Modells ist in einer Reihe von Veröffentlichungen dokumentiert z. B. in DIERER 1997 und LÜPKES ET AL 1996. Das Modell wurde bereits vor Jahren nach einem vergleichbaren Konzept evaluiert, wie es seit Ende letzten Jahres in einer VDI-Richtlinie veröffentlicht ist (VDI 2015). Eine aktuelle Modellversion befindet sich derzeit noch im Evaluierungsprozess nach der neuen Richtlinie.

4.4.1.1 *Methodik*

Die Bestimmung der langjährigen charakteristischen Windverhältnisse basiert auf 120 stationären Modellrechnungen für unterschiedliche synoptische, also großräumig übergeordnete Windgeschwindigkeiten, Windrichtungen und thermischen Schichtungen der Atmosphäre. Aufgrund der hohen Rechenzeitanforderungen werden diese Rechnungen auf einem **100 m-Raster** durchgeführt. Die übergeordneten meteorologischen Situationen werden mittels einer Clusteranalyse aus NCAR/NCEP-Reanalysedaten gewonnen. Reanalysedaten sind eine Aggregation von globalen meteorologischen Messdaten mithilfe von Wettervorhersagemodellen zu adaptierten Datensätzen einheitlicher zeitlicher und räumlicher Auflösung. Der Einfluss der unterschiedlichen Großwetterlagen wird hierbei ebenfalls berücksichtigt. Sie eignen sich besonders gut als Antriebsdaten für Modelle, die die charakteristischen Verhältnisse in kleinen Gebietsausschnitten bei hoher räumlicher Auflösung berechnen sollen. Das gesamte Berechnungsverfahren wird als modifiziertes statistisch-dynamisches Verfahren bezeichnet und ist zu komplex, um hier dargestellt werden zu können. Es ist in den Veröffentlichungen BIGALKE & RAU 2013 und BIGALKE ET AL 2008 ausführlich dokumentiert und kann dort im Detail nachgelesen werden.

Die stationären Modellrechnungen für die vorliegende Stadtklimaanalyse Heilbronn beruhen auf NCAR/NCEP-Reanalysedaten für den Großraum Heilbronn und die Jahre 2005 – 2014. Die daraus abgeleiteten charakteristischen Windverhältnisse auf einem 100 m-Raster repräsentieren deshalb die mittleren Verhältnisse in diesem zurückliegenden zehnjährigen Zeitraum.

4.4.1.2 *Kartengrundlage und Parameter der Modellrechnungen*

Als Eingangsdaten standen zur Verfügung bzw. wurden vom Auftraggeber bereitgestellt:

- Digitales Geländemodell in 10 m Auflösung, Gebietsgröße 21 x 16 km².
- Geländehöhen in 50m Auflösung GlobDEM50 (Fa. metSoft, Heilbronn) für die weitere Umgebung.
- ATKIS Objektdaten, Gebietsgröße 21 x 16 km².
- CORINE (2006) Landnutzungskataster in 100m Auflösung für die weitere Umgebung (EEA 2007).
- Globale NCAR/NCEP Reanalysedaten auf 2,5° Raster (KANAMITSU ET AL 2002).

Die METRAS-Modellrechnungen erfolgten für ein gesamtes Modellgebiet von 8.250 km² in den Grenzen

GK-E: 3 435 000 – 3 545 000

GK-N: 5 405 000 – 5 480 000

In einem Innenbereich von

GK-E: 3 511 900 – 3 519 100

GK-N: 5 441 400 – 5 448 600

weist das METRAS-Gitter eine Horizontalauflösung von 100 m auf. Außerhalb wachsen die Gitterweiten bis auf 500 m an.

4.4.2 Kaltluftsimulation

Ziel der Kaltluftberechnungen war die Ermittlung charakteristischer nächtlicher Windsysteme bei schwachwindigen Strahlungswetterlagen.

4.4.2.1 *Methodik*

Für die Kaltluftberechnungen wurde ebenfalls das Modell METRAS eingesetzt, das bereits unter **Kap. 4.4.1** beschrieben wurde. Für die Kaltluftberechnungen werden instationäre Modellrechnungen bei schwachen großräumigen Winden aus unterschiedlichen Richtungen und unbewölktem Himmel für eine typische Sommernacht durchgeführt. Die Modellrechnungen erfolgen bei sehr hoher räumlicher Auflösung von 50 m innerhalb des Stadtgebietes. Sie starten am späten Nachmittag bei einer gut durchmischten atmosphärischen Grenzschicht und werden bis in die frühen Morgenstunden durchgeführt. Im Laufe des Abends und der Nacht können sich in den Modellrechnungen als Folge der bodennahen Abkühlung durch langwellige Ausstrahlung thermische Windsysteme entwickeln, die in der ersten Nachthälfte eher den Charakter lokaler und flacher Kaltluftabflüsse haben, in der zweiten Nachthälfte zu regionalen thermischen Windsystemen anwachsen können.

4.4.2.2 *Kartengrundlage und Parameter der Modellrechnungen*

Als Eingangsdaten standen zur Verfügung bzw. wurden vom Auftraggeber bereitgestellt:

- Digitales Geländemodell in 10 m Auflösung, Gebietsgröße 21 x 16 km².
- Geländehöhen in 50m Auflösung GlobDEM50 (Fa. metSoft, Heilbronn) für die weitere Umgebung.
- ATKIS Objektdaten, Gebietsgröße 21 x 16 km².
- CORINE (2006) Landnutzungskataster in 100m Auflösung für die weitere Umgebung (EEA 2007).
- Globale NCAR/NCEP Reanalysedaten auf 2,5° Raster (KANAMITSU ET AL 2002).

Die METRAS-Modellrechnungen erfolgten für ein gesamtes Modellgebiet von 3.600 km² in den Grenzen

GK-E: 3 485 000 – 3 545 000

GK-N: 5 415 000 – 5 475 000)

In einem Innenbereich von

GK-E: 3 511 950 – 3 519 000

GK-N: 5 441 450 – 5 448 500

weist das METRAS-Gitter eine Horizontalauflösung von 50 m auf. Außerhalb wachsen die Gitterweiten bis auf 500 m an.

Als weitere Parameter der Modellrechnungen werden verwendet:

- Simulationszeitraum 1.8. 18⁰⁰ bis 2.8. 6⁰⁰.
- Für eine abendliche Sommersituation typische durchmischte (neutrale) Grenzschicht bis ca. 1800 m zu Simulationsbeginn.
- Oberhalb der Grenzschicht 0.0035 K/m potentieller Temperaturgradient (Standardatmosphäre).
- Variation des geostrophischen Windes (d.h. horizontaler Gradient des Luftdrucks): Windstille sowie 1 m/s aus 12 Richtungssektoren (N, NNE, ENE, usw.).
- Vertikale Gitterweite 10 m in Bodennähe, darüber anwachsend bis 1 km am Modellober- rand in 7 km Höhe.

4.4.3 Berechnung der thermischen Behaglichkeit

Die thermische Behaglichkeit wird anhand des objektiven PMV-Wertes nach VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 (VDI 2008) sowie der Physiologischen Äquivalenttemperatur (PET) (MAYER 2006) bewertet (**Tab. 4-8**).

Tab. 4-8: Skala der PMV- und PET -Werte für thermisches Empfinden und zugehörige Behaglichkeitsstufen nach VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 (VDI 2008) und MAYER (2006).

PMV / 1	PET / °C	Thermisches Empfinden	Belastungsstufe	Physiologische Wirkung
-3,5	4	sehr kalt	extreme Belastung	Kältestress
-2,5	8	kalt	starke Belastung	
-1,5	13	kühl	mäßige Belastung	Kühlereiz
-0,5	18	leicht kühl	schwache Belastung	
0,5	23	behaglich	keine Belastung	
1,5	29	leicht warm	schwache Belastung	Wärmereiz
2,5	35	warm	mäßige Belastung	
3,5	41	heiß	starke Belastung	Hitzestress
		sehr heiß	extreme Belastung	

Diese Maßzahlen berücksichtigen neben der klassischen Schwüle, welche aus der Lufttemperatur und -feuchtigkeit berechnet wird, zusätzlich den Einfluss der Windgeschwindigkeit, der Wärmestrahlung etwaiger umliegender Fassaden, der körperlichen Aktivität sowie insbesondere der Sonnenexposition auf das Wärmeempfinden. Die Maßzahlen werden aus den meteorologischen Messgrößen Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Strahlungstemperatur und Windgeschwindigkeit

unter zusätzlicher Berücksichtigung humanphysiologischer Kenngrößen sowie des Grades der körperlichen Aktivität und der Bekleidungsart berechnet.

Die Berechnung der Werte für thermischen Komfort erfolgt mit dem statistischen Modell RayMan Pro 2.1 (MATZARAKIS ET AL. 2007). Als Eingangsdaten dienen Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit sowie Globalstrahlung. Die Strahlungsflüsse werden für ein bestimmtes Jahresdatum auf Grundlage der astronomischen Einstrahlungsbedingungen (Sonnenstand) kalkuliert. Die Einflüsse der Umgebung (insbesondere Verschattung durch Bebauung und Vegetation) werden über die Berücksichtigung des ortsspezifischen Sky-View-Faktors (SVF) erfasst, in dem die Horizontabschirmung mittels eines 180-Grad-**Fisheye-Bildes** des Standortes ermittelt wird (s. Anhang **Abb. A 1**). Bei den physiologischen Vorgaben wird von einer der jeweiligen Witterung angemessenen Bekleidung ausgegangen.

4.5 Klimawandelprojektionen

Um das Ausmaß und die Auswirkungen der zukünftig zu erwartenden globalen Erwärmung auf Heilbronn abschätzen zu können, werden Klimawandelprojektionen des IPCC (2007) ausgewertet. Das IPCC lässt im Rahmen der Grundlagenforschung den Treibhauseffekt und den dadurch bedingten Klimawandel mit verschiedenen mathematischen Verfahren simulieren. Hierbei werden in numerischen **Klimasimulationsmodellen** die physikalischen Prozesse der Atmosphäre unter Berücksichtigung der Einflüsse verschiedener Klimafaktoren (u. a. globale atmosphärische und marine Zirkulationssysteme, Land-Meer-Verteilung, Relief, Topografie, Vegetation, Flächennutzung und Treibhausgasemissionen) im **globalen Maßstab** rechnerisch nachgebildet. Zur Beurteilung der zukünftigen Treibhausgasemissionen müssen deren Emissionen für die Zukunft realistisch abgeschätzt werden. Da jedoch nicht bekannt ist, wie sich die anthropogenen Treibhausgasemissionen entwickeln, werden diesbezüglich sogenannte **Emissionsszenarien** entworfen, die verschiedene potenzielle Entwicklungswege der Treibhausgasemissionen aufzeigen. Dabei werden ausgehend von der Theorie, dass die Treibhausgasemissionen das Resultat der globalen Gesellschaft und ihres Handelns sind, Annahmen zur zukünftigen Entwicklung der Weltwirtschaft, der Bevölkerungsentwicklung, des Umweltschutzes und der Energiegewinnung getroffen, aus denen die Treibhausgasemissionen der kommenden Jahrzehnte abgeleitet werden (IPCC 2007). Auf Basis dieser Szenarien werden anschließend die Randbedingungen für die Klimamodelle festgelegt. Beim hier verwendeten **Szenario A1B** wird angenommen, dass die fossilen Energieträger sukzessiv durch regenerative Energieerzeugung ersetzt werden, sodass ab Mitte des 21. Jahrhunderts die Treibhausgasemissionen zurückgehen sollten. Die hierdurch bedingte Erwärmung wird auf ca. 2,8 K geschätzt. Das Szenario A1B wird vor dem Hintergrund der derzeitigen globalpolitischen Bestrebungen als das realistischste Szenario angesehen, sodass aktuell die öffentliche Diskussion über die Auswirkungen des Klimawandels auf Basis von Klimasimulationen

mit diesem auch als **2 K-Ziel** bekannten Szenario stattfindet. Daher wird hier die Abschätzung der Folgen des Klimawandels ebenfalls anhand des A1B-Szenarios durchgeführt.

Da die Projektionen des IPCC auf globaler Ebene mit nur einem groben räumlichen Raster von einigen hundert Quadratkilometern berechnet wurden, ist für regionale Aussagen eine numerische Verfeinerung der Daten erforderlich. Dieses als „Downscaling“ bezeichnet Verfahren wurde für Deutschland mittels vier **regionaler Klimamodelle** durchgeführt. Dabei handelt es sich um zwei numerische und zwei statistische Modelle (**Tab. 4-9**).

Tab. 4-9: Merkmale von Klimamodellen zur Abschätzung der regionalen Auswirkungen des globalen Klimawandels für Deutschland.

Modelltypen	Numerische Simulation		Statistische Regression	
Modell	CLM	REMO 10	STAR II	WETTREG
Entwickler	DWD	MPI-M	PIK	PIK/CEC
Verfahren	Num. Simulation nicht-hydrostatisch	Num. Simulation hydrostatisch	Statist. Regression trendbasiert	Statist. Regression wetterlagenbasiert
Räumlich. Auflösung	18 x 18 km	10 x 10 km	Interpolation	Interpolation
Ruhrgebiet	8 x 3 Zellen	10 x 7 Zellen	Interpolation	Interpolation
Vertik. Differenzierung	ja	nein	- / -	- / -
Stationen im Ruhrgebiet	- / -	- / -	27	2
Zeitraum, von	1961	1951	1981	1961
Zeitraum, bis	2100	2100	2060	2100

Bei den numerischen Modellen CLM (GERSTENGARBE et al. 2004) und REMO 10 (UBA 2008) wird, wie bei den globalen Klimamodellen auch, die regionale Klimaänderung über physikalische Gleichungssysteme, welche die atmosphärischen Prozesse abbilden, berechnet. Die Randbedingungen für diese Modelle werden aus den Ergebnissen des in Deutschland entwickelten globalen Klimamodells ECHAM 5 bereitgestellt, d. h. diese regionalen Modelle sind in die globale Simulation eingebettet (Nesting). Die räumliche Genauigkeit der Aussagen dieser regionalen Modelle beträgt trotz des Nestings höchstens 10 km x 10 km, sodass Stadt-Umland-Differenzierungen nur unzureichend getroffen werden können. Stattdessen bilden die Zellen auf kleiner Maßstabsebene das Klima des „urban geprägten Raumes der Region Heilbronn“ ab (**Abb. 4-2**).

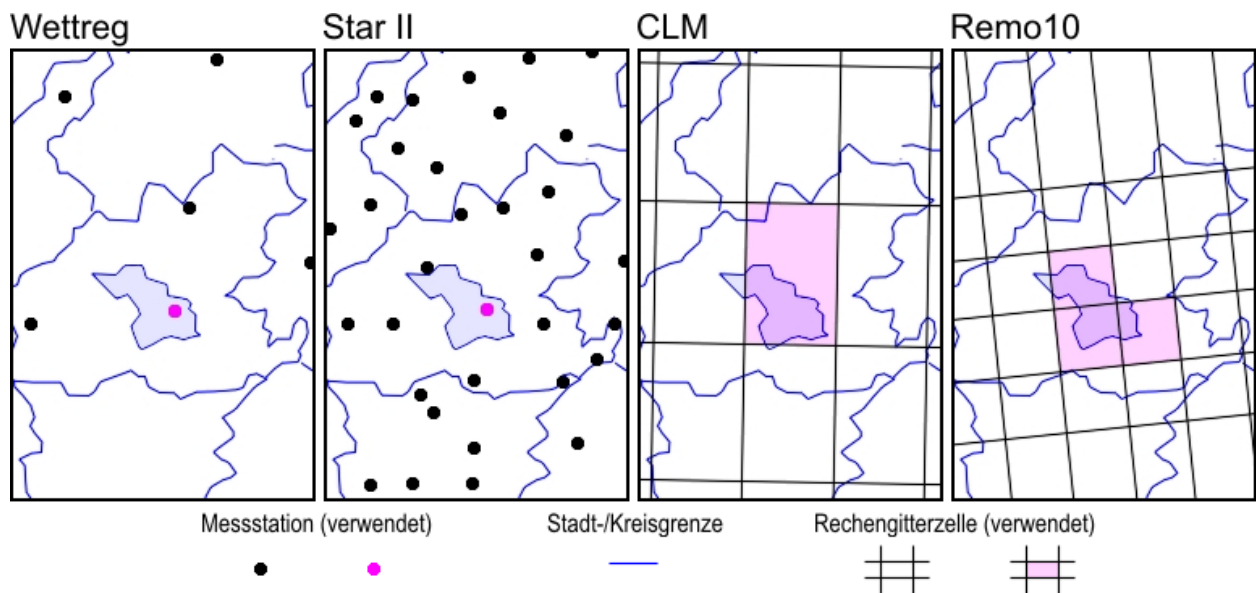


Abb. 4-2: Räumliche Zuordnung der für die Region Heilbronn verfügbaren Orte und Gebiete mit Projektionsdaten zum Klimawandel (blau: Stadtgebiet Heilbronn).

Die Modelle STAR II (WERNER & GERSTENGARBE 2007) und WETTREG (SPEKAT et al. 2007) arbeiten nach statistischen Verfahren, indem bereits vorhandene Datenreihen der vergangenen Dekaden über Trendfunktionen in die Zukunft projiziert werden. Der Verlauf der Trendfunktionen wird dabei ebenfalls aus den Ergebnissen des globalen Simulationsmodells ECHAM 5 gewonnen. Als Trendfunktion für STAR II dient die Lufttemperaturkurve der folgenden Dekaden. Für WETTREG wird die Trendfunktion aus der zukünftigen Wetterlagenverteilung gewonnen. Die räumliche Auflösung dieser beiden Modelle ist nicht an starre Raumgitter gebunden, sondern wird aus der räumlichen Verteilung der zur Verfügung stehenden Klimastationen, für deren Daten die Trendanalysen durchgeführt wurden, interpoliert (siehe obige **Abb. 4-2**).

In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, dass auch die Simulationsergebnisse der regionalen, wie auch globalen, Klimamodelle keine Vorhersagen zum zukünftigen Klima liefern, sondern lediglich Abschätzungen auf Basis hypothetischer Annahmen bereitstellen (**Projektionen**). Die Projektionen der einzelnen Modelle liefern methodisch bedingt unterschiedlich starke Trends der zukünftigen Lufttemperatur- und Niederschlagsentwicklung. Die Analyse jedes einzelnen Modells würde jedoch den hiesigen Darstellungsrahmen sprengen. Stattdessen werden aus Gründen der Anschaulichkeit die Projektionsdaten der vier Modelle entweder gemittelt oder als Minimum-Maximum-Bandbreite angegeben. Dieses ist zulässig, da alle vier Modelle hypothetisch sind, sodass keinem der Modelle ein Vorzug gegeben werden kann und daher alle vier Modelle gleichberechtigt behandelt werden.

5 Repräsentativität des Messzeitraumes

Aufgrund der nur einjährigen Messperiode muss zur Beurteilung der klimatischen Repräsentativität der klimatischen Witterungsverhältnisse die Witterungssituation der vorliegenden Messperiode (s. Anhang **Tab. A 1** mit erläuternden Tabellen **Tab. A 2** und **Tab. A 3**) mit dem langjährigen Mittel abgeglichen werden (**Kap. 5.1**). Ferner werden die autochthonen Strahlungstage definiert, unter deren Bedingungen die lokalen stadt- und geländeklimatischen Effekte am deutlichsten in Erscheinung treten (**Kap. 5.2**).

5.1 Witterungsverlauf der Messperiode im langjährigen Vergleich

Zum Vergleich des Witterungsverlaufes des betrachteten Messzeitraums mit dem langjährigen Mittel wurde auf den von GERSTENGARBE & WERNER (2010) zusammengestellten Katalog der Großwetterlagen Europas für den Zeitraum 1881 bis 2009 zurückgegriffen, in dem zyklonale und antizyklonale Wetterlagen definiert und die Häufigkeitsverteilung der einzelnen Großwettertypen (Zusammenschluss mehrerer ähnliche Charakteristika aufweisender Großwetterlagen) berechnet werden. Die Reihe wurde für diese Untersuchung mit Daten des DWD (2016b) bis zum Ende des hiesigen Messzeitraums (März 2016) ergänzt.

In **Abb. 5-1** erfolgt eine Gegenüberstellung der jährlichen Verteilung der Zirkulationsmuster der Periode 1881 bis 2016 mit derjenigen des einjährigen Untersuchungszeitraums.

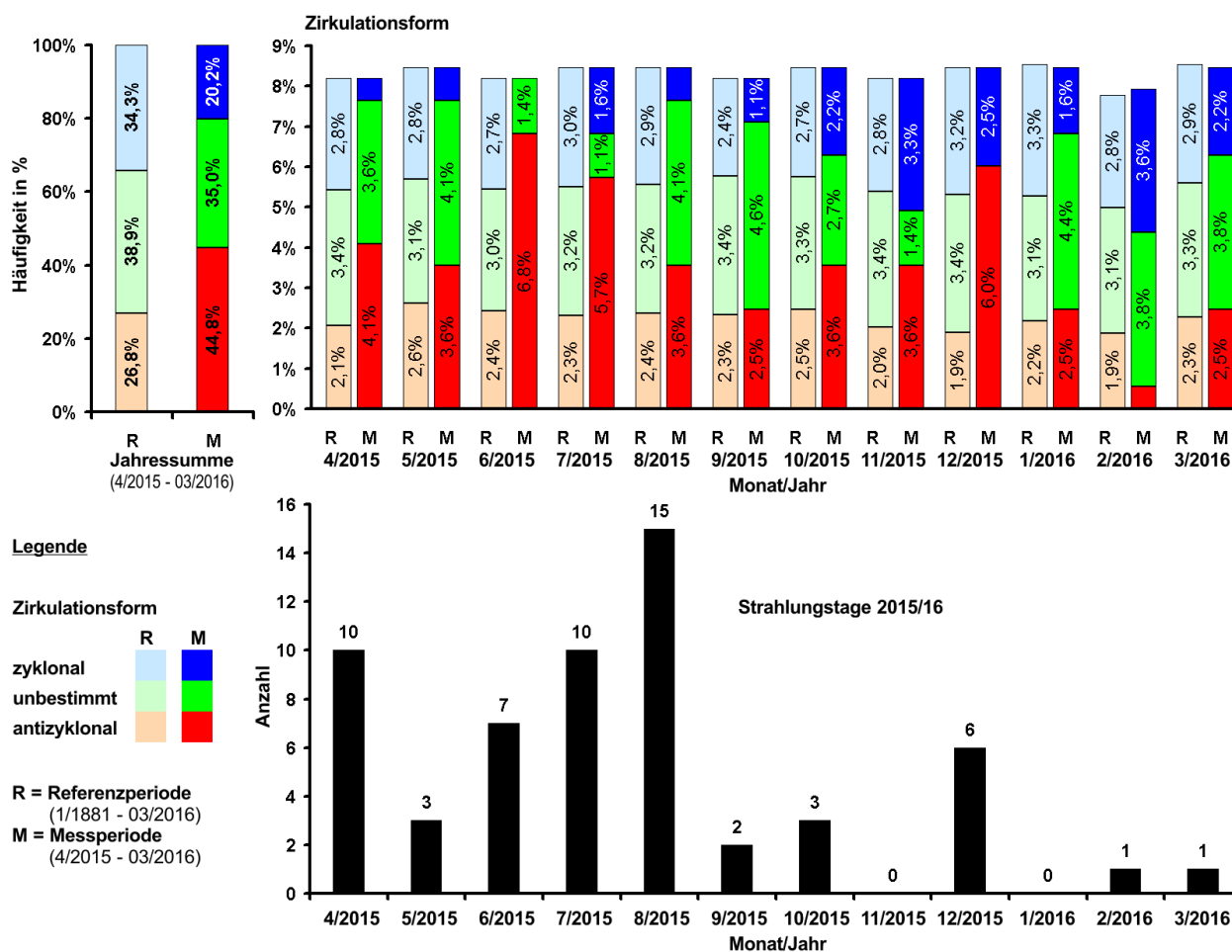


Abb. 5-1. Relative jährliche Verteilung der Zirkulationsmuster während des Messzeitraumes M (04/2015 – 03/2016) im Vergleich zur Referenzperiode R (1881 – 2016) sowie monatliche Verteilung der 58 austauscharmen Strahlungstage für Heilbronn für den Messzeitraum 4/2015 bis 3/2016 (Quellen: GERSTENGARBE & WERNER 2010, DWD 2016).

Für den Messzeitraum zeigt sich gegenüber dem langjährigen Mittel in der **Jahressumme** ein deutlicher Anstieg der antizyklonalen Witterungsverhältnisse, unter deren Einfluss sich autochthones Strahlungswetter (siehe **Kap. 5.2**) einstellen kann, von knapp 27 % auf 45 %. Im Gegenzug traten die, das allochthone Wetter bestimmenden, austauschreichen zyklonalen Verhältnisse mit 20 % deutlich weniger als üblich auf (34 %). Bei den unbestimmten Zirkulationsmustern war eine leichte Abnahme von 39 % auf 35 % zu verzeichnen.

Die **monatliche Verteilung** der Zirkulationsformen zeigt, dass mit Ausnahme des Februars 2016 in allen Monaten des Messzeitraums der Anteil der antizyklonalen Witterungszustände höher als im Referenzzeitraum war. Insbesondere im Juni, Juli und Dezember ist eine Verdoppelung bis Verdreifachung antizyklonaler Episoden festzustellen. Bei den zyklonalen Zirkulationsformen lagen lediglich der November 2015 und Februar 2016 über den mittleren Verhältnissen.

Damit war die einjährige Messperiode deutlich antizyklonal geprägt. In Hinblick auf die Referenzperiode wäre daher für das „normale“ Klima von ca. 18 % weniger antizyklonalen und ca. 14 %

mehr zyklonalen Witterungszuständen auszugehen. Allerdings ist die vorliegende Messperiode insofern repräsentativ, als sie einen Einblick auf das zukünftige Witterungsgeschehen unter Einfluss des **Klimawandels** (siehe **Kap. 7**) gibt, bei dem mit einer deutlichen Zunahme von austauscharmen Wetterlagen zu rechnen ist (MUNLV 2010), die insbesondere durch antizyklonale Wetterlagen begünstigt werden. Unter dem Aspekt, dass die vorliegende Klimaanalyse plausible und zukunftsichere Aussagen für die langfristige Heilbronner Stadt- und Umweltplanung treffen soll, kann die hiesige Messperiode als für die Zukunft repräsentativ angesehen werden.

5.2 Bestimmung austauscharmer Strahlungstage

Die lokalklimatischen Unterschiede eines Untersuchungsraums mit heterogener Flächennutzung wie z. B. einer Stadt weisen ihre stärkste Ausprägung während **autochthoner** (d. h. austauscharmer) Witterung auf. Daher sind diese Zeiträume von besonderer Relevanz für stadtklimatische Untersuchungen. Charakteristisch für eine derartige, hauptsächlich in Verbindung mit antizyklonalen Hochdruckwetterlagen (siehe **Kap. 5.1**) auftretende, Witterung sind geringe Windgeschwindigkeiten, weitestgehend wolkenfreier Himmel und somit im Sommer eine starke, ungestörte Ein- und Ausstrahlung. Aufgrund dieser Merkmale werden entsprechende Witterungsabschnitte auch als **austauscharme Strahlungswetterlagen** bezeichnet.

Hinsichtlich der Datenauswertung müssen diese autochthonen Wetterlagen zur eindeutigen Unterscheidung von den übrigen, allochthonen bzw. austauschreichen Wetterlagen definiert werden. Hierzu wurde eine Auswertung von Ausbreitungsklassen (AK) gemäß VDI 3782/1 (2009) durchgeführt. Dabei handelt es sich um ein Klassifizierungsschema für die Stabilität der Atmosphäre, das auf den Beobachtungs- bzw. Messdaten der Windgeschwindigkeit und der Strahlungsbilanz beruht. Letztere kann ersatzweise auch aus dem Wolkenbedeckungsgrad abgeleitet werden. Entsprechende Beobachtungsdaten liegen an der nahe gelegenen DWD-Station Öhringen vor und wurden für die hiesige Messstation 3 (Aue) übernommen. Um zu gewährleisten, dass die Ausbreitungsklassen nicht nur lokal, sondern auch regional gültig sind, wurden ergänzend die Messdaten der ca. 20 km nordöstlich gelegenen Station Öhringen mit ausgewertet. Die Auswertung erfolgte auf Basis der Stundenmittelwerte der Beobachtungsdaten, aus denen Ausbreitungsklassenzeitreihen (sog. AKTerm) berechnet wurden.

Ein Strahlungstag zeichnet sich durch folgende Merkmale aus:

- Klarer Himmel für ungehinderten Energieumsatz, insbesondere für die Einstrahlung (= Erwärmung) am Tage und die Ausstrahlung (= Abkühlung) in der Nacht.
- Damit verbunden relativ hohe, konvektionsbedingte Windgeschwindigkeiten am Tage und eher schwache Windgeschwindigkeiten in der Nacht.

Für die Tagsituation sind daher die Ausbreitungsklassen IV und V (labil und sehr labil) repräsentiert. Die

nächtlichen Schichtungsverhältnisse sind eher stabil und entsprechen den Ausbreitungsklassen I und II (sehr stabil und stabil).

Ein Strahlungstag wird daher folgendermaßen quantitativ definiert:

- Vorkommen der Ausbreitungsklassen IV und V (labil und sehr labil) zu mindestens 50 % der Tagstunden.
- Vorkommen der Ausbreitungsklassen I und II (sehr stabil und stabil) zu mindestens 75 % der Nachstunden.
- Bedeckungsgrad von höchstens 1/8 für 75 % der Stunden des Gesamttages.
- Gebietsmittel der Windgeschwindigkeit von höchstens 1,5 m/s während der Nachtstunden.
- Die Bedingungen 1 bis 4 müssen für die hiesige Station 3 (Aue) und Öhringen gleichermaßen erfüllt sein, um lokale Quellbewölkung auszuschließen.

Die Bedingungen 3 und 4 sind erforderlich, da die Eigenschaften der Ausbreitungsklassen I und II für die hiesigen Zwecke noch zu unscharf sind und daher verfeinert werden müssen.

Diese Definition folgt dem Ausschlussprinzip d. h., dass alle Tage, die die Definition nicht erfüllen, automatisch allochthone Tage sind. Weitere Differenzierungen sind nicht vorgesehen.

Die für diese Definition notwendige Tag-Nachtabgrenzung erfolgte nach STULL (1995) durch astronomische Berechnung der mittleren, wahren Heilbronner Ortszeit des apparenten Sonnenauf- und -untergangs für jeden einzelnen Tag der Messperiode. Als benötigte geografische Lagereferenz wurde die Innenstadt mit 49°8'N und 9°13'E gewählt. Während die Dämmerungszeiten im Jahresgang variabel sind, ist der wahre Heilbronner Mittag immer um 12:23 MEZ und die wahre Heilbronner Mitternacht um 00:23 MEZ. Aufgerundet zur vollen Stunde sind dieses 12:00 MEZ und 0:00 MEZ. Anhand dieser Werte werden die Taghälften sowie Vormittage, Nachmittage und erste und zweite Nachthälfte abgegrenzt.

Unter Anwendung dieses Verfahrens konnten **58 austauscharme Strahlungstage** für den einjährigen Messzeitraum ermittelt werden. Das entspricht 15,8 % aller Tage im Jahr. Davon entfällt mehr als die Hälfte (32 Tage) auf die Sommermonate Juni (7 Tage), Juli (10 Tage) und August (15 Tage) (siehe **Tab. 5-1** und **Abb. 5-1** weiter oben). Der Herbst (September bis November) und der Winter (Dezember bis Februar) sind mit 5 Tagen bzw. 7 Tagen deutlich weniger vertreten. Die Definition der in **Tab. 5-1** genannten Großwetterlagen (GWL) ist in **Tab. 5-2** gegeben.

Mehr als die Hälfte der Strahlungstage trat unter antizyklonalen Bedingungen auf (**Tab. 5-3**), während unter zyklonalen Bedingungen nur wenige Strahlungstage gefunden wurden.

Im Hinblick auf die zu untersuchenden stadt- und geländeklimatischen Phänomene ist somit ein insgesamt abgesichertes Datenkollektiv gegeben, sodass die statistischen Angaben in der folgenden klimatologischen Analyse als repräsentativ gelten können.

Tab. 5-1: Eigenschaften der 58 Strahlungstage in Heilbronn für den Messzeitraum 04/2015 – 03/2016.

Datum	GWL	GWT	Strömung	Zirkulationsform	Sommertag	Heißer Tag
07.04.2015	HM	Hoch Mitteleuropa	Gemischt	unbestimmt		
08.04.2015	HM	Hoch Mitteleuropa	Gemischt	unbestimmt		
09.04.2015	HM	Hoch Mitteleuropa	Gemischt	unbestimmt		
10.04.2015	HM	Hoch Mitteleuropa	Gemischt	unbestimmt		
15.04.2015	Wa	West	Zonal	antizyklonal	X	
19.04.2015	Na	Nord	Meridional	antizyklonal		
20.04.2015	Na	Nord	Meridional	antizyklonal		
21.04.2015	Na	Nord	Meridional	antizyklonal		
23.04.2015	Wa	West	Zonal	antizyklonal		
24.04.2015	Wa	West	Zonal	antizyklonal		
13.05.2015	HNa	Nord	Meridional	antizyklonal		
18.05.2015	Wa	West	Zonal	antizyklonal		
22.05.2015	TrM	Nord	Meridional	unbestimmt		
04.06.2015	Wa	West	Zonal	antizyklonal	X	
05.06.2015	SWa	Südwest	Gemischt	antizyklonal	X	X
06.06.2015	SWa	Südwest	Gemischt	antizyklonal	X	X
14.06.2015	TrW	Süd	Meridional	unbestimmt	X	
25.06.2015	Wa	West	Zonal	antizyklonal		
29.06.2015	HM	Hoch Mitteleuropa	Gemischt	unbestimmt	X	
30.06.2015	HM	Hoch Mitteleuropa	Gemischt	unbestimmt	X	
01.07.2015	HM	Hoch Mitteleuropa	Gemischt	unbestimmt	X	X
02.07.2015	HM	Hoch Mitteleuropa	Gemischt	unbestimmt	X	X
03.07.2015	HM	Hoch Mitteleuropa	Gemischt	unbestimmt	X	X
04.07.2015	HM	Hoch Mitteleuropa	Gemischt	unbestimmt	X	X
05.07.2015	Wa	West	Zonal	antizyklonal	X	X
10.07.2015	NWa	Nordwest	Gemischt	antizyklonal		
11.07.2015	Wa	West	Zonal	antizyklonal	X	X
15.07.2015	Wa	West	Zonal	antizyklonal	X	
16.07.2015	Wa	West	Zonal	antizyklonal	X	X
21.07.2015	Wa	West	Zonal	antizyklonal	X	X
02.08.2015	WW	West	Zonal	unbestimmt	X	
03.08.2015	WW	West	Zonal	unbestimmt	X	X
05.08.2015	SWz	Südwest	Gemischt	zyklonal	X	X
06.08.2015	SWz	Südwest	Gemischt	zyklonal	X	X
07.08.2015	WW	West	Zonal	unbestimmt	X	X
08.08.2015	WW	West	Zonal	unbestimmt	X	X

11.08.2015	Wa	West	Zonal	antizyklonal	X	X
12.08.2015	Wa	West	Zonal	antizyklonal	X	X
21.08.2015	TrM	Nord	Meridional	unbestimmt		
22.08.2015	TrM	Nord	Meridional	unbestimmt	X	
26.08.2015	TrM	Nord	Meridional	unbestimmt	X	
27.08.2015	TrM	Nord	Meridional	unbestimmt	X	X
29.08.2015	Wa	West	Zonal	antizyklonal	X	X
30.08.2015	Wa	West	Zonal	antizyklonal	X	X
31.08.2015	Wa	West	Zonal	antizyklonal	X	X
11.09.2015	HFa	Ost	Meridional	antizyklonal		
21.09.2015	TrM	Nord	Meridional	unbestimmt		
01.10.2015	NEa	Nordost	Meridional	antizyklonal		
02.10.2015	NEa	Nordost	Meridional	antizyklonal		
03.10.2015	NEa	Nordost	Meridional	antizyklonal		
07.12.2015	Wa	West	Zonal	antizyklonal		
08.12.2015	SWa	Südwest	Gemischt	antizyklonal		
10.12.2015	SWa	Südwest	Gemischt	antizyklonal		
27.12.2015	Wa	West	Zonal	antizyklonal		
28.12.2015	Wa	West	Zonal	antizyklonal		
29.12.2015	Sa	Süd	Meridional	antizyklonal		
06.02.2016	SWz	Südwest	Gemischt	zyklonal		
18.03.2016	NWa	Nordwest	Gemischt	antizyklonal		
GWL = Großwetterlage (Erläuterung siehe Tab. 5-2), GWT = Großwettertyp, Sommertag: $t_{Lmax} \geq 25 \text{ °C}$, Heißer Tag: $t_{Lmax} \geq 30 \text{ °C}$						

Tab. 5-2: Liste mit Namen der Großwetterlagen (GWL) (Gerstengarbe & Werner 2010).

BM	Hochdruckbrücke Mitteleuropa
HB	Hoch Britische Inseln
HFa	Hoch Fennoskandien, Mitteleuropa überwiegend antizyklonal
HFz	Hoch Fennoskandien, Mitteleuropa überwiegend zyklonal
HM	Hoch Mitteleuropa
HNa	Hoch Nordmeer-Inland, Mitteleuropa überwiegend antizyklonal
HNFa	Hoch Nordmeer-Fennoskandien, Mitteleuropa überwiegend antizyklonal
HNFz	Hoch Nordmeer-Fennoskandien, Mitteleuropa überwiegend zyklonal
HNz	Hoch Nordmeer-Inland, Mitteleuropa überwiegend zyklonal
Na	Nordlage, Mitteleuropa überwiegend antizyklonal
NEa	Nordostlage, Mitteleuropa überwiegend antizyklonal
NEz	Nordostlage, Mitteleuropa überwiegend zyklonal
NWa	Nordwestlage, Mitteleuropa überwiegend antizyklonal
NWz	Nordwestlage, Mitteleuropa überwiegend zyklonal
Nz	Nordlage, Mitteleuropa überwiegend zyklonal
Sa	Südlage, Mitteleuropa überwiegend antizyklonal
SEa	Südostlage, Mitteleuropa überwiegend antizyklonal
SEz	Südostlage, Mitteleuropa überwiegend zyklonal
SWa	Südwestlage, Mitteleuropa überwiegend antizyklonal
SWz	Südwestlage, Mitteleuropa überwiegend zyklonal
Sz	Südlage, Mitteleuropa überwiegend zyklonal
TB	Tief Britische Inseln
TM	Tief Mitteleuropa
TrM	Trog Mitteleuropa
TrW	Trog Westeuropa
Ü	Übergangslage / Unbestimmt
Wa	Westlage, Mitteleuropa überwiegend antizyklonal
WS	Südliche Westlage
WW	Winkelförmige Westlage
Wz	Westlage, Mitteleuropa überwiegend zyklonal

Tab. 5-3: Zuordnung von Großwettertypen und Zirkulationsformen zu den Strahlungstagen in Heilbronn für den Messzeitraum 04/2015 – 03/2016.

Zirkulationsform	Großwettertyp	Zirkulationsform			Summe
		antizyklonal	unbestimmt	zyklonal	
Meridional	Nord	4	6		10
	Nordost	3			3
	Ost	1			1
	Süd	1	1		2
Zonal	West	19	4		23
Gemischt	Hoch Mitteleuropa		10		10
	Nordwest	2			2
	Südwest	4		3	7
Summe		34	21	3	58

6 Ergebnisse

Nachdem in den vorstehenden Kapiteln die Ausgangssituation, die Randbedingungen, die Untersuchungsmethoden und die Vorgehensweise detailliert erläutert wurden, werden in diesem zentralen **Kap. 6** die Ergebnisse umfangreich analysiert und diskutiert. In **Kap. 6.1** werden zuerst die gemessenen Klimaparameter Strahlung, Lufttemperatur, Niederschlag, Luftfeuchte, Wind sowie die daraus abgeleiteten bioklimatischen Parameter ausführlich behandelt. In **Kap. 6.2** erfolgt die Analyse der Temperaturmessfahrten sowie der numerischen Modellrechnungen. **Kap. 6.3** fasst diese Ergebnisse in einer Gesamtschau zusammen. Dieses Kapitel stellt somit die wesentliche Voraussetzung für die Erstellung der Klimafunktions- bzw. Planungshinweiskarte dar (s. **Kap. 8**). Das **Kap. 7** analysiert unter Berücksichtigung des regionalen Klimawandels die in Heilbronn zu erwartenden Auswirkungen auf die Klimaparameter.

6.1 Ergebnisse der stationären Messungen

6.1.1 Strahlung

Die Sonnenstrahlung ist die maßgebliche Größe, die das Klima eines Ortes bestimmt. Sie erwärmt die Erdoberfläche, die ihrerseits die Wärme wieder an die bodennahen Luftschichten abgibt und somit das Lufttemperaturfeld sowie daraus folgend das Luftdruck- und Windfeld prägt. Die räumlichen Unterschiede des Klimas resultieren aus den unterschiedlichen Flächennutzungen mit ihren unterschiedlichen thermophysikalischen und strömungsdynamischen Eigenschaften sowie ggf. aus der Relieflage und deren Sonnenexposition.

Als geeignetes Maß für die Sonneneinstrahlung wird die Globalstrahlung verwendet, welche die direkte Einstrahlung sowie die diffuse, indirekte Strahlung (z. B. durch Bewölkung) zusammenfasst. Die jährliche Verteilung der Globalstrahlung in Heilbronn während des Messzeitraums 01.04.2015 – 31.03.2016 ist in **Abb. 6-1** in Form von Isoplethen dargestellt, bei der die Globalstrahlungsstromdichten der mittleren monatlichen Tagesgänge gegen den Jahresgang (Monate) aufgetragen sind.

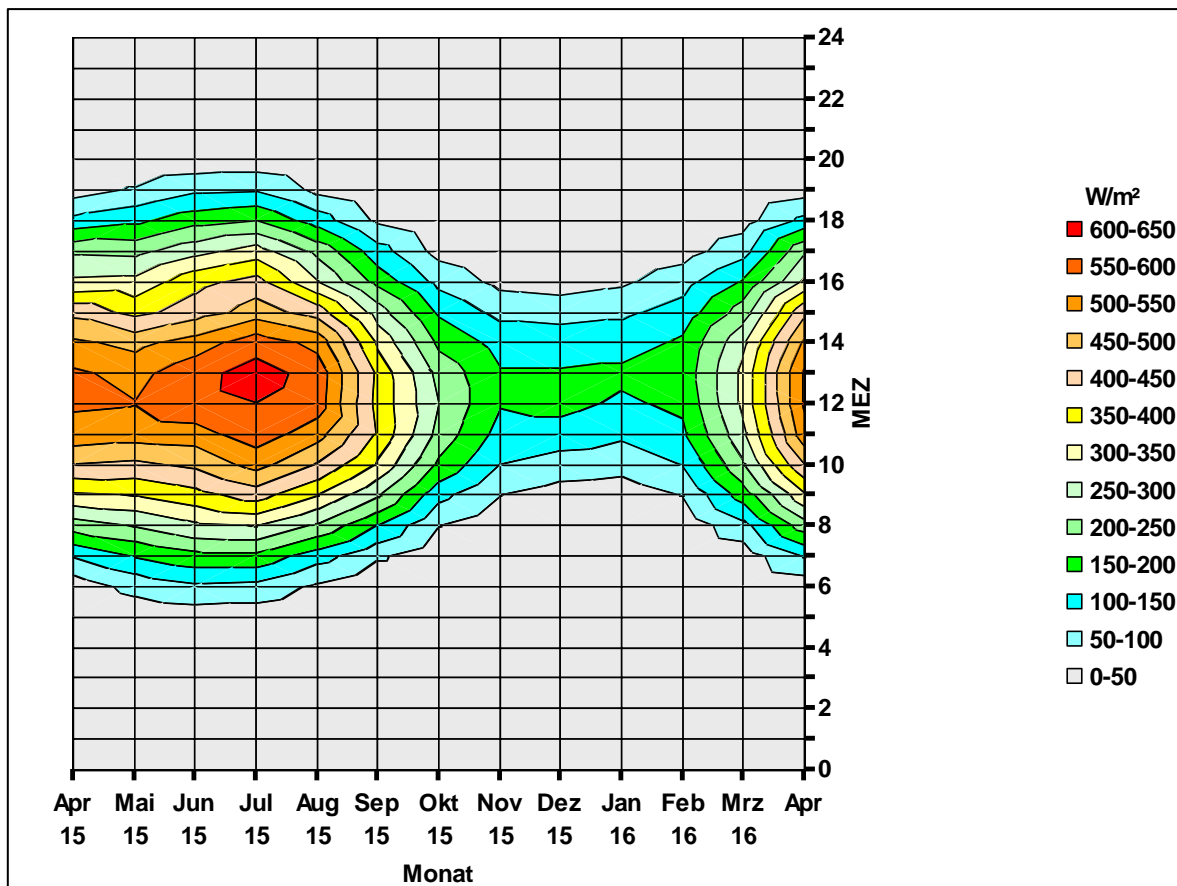


Abb. 6-1: Isoplethen der mittleren Globalstrahlung in Heilbronn für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Mittelwerte der Stationen St. 5 (Gewerbe) und St. 6 (Landwirtschaft)).

Da nachts keine Sonneneinstrahlung auftritt, zeigt die Darstellung die Abhängigkeit der Taglängen und der Globalstrahlungsmengen von der Jahreszeit. Im Sommer beträgt die Tageslänge bis zu 16 Stunden (Juni und Juli). Aufgrund des hohen Sonnenstandes werden in der Mittagszeit Globalstrahlungsstromdichten von bis zu 650 W/m^2 (Juli) erreicht. Die Sommertage sind damit lang und strahlungsintensiv genug, um die Atmosphäre auf sommerliche Verhältnisse aufwärmen zu können (vgl. **Kap. 6.1.2.2** „Temperaturfeld im Jahres- und Tagesgang/Wärmeinsel“). Demgegenüber reduziert sich im Winter die Taglänge aufgrund des niedriger werdenden Sonnenstandes auf bis zu 8 Stunden (Dezember). Die Globalstrahlung beträgt dann mit nur noch maximal 200 W/m^2 weniger als ein Drittel des Wertes im Hochsommer.

Die Isoplethen-Darstellung gibt die mittleren Verhältnisse wieder. Eine genauere Differenzierung der Einstrahlungsverhältnisse ergibt die separate, jahreszeitliche Betrachtung von wolkenfreien Strahlungstagen und den allochthonen, zumeist (mindestens teilweise) bewölkten Witterungsbedingungen (**Abb. 6-2**). Dort sind zur Abschätzung der Strahlungsausbeute ergänzend die maximal möglichen, astronomisch bedingten Werte angegeben, wie sie bei wolkenfreier, aber durch Wasserdampf und Aerosole normal getrüübter Atmosphäre gemäß VDI (1986) zu erwarten wären (gestrichelte Linien).

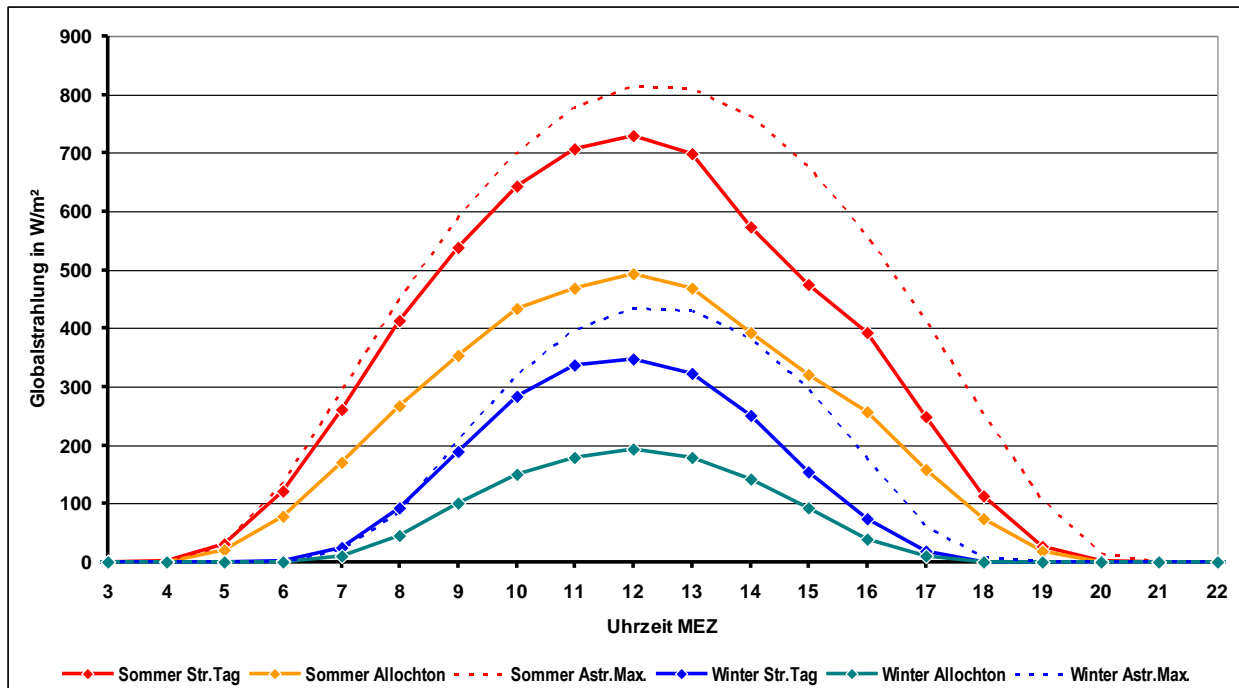


Abb. 6-2: Mittlerer Tagesgang der gemessenen und maximal möglichen (Astr.Max.) Globalstrahlung für Strahlungstage und allochthone Tage im Sommer- und Winterhalbjahr in Heilbronn für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Daten: Mittelwert der Stationen St. 5 (LUBW) und St. 6 (Landwirtschaft)).

An Strahlungstagen im **Sommerhalbjahr** werden im Mittel bis zu 730 W/m² Globalstrahlung erreicht. Dieses entspricht 90 % der maximal möglichen, astronomischen Einstrahlung. Dass dieser Wert nicht erreicht wird, liegt in der natürlichen Schwankung der trübenden Atmosphärenbestandteile (Wasserdampf und andere Spurengase sowie Aerosole) begründet. An einzelnen Sommertagen im Juni (hier nicht dargestellt) kann die Globalstrahlung auf bis zu 918 W/m² ansteigen. An allochthonen, häufig bewölkten Tagen des Sommerhalbjahrs beträgt die maximale Einstrahlung zur Mittagszeit 493 W/m² und ist damit um 32 % niedriger als an Strahlungstagen. Im **Winterhalbjahr** ist aufgrund des niedrigeren Sonnenstandes das Einstrahlungspotenzial deutlich geringer. An Strahlungstagen betragen die mittäglichen Maximalwerte der Globalstrahlung 347 W/m². Das entspricht weniger als der Hälfte (48 %) des Wertes für sommerliche Strahlungstage. An allochthonen Wintertagen werden nur noch 194 W/m² erreicht. Im Vergleich zu den hellen sommerlichen Strahlungstagen ist das eine Abschwächung um 73 %, d. h. an bewölkten Wintertagen beträgt die Einstrahlung nur ein Viertel der Einstrahlung an klaren Sommertagen.

Die für die einzelnen Monate des Messzeitraums 01.04.2015 – 31.03.2016 aufsummierte Globalstrahlungsmenge ist in **Abb. 6-3** dargestellt.

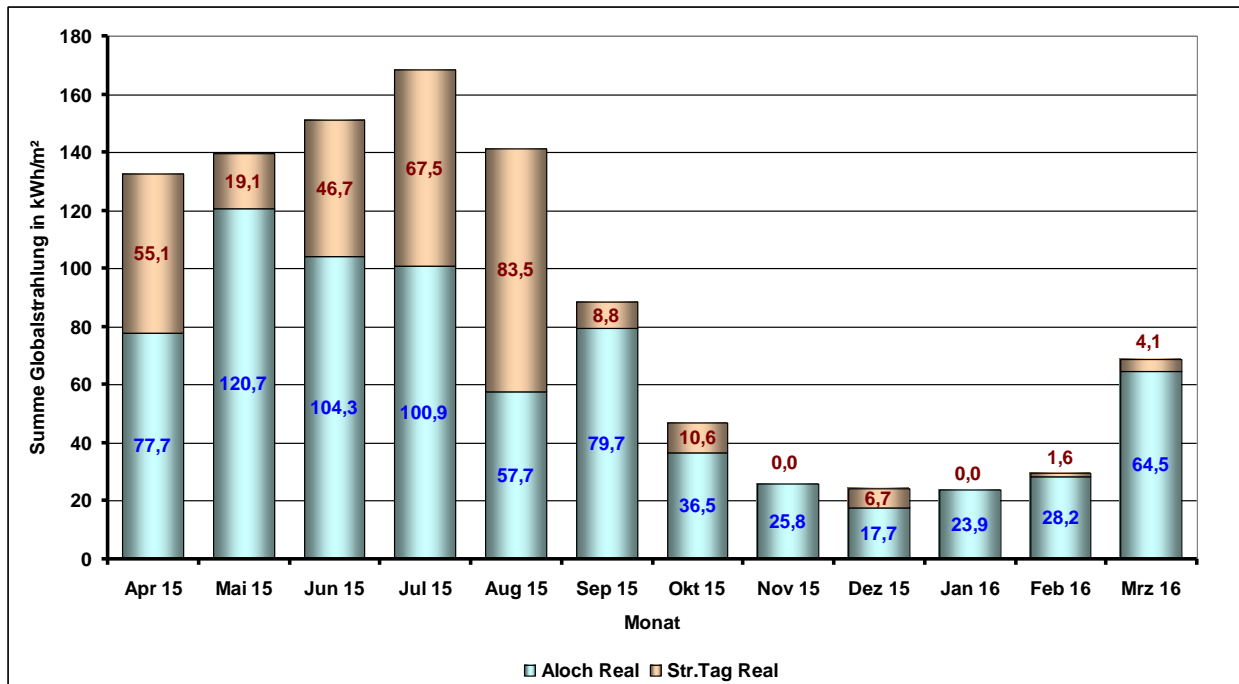


Abb. 6-3: Mittlerer Jahresgang der monatlichen Globalstrahlungssumme für Strahlungstage und allochthone Tage in Heilbronn für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Daten: Mittelwert der Stationen St. 5 (LUBW) und St. 6 (Landwirtschaft)).

Neben dem typischen Jahresgang zeigt sich der Einfluss der Witterung während des Messjahres besonders deutlich. Normalerweise liegt das Maximum der Globalstrahlungssumme im **Sommer** im Monat Juni, der in dieser Messperiode jedoch weniger Strahlungstage (7 Tage) aufwies als die Monate Juli (10 Strahlungstage) und August (15 Strahlungstage) (vgl. **Abb. 5-1** in **Kap. 5.1**). Entsprechend hoch ist die Globalstrahlungssumme im Juli (168 kWh/m^2), während sie im Juni 151 kWh/m^2 beträgt. Im August werden die Tage bereits wieder kürzer, jedoch ist der relative Beitrag der 15 Strahlungstage an der Sonneneinstrahlung im Gesamtmonat mit $83,5 \text{ kWh/m}^2$ bzw. 59 % relativ hoch. Im Gegensatz zum Sommer betrug im tiefen **Winter** die Globalstrahlungssumme nur ca. 25 kWh/m^2 (November bis Januar), entsprechend einer Reduktion um den Faktor 6 auf 15 % der maximalen Sommerwerte.

Die Bandbreite der witterungsbedingten Schwankung der Globalstrahlung im Messjahr wird am deutlichsten, wenn man die Tagesgänge verschiedener klimatischer Messgrößen für einzelne Tage mit unterschiedlichem Witterungscharakter vergleicht, wie in Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. exemplarisch für einen Strahlungstag, einen bewölkten Tag sowie für einen Regentag im Sommer dargestellt.

Am **heißen Tag** werden bei klarem Himmel und ungehinderter Sonneneinstrahlung maximale Globalstrahlungswerte (GS) von 795 W/m^2 erreicht (89 % des astronomischen Maximums). Bei schwachen Windgeschwindigkeiten $u \leq 1,8 \text{ m/s}$ erwärmt sich dabei die Luft (T_L) von $16,1 \text{ °C}$ um 5 Uhr MEZ auf $33,3 \text{ °C}$ um 16 Uhr MEZ, während die Luftfeuchtigkeit r_F von 76 % am Morgen

auf 33 % nachmittags zurückgeht. Die Tagesamplitude der Lufttemperatur ist mit 17,2 K sehr hoch.

Am **bewölkten Tag** beträgt die Globalstrahlung maximal 394 W/m² (10 Uhr MEZ) und erreicht im Tagesmittel nur 30 % des theoretischen astronomischen Maximums. Aufgrund des reduzierten Energieumsatzes ist die Luffterwärmung deutlich geringer als am heißen Tag. Bereits morgens um 5 Uhr MEZ ist aufgrund der Gegenstrahlung der Bewölkung die Lufttemperatur mit 17,9 °C relativ hoch und steigt bis zum Tagesmaximum um 18 Uhr MEZ um lediglich 4,7 K auf 22,6 °C an, trotz ebenfalls relativ niedriger Windgeschwindigkeiten $\leq 2,2$ m/s. Allerdings ist nachmittags die Luftfeuchtigkeit mit ca. 50 % höher als am heißen Tag.

Beim ebenfalls schwachwindigen **Regentag** ($u \leq 2,2$ m/s) ist die Einstrahlung mit Maximalwerten von 254 W/m² nochmals deutlich reduziert und beträgt im Tagesmittel nur noch 17 % der maximal möglichen Einstrahlung. Der Niederschlag N_s von insgesamt 20,3 mm am Vormittag führt zu einer Lufttemperatureniedrigung um 3,9 K von 17,7 °C am Beginn des Regens (5 Uhr) auf 13,8 °C um 12 Uhr MEZ, während die Luftfeuchtigkeit von 67 % auf 94 % ansteigt.

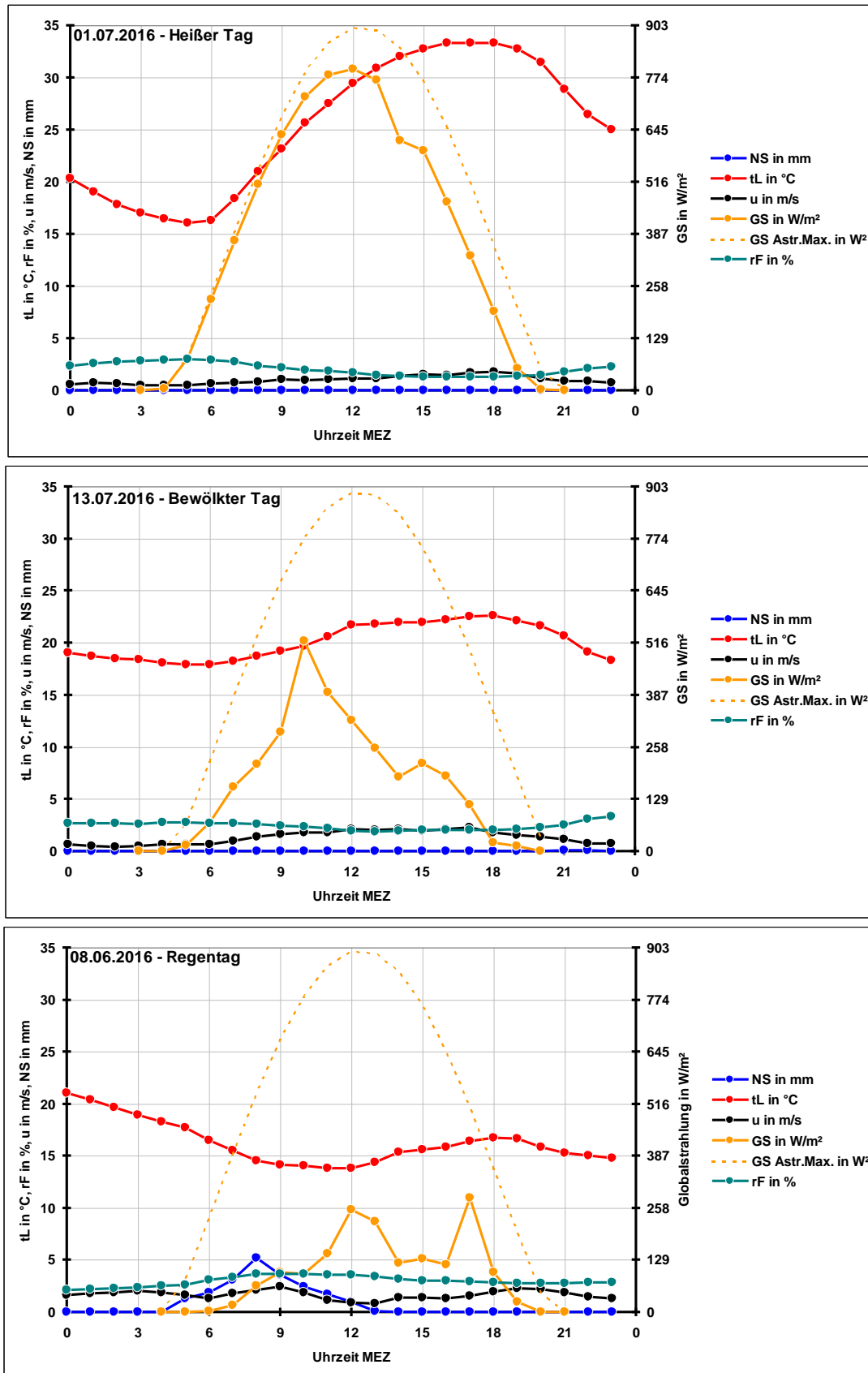


Abb. 6-4: Tagesgang der Lufttemperatur tL, relativen Feuchte rF, Windgeschwindigkeit u, Globalstrahlung GS und des Niederschlages NS an einem typischen Strahlungs-, Wolken- und Regentag im Hochsommer in Heilbronn (Daten: Stationsmittelwerte der Stationen St. 5 (LUBW) und St. 6 (Landwirtschaft)).

6.1.2 Lufttemperatur

6.1.2.1 Statistischer Überblick

Das thermische Niveau stellt aufgrund der Oberflächenabhängigkeit der atmosphärischen Energie- und Wärmebilanz die bedeutendste Größe in der atmosphärischen Grenzschicht dar. Auch hinsichtlich der späteren human-bioklimatischen Bewertung des lokalen Klimas spielt die durch Flächennutzung und Höhenlage beeinflusste Lufttemperatur eine grundlegende Rolle. Es folgt daher zunächst eine Beschreibung der Heilbronner Lufttemperaturverhältnisse.

Einen Überblick über die thermischen Verhältnisse an den Heilbronner Messstationen im Messzeitraum gibt **Tab. 6-1**.

Tab. 6-1: Statistische Angaben zur Lufttemperatur t_L und zu thermischen Ereignistagen (2 m ü. Gr.) an den Heilbronner Messstationen für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 auf Stundenmittelwertbasis.

Größe	Maßeinheit	Station 1	Station 2	Station 3	Station 4	Station 5	Station 6	Station 7	Station 8
Lufttemperatur									
Jahresmittel	C°	13,1	12,5	11,9	11,6	12,3	11,8	11,6	12,2
Abs. Min.	C°	-6,7	-7,8	-8,2	-9,8	-8,1	-8,8	-9,1	-7,9
Abs. Max.	C°	39,6	39,5	38,8	39,1	38,8	39,4	38,9	39,4
Ereignistage									
Sommertage	n	68	63	56	57	60	59	61	67
Heiße Tage	n	33	32	29	27	30	31	31	32
Grillpartytage	n	82	73	66	64	67	59	60	67
Heiße Nächte	n	53	46	34	34	40	33	39	38
Eistage	n	3	3	3	3	3	3	3	3
Frosttage	n	20	25	36	49	34	41	44	35
Heiztage	n	220	236	247	253	241	247	254	240
Eistag: $T_{\max} \leq 0^\circ\text{C}$, Frosttag: $t_{\min} \leq 0^\circ\text{C}$, Heiztag: $t_{\text{mittel}} \leq 15^\circ\text{C}$, Sommertag: $t_{\max} \geq 25^\circ\text{C}$, Heißer Tag: $t_{\max} \geq 30^\circ\text{C}$, Grillpartytag: $t_{21\text{h}} \geq 20^\circ\text{C}$, Heiße Nacht $t_{\min\text{Nacht}} \geq 20^\circ\text{C}$									

Im interstationären Vergleich (s. **Abb. 6-5**) zeigt das thermische Niveau deutliche Abhängigkeiten von der Flächennutzung. Allgemein gilt: Je höher der Versiegelungs- und Bebauungsgrad, desto höher die Lufttemperatur, während unversiegelte Flächen ein eher kühleres Niveau aufweisen.

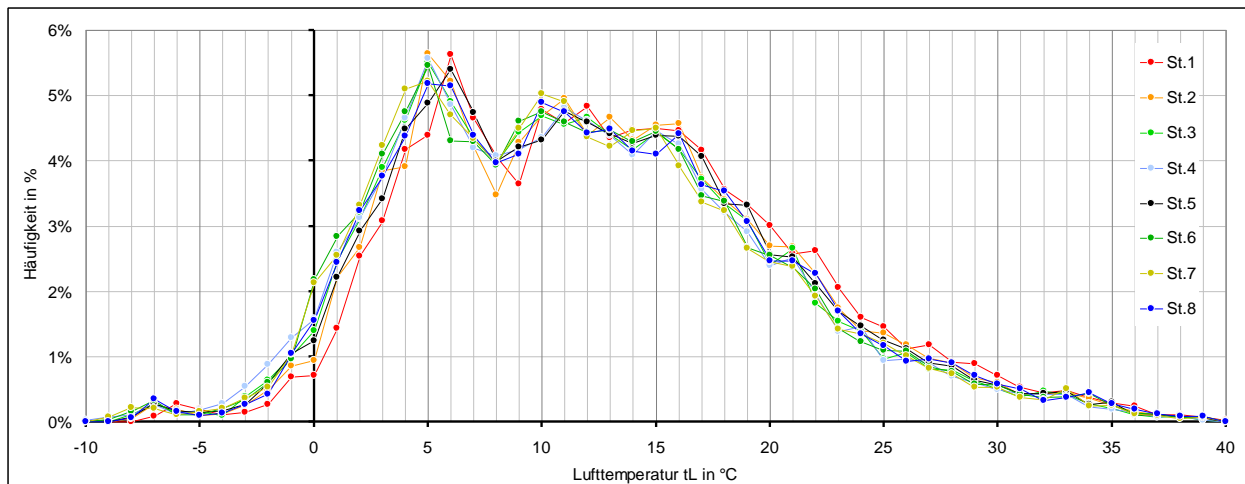


Abb. 6-5: Häufigkeitsverteilung der Lufttemperatur an den Heilbronner Messstationen für Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 auf Stundenmittelwertbasis.

Bereits bei den **Jahresmittelwerten** stellt die hoch versiegelte Innenstadt (St. 1) mit ihrer zur Aufheizung und Wärmespeicherung neigenden Bebauung und Versiegelung mit 13,1 °C die wärmste Station dar. Im Gegenzug sind die durchgrünte Parkstation (St. 4) und der unversiegelte Wartberg (St. 7) mit jeweils 11,6 °C die kältesten Stationen. Somit ist die Innenstadt um bis 1,5 K wärmer als das Umland und stellt damit eine permanente **Wärmeinsel** (engl. Urban Heat Island, **UHI**) dar. Die übrigen Stationen reihen sich entsprechend ihrer Flächennutzung ebenfalls in dieses Schema ein. Das Wohngebiet (St. 2) mit einer gegenüber der Innenstadt höheren Durchgrünung weist aufgrund der immer noch relativ dichten Bebauung die zweithöchste Jahresmitteltemperatur (12,5° C) auf, gefolgt vom Gewerbegebiet (St. 5) mit 12,3 °C, in dem zwar die Durchgrünung fehlt, aber durch die relativ weitläufigen Flächen die Durchlüftung und damit der Wärmeabtransport höher sind. Bei den unversiegelten Flächen ist die Landwirtschaftsfläche auf der westlichen Hochebene (St. 6) die zweikühlste Station (11,8 °C), gefolgt von den Wiesen in der Neckarraue (St. 3) mit 11,9 °C, wo der Einfluss des relativ warmen Flusses eine stärkere Abkühlung verhindert. Noch deutlicher wird das Klärwerk im nördlichen Industriegebiet durch Gewässer beeinflusst. Trotz der umliegenden Wiesen beträgt die Jahresmitteltemperatur 12,2 °C und liegt damit im interstationären Vergleich im Mittelfeld.

Diese Standortdifferenzierung spiegelt sich auch bei den absoluten Maxima und Minima wieder. Bei den absoluten **Maxima** ist die Differenzierung mit 0,8 K zwischen wärmster Station Innenstadt (St. 1; 39,6 °C) und kältester Station Wartberg (St. 7; 38,9 °C) gering, was auf die an allen Standorten hohe Sonneneinstrahlung an heißen Tagen und der damit verbundenen Aufheizung der Oberflächen zurückzuführen ist. Bei den im Winter beobachteten absoluten **Minima** ist jedoch mit einer interstationären Bandbreite von 3,1 K die Differenzierung deutlicher. Wiederum stellen die Innenstadt (St. 1) mit -6,7 °C und das Wohngebiet (St. 2) mit -7,8 °C die wärmsten Stationen dar, während der Pfühlpark (St. 6) und der Wartberg (St. 7) mit -9,8 °C bzw. -9,1 °C am kältesten sind.

Eine weitere übersichtliche thermische Charakterisierung der Stationen lässt sich anhand des Klimadiagramms nach JAHNSEN & DANZEISEN (1989) in **Abb. 6-6** vornehmen, in dem die interstationären Relationen der Temperaturextreme aufgezeigt werden, wodurch eine thermische Stationsklassifizierung ermöglicht wird. Auf der X-Achse ist das mittlere Temperaturminimum als Abweichung vom Gebietsmittelwert ($\Delta t_{Lmin.}$) dargestellt, wodurch die nächtliche Abkühlungstendenz aufgezeigt wird. Die Y-Achse zeigt das mittlere Temperaturmaximum als Abweichung vom Gebietsmittelwert (Δt_{Lmax}) und dient als Indikator für die Erwärmungstendenz am Tage. Die

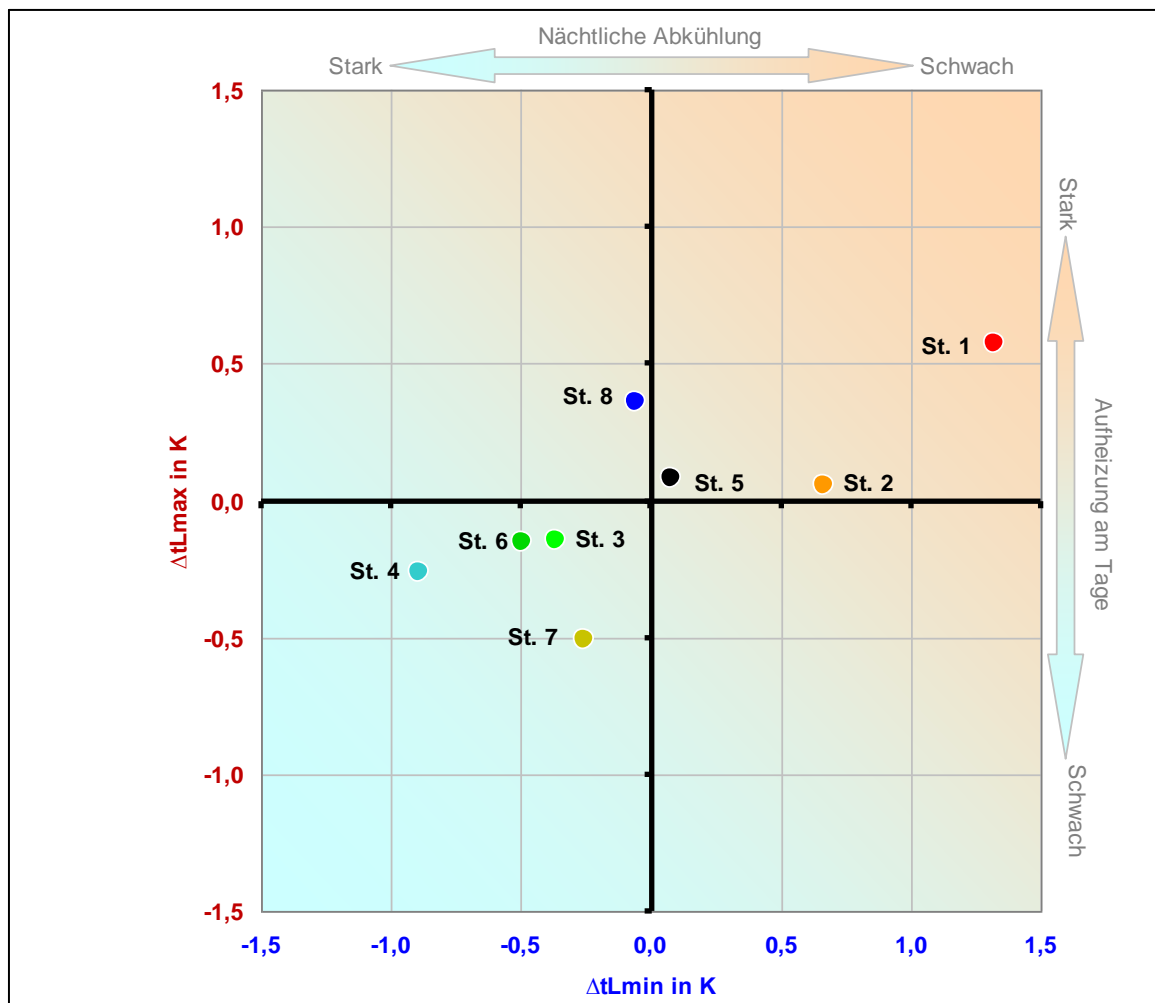


Abb. 6-6: Klimadiagramm für die Stadt Heilbronn, dargestellt als Abweichungen der mittleren Temperaturminima ($\Delta t_{Lmin.}$) und Temperaturmaxima ($\Delta t_{Lmax.}$) der Heilbronner Messstationen von den Heilbronner Gebietsmittelwerten $t_{Lmin.} = 7,9 \text{ °C}$ und $t_{Lmax.} = 16,5 \text{ °C}$. Datengrundlage: Stundenmittelwerte des Messzeitraumes 01.04.2015 – 31.03.2016.

Im oberen rechten Quadranten befinden sich diejenigen Stationen, die sowohl eine hohe tägliche Erwärmungstendenz als auch eine geringe nächtliche Abkühlungstendenz aufweisen. Hierbei handelt es sich um **versiegelte** und **bebaute Gebiete**, die zu hoher Wärmebelastung neigen. Die Innenstadtstation (St. 1) weist dabei die höchste Überwärmung am Tage sowie die geringste

Abkühlung in der Nacht auf und repräsentiert demnach das Zentrum der überwärmten Stadt, welche eine **Wärmeinsel (UHI)** darstellt. Das Wohngebiet (St. 2) neigt zwar am Tage zu nur mäßig hoher Überwärmung, weist aber für die Nacht eine ebenfalls nur geringe Abkühlungstendenz auf. Das Gewerbegebiet (St. 5) zeigt im interstationären Vergleich fast ausgeglichene Verhältnisse mit mittleren Erwärmungs- und Abkühlungstendenzen.

Die Stationen im unteren linken Quadranten weisen zwar eine niedrige Erwärmungstendenz am Tage, dafür aber eine hohe nächtliche Abkühlungstendenz auf und sind daher durch geringe bis fehlende thermische Belastung gekennzeichnet. Hierbei handelt es sich um innerstädtische **Grünflächen** und **Freiflächen** im Umland. Die Wiesen der Neckaraue (St. 3) sowie die Landwirtschaftsfläche auf den westlichen Hochebenen (St. 6) neigen am Tage nur zu schwacher Überwärmung. Die Neckaraue zeigt in der Nacht aufgrund des relativ warmen Flusses eine schwächere Abkühlungstendenz als die Landwirtschaftsfläche. Die höher gelegene unversiegelte Fläche am Wartberg (St. 7) zeigt nachts ein Abkühlverhalten, das zwar besser als in den versiegelten Bereichen, jedoch im Vergleich zu den anderen unversiegelten Stationen am geringsten ist. Im Gegenzug zeigt es die geringste Überwärmungstendenz am Tag. Die Station im Pfühlpark (St. 4) ist insofern auffällig, als dass sie trotz ihrer Nähe zur umliegenden Stadtrandbebauung sowohl die zweitniedrigste Aufheizungstendenz am Tage als auch die stärkste Abkühlungstendenz in der Nacht aufweist. Ursache ist die kombinierende Wirkung aus Flächennutzung (Wiese), Morphologie (Muldenlage als Kaltluftammelgebiet) und Relieflage (Hangfußbereich von zwei unversiegelten Tälern mit potenziellem Kaltluftabfluss).

Die Station am Klärwerk (St. 8) repräsentiert eine Kombination aus Gewässer und Gewerbegebiet, sodass am Tage die zweithöchste Erwärmungstendenz beobachtet wird, während nachts der relativ warme Wasserkörper nur zu einer mäßigen Abkühlung beiträgt.

Einen weiteren anschaulichen Vergleich der thermischen Verhältnisse liefern die Auftrittshäufigen der **Ereignistage**, die in obiger **Tab. 6-1** ebenfalls aufgelistet sind.

Aus **gebäudeenergetischer** Sicht sind die Eistage, Frosttage und Heiztage interessant. Während es bei den **Eistagen** aufgrund des Einflusses einer überregionalen großräumigen Kältewelle keine Unterschiede gibt, sind diese bei den **Frosttagen** deutlich. Während in der wärmeren Innenstadt (St. 1) lediglich 20 Frosttage verzeichnet wurden, waren es an der kältesten Station Pfühlpark (St. 4) fast zweieinhalbmal so viele Tage (49 Tage). Auch das Wohngebiet weist mit 25 Tagen relativ wenige Frostereignisse auf. Die Neckaraue (St. 4) und das Klärwerk (St. 8), die beide im Einflussbereich der relativ warmen Gewässer liegen, sind mit 36 Tagen bzw. 35 Tagen dem interstationären Mittelfeld zuzuordnen. Das Gewerbegebiet (St. 5) liegt mit 36 Tagen ebenfalls im Durchschnitt. Im Freilandbereich (St. 6 + 7) ist ein deutlicher Sprung auf 41 bzw. 44 Frosttage zu verzeichnen. Über die gesamte Wintersaison betrachtet sind diese thermischen Prägungen auch bei den **Heiztagen** zu beobachten, deren Anzahl mit 220 Tagen in der Innenstadt (St.

1) erwartungsgemäß am geringsten ist. Im Wohngebiet sind mir 236 Ereignissen 7 % mehr Heiztage zu verzeichnen, gefolgt vom Klärwerk (St. 8) (240 Tage bzw. +9 %) und dem Gewerbegebiet (St. 5) (241 Tage bzw. +10 %). Im Freilandbereich steigt die Anzahl der Heiztage weiter an. Sie beträgt für die Neckaraue (St. 3) 247 Tage (+12 % gegenüber der Innenstadt), für die westlichen Landwirtschaftsflächen (St. 6) 249 Tage (+13 %) und den Wartberg (St. 7) 254 Tage (+15 %). Auch im Pfühlpark (St. 4) ist die Anzahl der Heiztage mit 253 Tagen (+15 % gegenüber der Innenstadt) sehr hoch.

Hinsichtlich einer **sommerlichen Wärmebelastung** sind die Kennwerte Sommertag, Heißer Tag, Grillpartytag und Heiße Nacht von Bedeutung. Besonderes Augenmerk gilt hier den Wohnquartieren. Erwartungsgemäß werden in der Innenstadt (St. 1) die meisten **Sommertage** beobachtet (68 Tage), gefolgt vom Klärwerk (St. 8) mit 67 Tagen sowie dem Wohngebiet (St. 2) mit 63 Tagen. Im deutlichen Kontrast dazu steht wiederum die Stadtrandstation im Pfühlpark (St. 4), welche mit 57 Tagen 16 % weniger Sommertage aufweist als die Innenstadt. Dieser Wert wird nur noch von der Neckaraue (St. 3) mit 56 Tagen unterboten. Ein vergleichbares Bild zeigen die **bioklimatisch** bedenklichen **heißen Tage**: Ihre Anzahl ist in den Wohnquartieren Innenstadt (St. 1) und Wohngebiet (St. 2) mit 33 bzw. 32 Tagen am höchsten. Auch das Gewerbegebiet am Klärwerk (St. 8) ist betroffen (32 Tage). Demgegenüber ist die Anzahl am Pfühlpark (St. 4) mit nur 27 Tagen um 18 % geringer als in der Innenstadt. Die übrigen Stationen liegen mit 29 bis 31 heißen Tagen im interstationären Mittelfeld. Bezüglich der abendlichen und nächtlichen Erholung setzt sich dieses Bild fort. Bei den warmen Abenden (**Grillpartytagen**) sind die Unterschiede besonders deutlich. Wiederum ist die Innenstadt im interstationären Vergleich mit 82 Grillpartytagen führend. Bereits die zweithäufigste Anzahl von 73 Tagen im Wohngebiet (St. 2) liegt um 9 Tage bzw. -11 % darunter. In der weiteren Rangfolge ist ein deutlicher Sprung nach unten zu verzeichnen. Die Gewerbegebiete (St. 5 + 8) haben nur noch 61 Grillpartytage (-18 % bzw. -15 Tage gegenüber der Innenstadt), gefolgt von der Neckaraue (St. 3) mit 66 Tagen (-19 %) und dem Pfühlpark (St. 4) mit 64 Tagen (-22 % bzw. -18 Tage). Die wenigsten Grillpartytage werden auf den westlichen Landwirtschaftsflächen (St. 6) mit nur 47 Ereignissen registriert (-43 % bzw. -35 Tage gegenüber der Innenstadt). Ursache ist hier die offene und hohe Lage der im hohen Maße kaltluftaktiven Agrarflächen, die bereits kurz nach Sonnenuntergang eine starke Wärmeausstrahlung und damit eine Abkühlung ermöglichen. Aus diesem Grund werden hier auch die wenigsten **heißen Nächte** verzeichnet (27 Nächte). In der durch den warmen Neckar beeinflussten Aue (St. 3) und dem Pfühlpark in Stadtrandlage (St. 4) werden mit jeweils 34 Nächten bereits deutlich mehr heiße Nächte registriert. Innerhalb der Bebauung steigt deren Häufigkeit auf 46 Nächte (+35 %) im Wohngebiet (St. 2) sowie auf 53 Nächte (+56 %) in der Innenstadt (St. 1) an. Das Gewerbegebiet (St. 5), das Klärwerk (St. 8) und der Wartberg (St. 7) liegen mit 38 bis 40 heißen Nächten im interstationären oberen Mittelfeld.

6.1.2.2 Temperaturfeld im Jahres- und Tagesgang/Wärmeinsel

Das Temperaturfeld unterliegt saisonalen und diurnalen Schwankungen, die sich auf die thermische Belastung auswirken können. In **Abb. 6-7** ist der **Jahresgang** der Lufttemperatur für alle Stationen dargestellt.

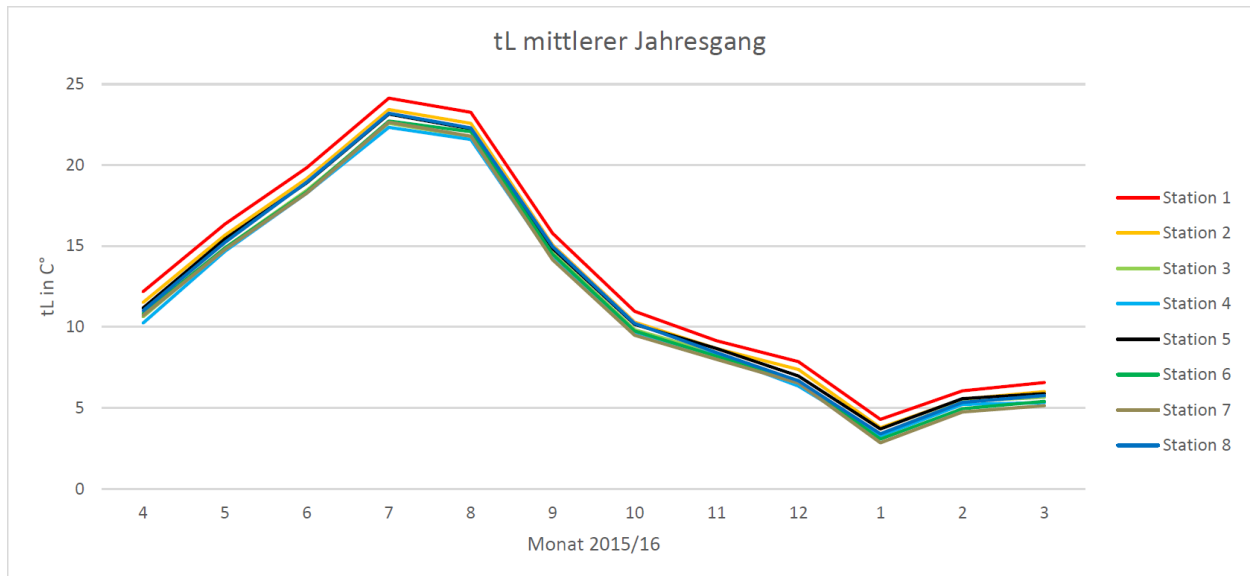


Abb. 6-7: Jahresgang der Lufttemperatur an den Messstationen in Heilbronn für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Datenbasis: Stundenmittelwerte).

Zunächst ist für alle Stationen ein starker Kälteeinbruch im Januar zu verzeichnen, der durch zugeführte Polarluft verursacht wurde und zu den drei Eistagen der Messperiode an allen Stationen führte. Unabhängig davon zeigt der interstationäre Vergleich in allen Monaten nur eine geringe Bandbreite der thermischen Verhältnisse von ca. 2 K, wobei die Innenstadt (St. 1) immer die wärmste Station darstellt, gefolgt vom Wohngebiet (St. 2). Beide Stationen sind ca. 1,0 K bzw. 0,5 K wärmer als die übrigen Standorte. Dort ist die Station Pfühlpark (St. 4) während der Monate April bis August die kälteste Station. In den übrigen Monaten trifft dieses für den Wartberg (St. 7) zu.

Im mittleren jährlichen **Tagesgang** (**Abb. 6-8**) treten die Unterschiede zwischen den Stationen deutlicher zu Tage.

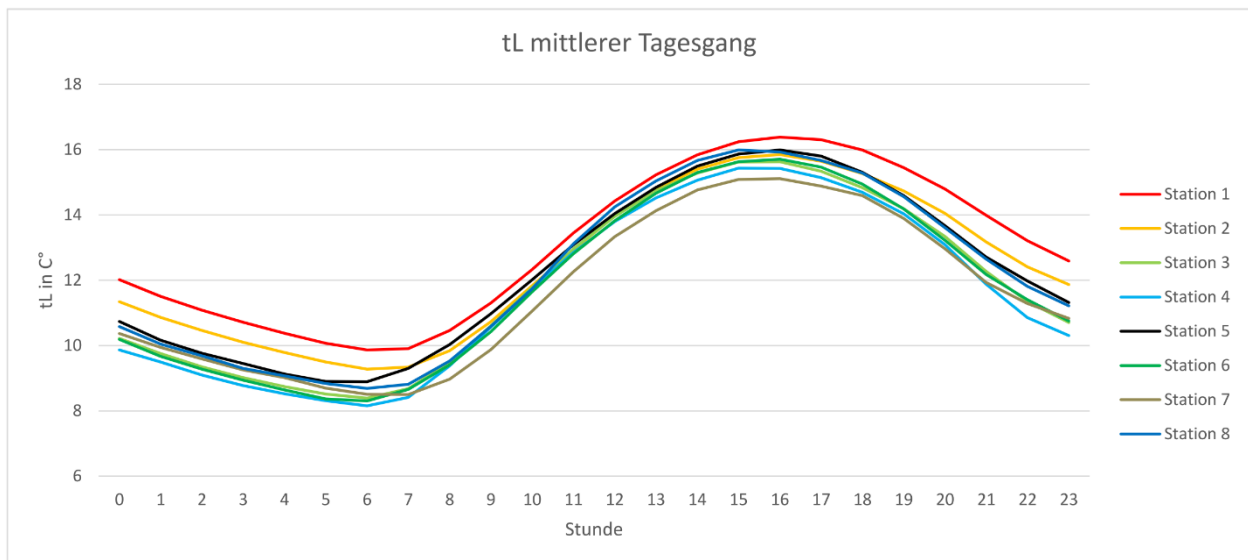


Abb. 6-8: Mittlerer Tagesgang der Lufttemperatur an den Messstationen in Heilbronn für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Datenbasis: Stundenmittelwerte).

Die Innenstadt (St. 1) stellt sowohl tagsüber als auch nachts die wärmste Station dar und bildet eine **Wärmeinsel**. Die Maximaltemperatur am Nachmittag beträgt 16,4 °C, das morgendliche Minimum 9,9 °C. Für die Zeit ab Sonnenuntergang um 19 Uhr MEZ bis zum Morgen um 7 Uhr MEZ weist das Wohngebiet (St. 2) die zweithöchsten Temperaturen auf, die ca. 0,6 K unterhalb derjenigen der Innenstadt liegen. Die übrigen Stationen sind deutlich kühler und kühlen im Verlauf der Nacht schneller aus als die Innenstadt und das Wohngebiet. Aber auch das Gewerbegebiet als drittwärmste Flächennutzung während des Tages kühlt trotz seiner Versiegelung und relativ hohen Temperaturen am Tage in der Nacht relativ schnell aus. Ursache ist die fehlende Masse an speicherfähigem Baumaterial, da einerseits ein Großteil der Industrie- und Gewerbebauten aus großvolumigen Hallen mit dünnen Wänden besteht und andererseits die weitläufigen Oberflächenversiegelungen nur eine dünne Bodenauflage bilden. Das im Einflussbereich der Gewässer liegende Klärwerk (St. 8) hat ein mit dem Gewerbegebiet (St. 5) vergleichbares Temperaturniveau. Die restlichen Stationen gehören zu den unversiegelten Flächen und weisen ein relativ kühles Klima auf. Bezüglich der kühlest Station ist ein Wechsel von der hoch gelegenen Station Wartberg (St. 7) am Tage zum Pfühlpark (St. 4) in der Nacht zu beobachten. Bei der Fläche auf dem Wartberg führt die Höhenlage tagsüber zur relativen Kühle, während sie nachts dem Bereich der **warmen Hangzone** zuzuordnen ist. Die Station Pfühlpark hingegen weist aufgrund der windgeschützten Tallage und der Stadtrandlage tagsüber etwas höhere Temperaturen auf, während sie nachts unter **Kaltlufteinfluss** steht.

Die bereits angesprochene **städtische Wärmeinsel (UHI)** ist kein statisches Phänomen, sondern von der Art und Höhenlage der Vergleichsflächen abhängig. Ferner unterliegt sie einem Tages-

und Jahrgang. **Abb. 6-9** zeigt den mittleren **Tagesgang** für drei exemplarische Wärmeinselbezüge, die aus den stündlichen Lufttemperaturdifferenzen zwischen der Innenstadt (St. 1) und der Neckaraue (St. 3), dem Pfühlpark (St. 4) und dem höher gelegenen Wartberg berechnet wurden.

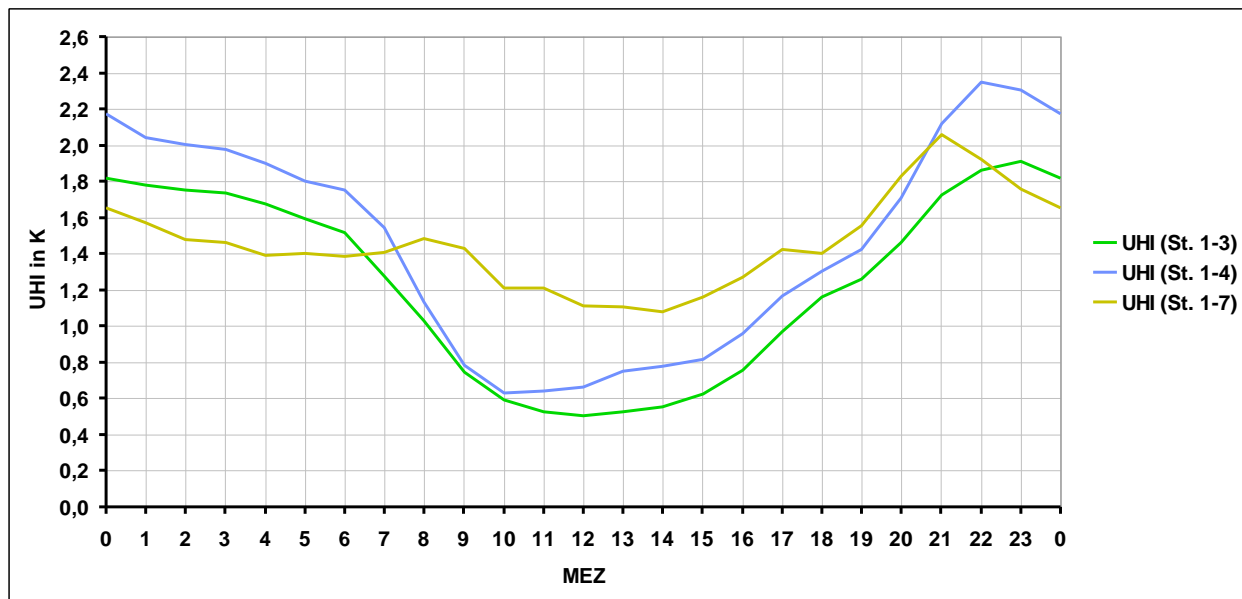


Abb. 6-9: Mittlerer Tagesgang der Wärmeinselintensität UHI an ausgewählten Messstationen in Heilbronn für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Datenbasis: Stundenmittelwerte).

Die mittlere jährliche Wärmeinselintensität beträgt für die Bezugsstation Neckaraue (St. 3) 1,2 K und für die Bezugsstationen Pfühlpark (St. 4) und Wartberg (St. 7) jeweils 1,4 K. Die beiden letztgenannten UHIs unterscheiden sich jedoch deutlich im Tagesgang. Während im Tal (Pfühlpark) ein deutlicher Tagesgang mit einem Minimum von 0,6 K an Tage und einem Maximum von 2,3 K in der Nacht beobachtet wird, ist der Tagesgang bezogen auf den Wartberg gedämpfter und weist Werte zwischen 1,1 K (tagsüber) und 2,1 K (nachts) auf, da der Wartberg tagsüber relativ kühler ist und nachts in der warmen Hangzone liegt. Der ausgeprägte Tagesgang bei der Pfühlpark-basierten UHI resultiert hingegen ausschließlich aus dem Strahlungs- und Wärmehaushalt der Flächennutzungen. Tagsüber erwärmen sich sowohl die Innenstadt als auch der Pfühlpark durch die direkte Sonneneinstrahlung, sodass dann der Temperaturunterschied relativ gering ist (0,6 K bis 1,2 K). Nachts hingegen wird der Temperaturkontrast ausschließlich durch die flächenspezifischen Auskühlungsraten bestimmt. Hierbei kühlt die Wiese des Pfühlparks schneller und stärker aus, als die Innenstadt, deren Bausubstanz die am Tage aufgespeicherte Wärme nur langsam und zeitlich verzögert wieder an die Atmosphäre abgibt. So werden Maximalwerte der UHI von bis zu 2,3 K erreicht. Die auf die Neckaraue bezogene UHI entspricht hinsichtlich des Tagesverlaufs derjenigen des Pfühlparks, allerdings auf einem ca. 0,2 K niedrigerem Niveau. Ursache ist sowohl der Einfluss des warmen Flusses als auch der geringere Einfluss von Kaltluftprozessen.

Die jährliche Verteilung der Wärmeinsel ist in **Abb. 6-10** für die Bezugsstation Pfühlpark (St. 4) in Form von Isoplethen dargestellt, die die Wärmeinselintensität der mittleren monatlichen Tagesgänge gegenüber dem Jahresgang zeigen.

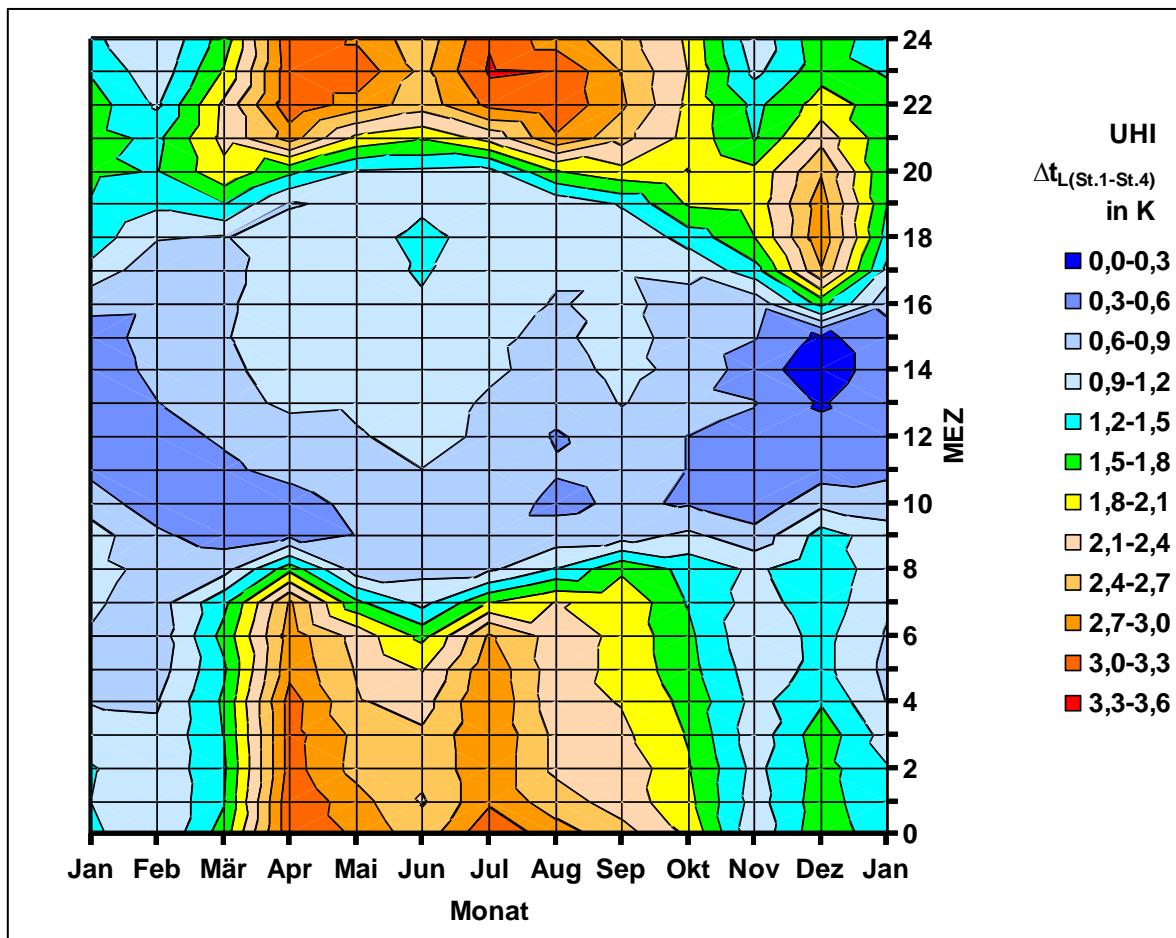


Abb. 6-10: Isoplethen der Wärmeinselintensität UHI in Heilbronn für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Daten: Stationen 1 und 4).

Aus den zuvor beschriebenen Gründen zeigt sich, dass die Wärmeinsel zwar das ganze Jahr über auftritt, hinsichtlich ihrer Ausprägung aber insbesondere ein sommernächtliches Phänomen darstellt. Ferner ist zu erkennen, dass die höheren Wärmeinselintensitäten mit dem Sonnenuntergang einsetzen und bis kurz nach Sonnenaufgang anhalten.

6.1.2.3 Schichtungsverhältnisse und Inversionen

Bei der bodennahen Inversion der Lufttemperatur kehrt sich der normale vertikale Lufttemperaturgradient um. Normalerweise nimmt in der durch die Erdoberfläche erwärmten Atmosphäre die Lufttemperatur mit der Höhe um durchschnittlich ca. $-0,98 \text{ K}/100 \text{ m}$ bei trockener Luft bzw. ca. $-0,65 \text{ K}/100 \text{ m}$ bei Feuchte gesättigter Luft ab. Durch den permanenten Aufstieg der relativ leichteren warmen Luft (Konvektion) wird die Atmosphäre vertikal gut durchmischt. Die vertikalen Austausch- bzw. Schichtungsverhältnisse werden dann als „labil“ bezeichnet. Bei der **Temperaturinversion** stellen sich die Verhältnisse umgekehrt dar, indem die Luft am Boden kalt ist und mit der

Höhe wärmer wird. Dieses tritt vornehmlich an klaren, windschwachen Wintertagen sowie insbesondere in sommerlichen, austauscharmen Strahlungsnächten auf, wenn sich durch schnelle Bodenauskühlung an der Erdoberfläche eine gegenüber den höheren Luftschichten kühlere **Kaltluftschicht** bildet. Aufgrund der relativen Schwere der bodennahen Kaltluft werden die vertikalen Austauschverhältnisse dann als „**stabil**“ bezeichnet. Aus stadtklimatologischer Sicht sind die Phasen der Lufttemperaturinversionen hinsichtlich der potenziellen Kühlung der überwärmten Bebauung sowie der potenziellen Akkumulation von Spurenstoffen von Interesse (vgl. **Kap. 2.1**)

Anhand der im Relief unterschiedlich hoch und außerhalb der Bebauung gelegenen Stationen St. 7 (227 m ü. NN) auf dem Wartberg und St. 3 (160 m ü. NN) in den südlichen Neckarwiesen konnte aus den dort gemessenen Lufttemperaturwerten der vertikale Temperaturgradient Γ als Differenz St. 7 – St. 3 berechnet werden. Die für die Höhendifferenz von 67 m geltenden Werte wurden aus Gründen der Vergleichbarkeit linear auf eine Höhendifferenz von 100 m hoch skaliert.

Während des Messzeitraums 01.04.2015 – 31.03.2016 wurden 677 Inversionsereignisse mit einer gesamten Andauer von 2.580 Stunden (= 29 % der Jahresstunden) und einem durchschnittlichen vertikalen Lufttemperaturgradienten von $\Gamma = 1,4$ K/100 m beobachtet (**Tab. 6-2**). Dieser hohe Anteil ist für ein Gebiet in ausgeprägter Relieflage nicht ungewöhnlich. Zweidrittel der Inversionsstunden (1.617 h) traten während der Nächte auf, wobei Γ auf 1,8 K/100 m anstieg. Während der weniger häufigen Inversionsstunden am Tage war Γ mit 0,9 K/100 m deutlich schwächer.

Tab. 6-2: Auftrittshäufigkeiten und Stärken Γ von Lufttemperaturinversionen in Heilbronn für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (berechnet aus Stationen St. 7 und St. 3).

Witterung	Tageszeit	Auftrittshäufigkeit		Γ in K/100 m
		Stunden h	Rel. Jahresstunden %	
Gesamtjahr	Tag	963	11,0 %	0,9
	Nacht	1.617	18,4 %	1,8
	Gesamt	2.580	29,4 %	1,4
			Rel. Strahlungstagstunden %	
Strahlungstage	Tag	316	22,7 %	0,9
	Nacht	447	32,1 %	2,3
	Gesamt	763	54,8 %	1,7

Die jährliche Verteilung der Inversionen ist in **Abb. 6-11** anhand von Häufigkeits-Isoplethen sowie in **Abb. 6-12** anhand von Isoplethen der Stärke des vertikalen Lufttemperaturgradienten Γ dargestellt. Demnach treten Inversionen besonders häufig in den Nächten der Sommermonate April bis August nach 22 Uhr MEZ auf, wobei Inversionsstärken von bis zu $\Gamma = 1,5$ K/100 m erreicht werden. Die Inversionen haben eine Dauer von ca. acht Stunden und enden zu Sonnenaufgang

(ca. 6 – 7 Uhr MEZ). Sekundäre Auftrittsmaxima von Inversionen wurden in den späten Nachmittags- bis frühen Abendstunden der Monate Juli und August sowie in den Dezemberrnächten registriert. Bei Letzteren reicht aufgrund der langen Nächte die Inversionsphase von 18 Uhr MEZ bis 9 Uhr MEZ.

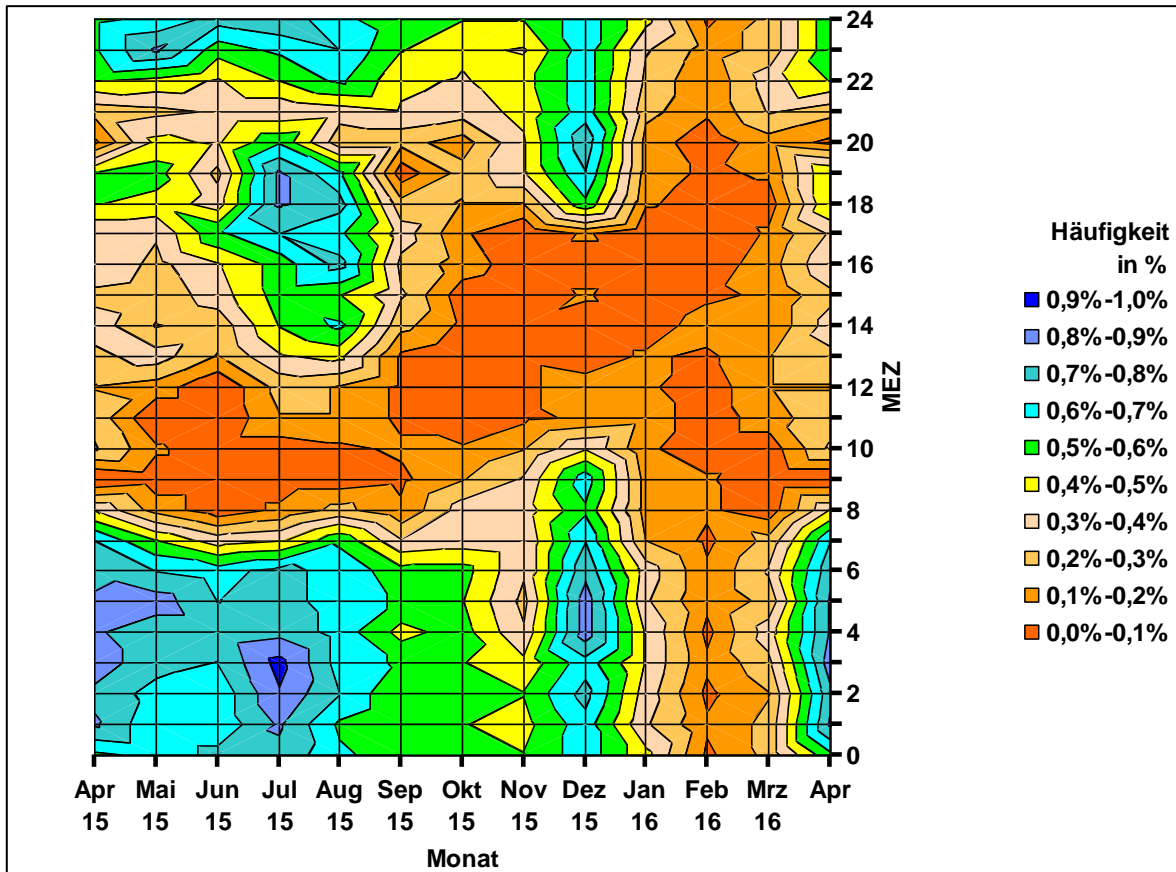


Abb. 6-11: Isoplethen der relativen Häufigkeit von Lufttemperaturinversionen in Heilbronn für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Daten: Stationen St. 7 und St. 3).

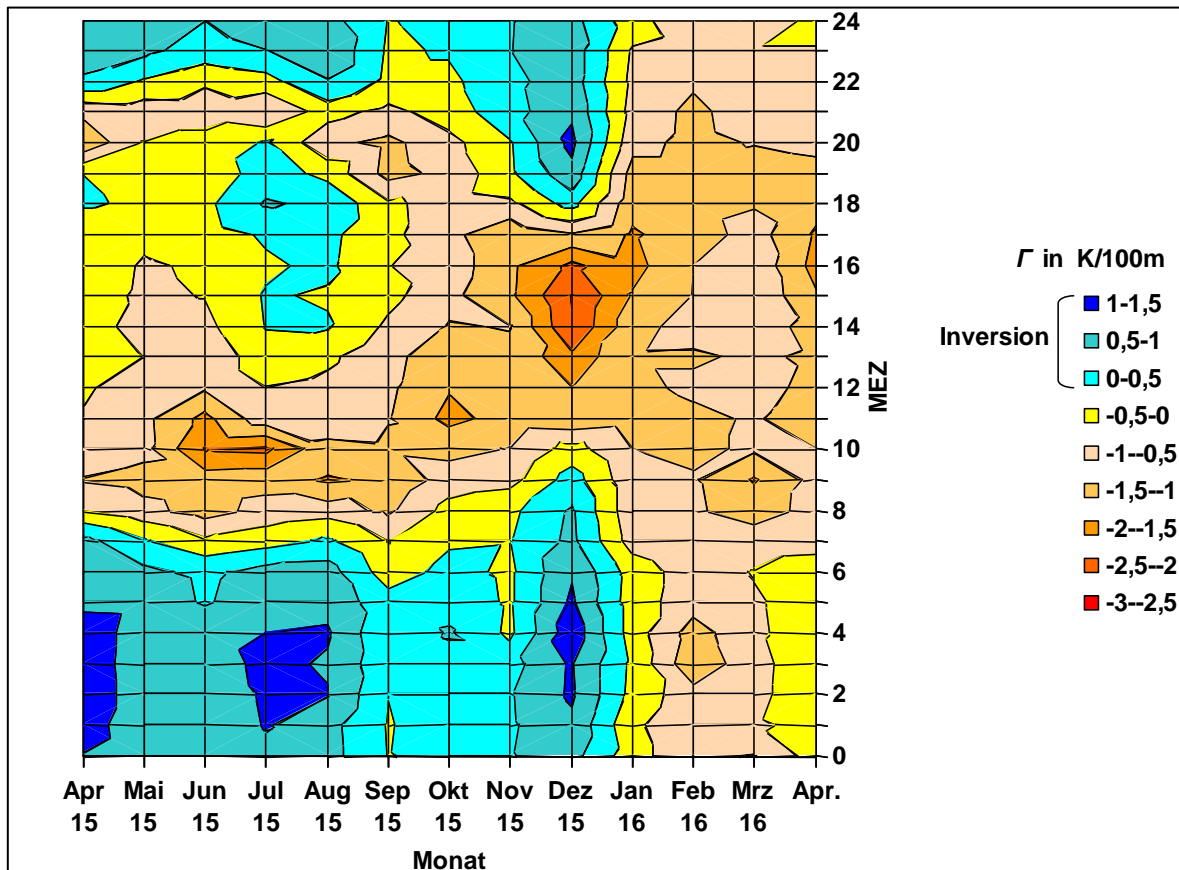


Abb. 6-12: Isoplethen des vertikalen Lufttemperaturgradienten Γ (K/100 m) in Heilbronn für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Daten: Stationen St.7 und St. 3).

Hinsichtlich der Ausbildung potenzieller nächtlicher **Kaltluftflüsse** sind die Andauer von Inversionen von Interesse. **Abb. 6-13** zeigt die Auftrittshäufigkeit von Inversionsphasen unterschiedlicher Andauer.

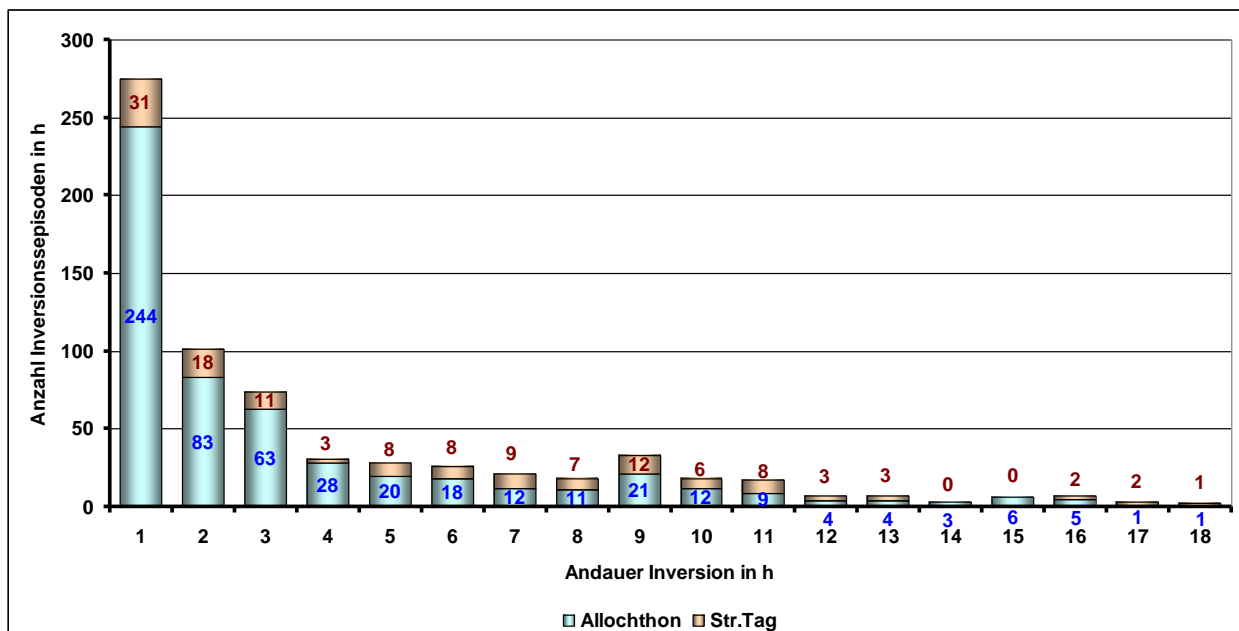


Abb. 6-13: Anzahl von Lufttemperaturinversionen unterschiedlicher Andauer in Heilbronn für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Daten: Stationen St. 7 und St. 3).

Die einstündigen Inversionen stellen mit 275 Fällen 40 % aller 677 Inversionsereignisse dar, wobei diese hauptsächlich während allochthoner Bedingungen (244 Fälle) auftreten. Addiert man zu diesem Kollektiv auch die 101 zweistündigen Inversionsphasen hinzu, sind bereits 376 Fälle bzw. fast 56 % aller Inversionsereignisse erfasst. Für die Kaltluftprozesse sind die Episoden mit einer Andauer von mindestens 3 Stunden von Bedeutung. Diese Zeitspanne ist i.d.R. erforderlich, damit sich in reliefiertem Gelände lokale Kaltluftflüsse etablieren können. Nach 5 Stunden Kaltluftproduktion werden auch regionale Kaltluftsysteme wirksam. Das Mindest-Dreistundenkriterium wird von 44 % (301 Fälle) sowie das Mindest-Fünfstundenkriterium von 29 % (196 Fälle) der Inversionsereignisse erfüllt. Inversionen, die länger als 12 Stunden andauern und damit länger als die mittleren Nachtlängen sind, treten in insgesamt 35 Fällen (5 % der Ereignisse) auf.

Bei ausschließlicher Betrachtung der **Strahlungstage** in obiger **Tab. 6-2** ist festzustellen, dass knapp 55 % aller Strahlungstagstunden den Inversionen mit einer mittleren Stärke von Γ mit 1,7 K/100 m zuzurechnen sind. Die Schichtung ist somit stabiler als bei den mittleren jährlichen Inversionsverhältnissen ($\Gamma = 1,4$ K/100 m). 60 % bzw. 447 Inversionsstunden treten dabei nachts auf, wobei die Inversionsstärke von $\Gamma = 2,3$ K/100 m zu den höchsten im Messzeitraum zählt. Somit scheinen an Strahlungstagen die Bedingungen zur Kaltluftbildung gegeben zu sein.

6.1.3 Niederschlag

Im Stadtgebiet von Heilbronn wurde an den vier Stationen St. 5 bis St. 8 der Niederschlag gemessen. An 127 Tagen wurden 208 Niederschläge mit einer mittleren Gesamtdauer von 1.463 Stunden registriert, was 16,6 % der Jahresstunden entspricht. Der Jahressummengebietsmittelwert betrug 540 mm. Damit lag der Wert 28 % unter der langjährigen Niederschlagssumme von 747 mm (1971–2000). Der Messzeitraum war damit deutlich zu trocken.

Wie der monatliche Überblick in **Abb. 6-14** zeigt, entsprach lediglich der August annähernd den langjährigen Verhältnissen. In den Wintermonaten November, Januar und Februar wurden sogar überdurchschnittlich hohe Niederschlagssummen registriert, wobei insbesondere der Februar mit durchschnittlich 84 mm um 78 % höher lag als normal (47 mm). Das große Jahresdefizit resultiert aus der zum Teil drastischen Niederschlagsreduktion insbesondere im Sommerhalbjahr. Hierbei sticht der Juli mit durchschnittlich 14 mm bzw. lediglich 17 % im Vergleich zum Referenzwert von 78 mm besonders hervor. Auch im Mai wurde mit 28 mm (35 %) im Vergleich zu 80 mm (Referenz) ein deutlich geringerer Niederschlag beobachtet. Im April, September und Oktober erreichten die Niederschläge ebenfalls nur zwischen 46 % und 65 % der jeweiligen Referenzwerte. Bei den Wintermonaten ist der deutlich regenarme Dezember mit 23 mm (35 %) im Vergleich zu 66 mm des Referenzmonats auffällig.

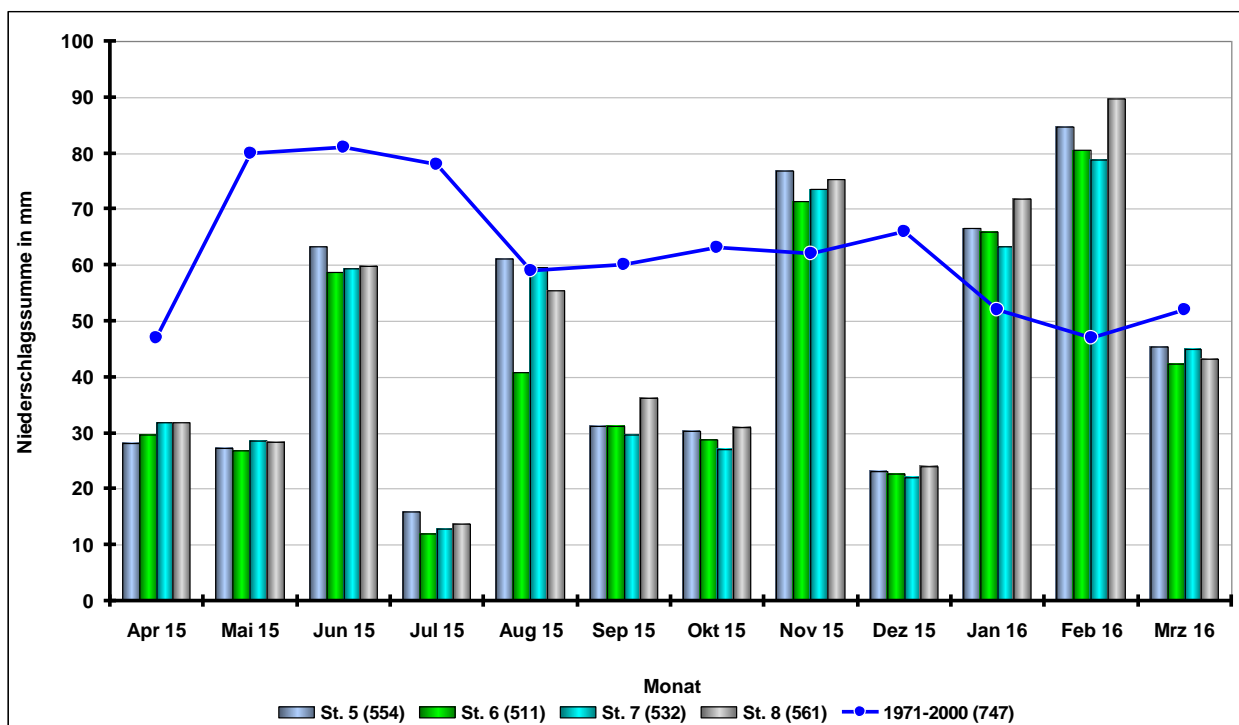


Abb. 6-14: Jahresgang der monatlichen Niederschlagssummen der Stationen 5 bis 8 in Heilbronn für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 sowie der mittlere Niederschlagsjahresgang der Referenzperiode 1971 – 2000 (DWD 2016a).

Die Niederschlagsereignisse dauerten im Mittel aller berücksichtigten Stationen ca. 4 Stunden an, in denen durchschnittlich 3,1 mm Niederschlag mit einer Rate von 0,3 mm/h fielen. Dabei überwogen die kurzzeitigen Ereignisse (inkl. Schauer). Wie aus **Abb. 6-15** zu erkennen ist, fiel ein Viertel (26 %) der Niederschläge innerhalb einer Stunde (54 Ereignisse). Zusammen mit den bis zu maximal zweistündigen Niederschlägen beträgt der Anteil bereits 40 % (88 Ereignisse). 74 % aller Niederschläge (159 Ereignisse) haben eine Dauer von vier Stunden oder weniger. Länger anhaltende Niederschläge ≥ 12 h hingegen wurden nur 12-mal (6 % der Ereignisse) beobachtet.

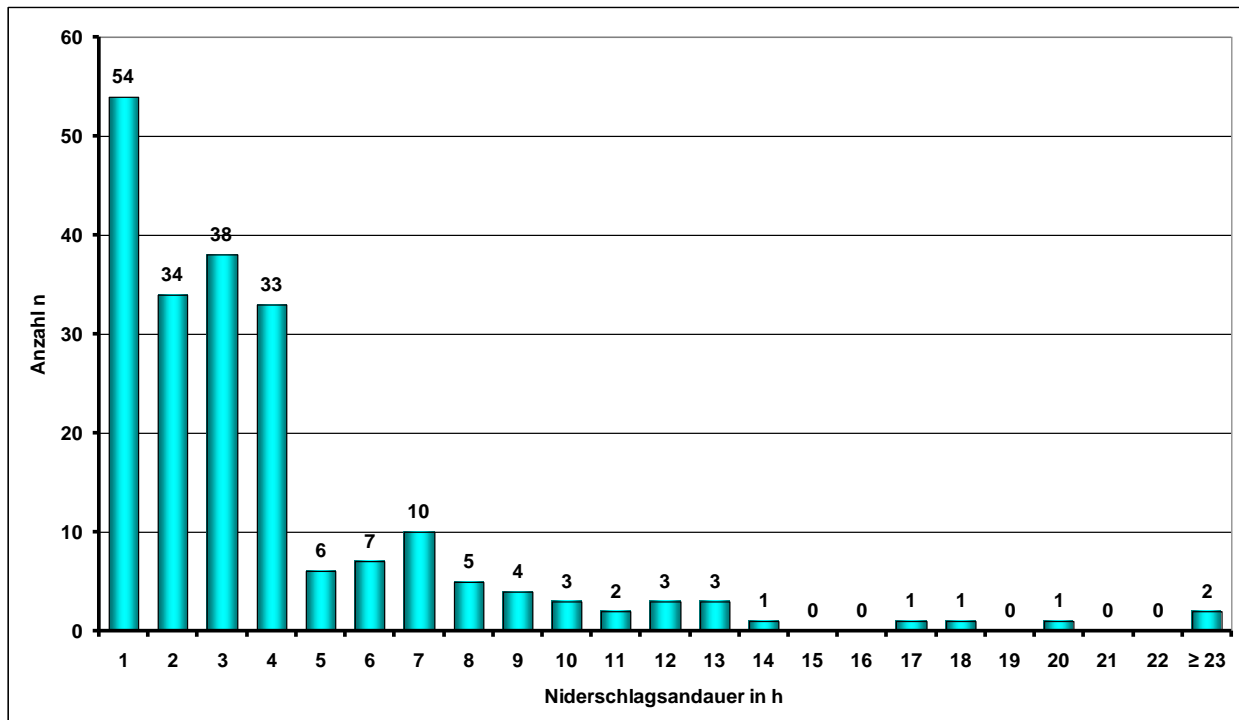


Abb. 6-15: Anzahl von Niederschlagsereignissen unterschiedlicher Andauer in Heilbronn für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Daten: Mittelwert der Stationen 5 bis 8).

Starkregenereignisse, die zur Überschwemmung weiter Stadtgebietsflächen geführt hätten, traten nicht auf. Dennoch waren einige markante Einzelniederschlagsereignisse zu verzeichnen (**Tab. 6-3**). Vom 19. bis 20.11.2015 fand unter Einbezug aller Stationen das längste Niederschlagsereignis im Messzeitraum mit einer Dauer von 27 Stunden statt. Die maximale Niederschlagsintensität dieses Ereignisses war mit durchschnittlich 9,2 mm/h die zweitstärkste im Untersuchungszeitraum und wurde nur noch von dem Regenereignis am 24.08.2015 übertroffen, bei dem eine mittlere Maximalintensität von 10,9 mm/h beobachtet wurde. Weitere auffällige Ereignisse waren der sehr ergiebige Regen vom 08.06.2015 mit durchschnittlich 20,4 mm Niederschlag in 9 Stunden sowie das mit 14 Stunden Dauer zweitlängste Ereignis im Messzeitraum am 20.02.2016.

Tab. 6-3: Hydrologische Merkmale ausgewählter markanter Niederschlagsereignisse in Heilbronn für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016.

Beginn	Hinweis	An-dauer in h	Niederschlag in mm	Station				
				St. 5	St. 6	St. 7	St. 8	Mittel
08.06.2015 - 04:00	sehr ergiebiger Niederschlag	9	Summe	23,9	20,3	19,2	18,0	20,4
			Max. Stundenniederschlag	6,9	6,8	6,5	5,9	6,5
24.08.2015 - 14:00	Sehr intensiver, ergiebiger Niederschlag	7	Summe	19,6	11,4	21,4	15,4	17,0
			Max. Stundenniederschlag	13,3	5,6	14,8	9,8	10,5
19.11.2015 - 19:00	Längster Niederschlag, sehr ergiebig	27	Summe	58,3	51,7	54,8	55,3	55,0
			Max. Stundenniederschlag	9,5	7,5	8,6	11,3	9,2
20.02.2016 - 07:00	Langer, ergiebiger Niederschlag	14	Summe	17,6	16,4	16,2	18,8	17,3
			Max. Stundenniederschlag	3,2	2,6	2,9	3,0	2,9
Vergleich	Mittlere Niederschlagseigenschaften (Stationsmittel Z1 – Z4)	4	Summe					3,1
			Mittl. Stundenniederschlag					0,3

6.1.4 Luftfeuchtigkeit

6.1.4.1 *Statistischer Überblick*

Die Luftfeuchtigkeit ist insbesondere aus human-bioklimatischer Sicht von Bedeutung. Feuchtere Orte weisen auf eine aktive Verdunstung aus Böden und Vegetation hin, wobei die zur Verdunstung benötigte Wärmeenergie dem warmen Boden als sog. latente Wärme entzogen wird und daher nicht mehr zur Erwärmung der Luft als sog. fühlbare Wärme zur Verfügung steht. Daher kann gerade während heißer Witterung die Lufttemperatur durch Verdunstung spürbar gesenkt werden. Hochversiegelte Flächen, wie z. B. innerstädtische Bebauung, neigen aufgrund zu geringer oder fehlender verdunstungsaktiver Flächen daher zur deutlichen Überwärmung.

Die lokale Verdunstung und damit die Luftfeuchtigkeit ist in hohem Maße vom Versiegelungsgrad, der Bodenart, den aktuellen Bodenwassergehalt, aber auch von der Lufttemperatur und der Höhenlage abhängig ist. Daher sind gerade im städtischen Umfeld mit seinen unterschiedlichen Flächennutzungen markante räumliche Luftfeuchtigkeitsunterschiede zu erwarten.

Tab. 6-4 gibt einen statistischen Überblick über die hygrischen Verhältnisse in Heilbronn für den einjährigen Messzeitraum. Dabei werden sowohl die in hohem Maße lufttemperaturabhängige relative Feuchte als auch der unabhängige Dampfdruck dargestellt.

Tab. 6-4: Statistische Angaben zur Luftfeuchtigkeit (2 m ü. Gr.) an den Heilbronner Messstationen für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 auf Stundenmittelwertbasis

Größe	Maßeinheit	Station 1	Station 2	Station 3	Station 4	Station 5	Station 6	Station 7	Station 8
Relative Luftfeuchtigkeit									
Jahresmittel	%	70,2	70,0	75,5	74,3	69,3	79,4	77,3	75,5
Abs. Min.	%	12,8	13,5	17,0	14,5	11,5	20,0	18,0	22,0
Abs. Max.	%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Dampfdruck									
Jahresmittel	hPa	10,5	10,2	10,7	10,3	9,8	11,3	10,7	10,9
Abs. Min.	hPa	2,0	2,7	2,8	2,4	2,7	2,7	2,7	2,8
Abs. Max.	hPa	26,9	25,2	25,2	25,3	25,1	28,1	26,3	24,8

Die räumliche Differenzierung ist weniger eindeutig als bei der Lufttemperatur. Dennoch lassen sich folgende Grundtypen unterscheiden: In den versiegelten und bebauten Bereichen ist die Luftfeuchtigkeit niedriger als auf unversiegelten Flächen der innerstädtischen Grünflächen und des Freilandbereichs. Als trockenster Standort wurde das Gewerbegebiet mit 69,3 % bzw. 9,8 hPa identifiziert, gefolgt vom Wohngebiet (St. 2) mit 70,0 % bzw. 10,2 hPa und der Innenstadt (St. 1) mit 70,2 % und 10,5 hPa. Im durchgrünerten Pfühlpark (St. 4) ist die relative Feuchte mit 74,3 % bereits deutlich höher, wenngleich der Dampfdruck mit 10,3 hPa noch relativ niedrig bleibt. Bei den übrigen Stationen, die dem unversiegelten Bereich zuzurechnen sind, wird eine relativ hohe Luftfeuchtigkeit erreicht. In der Neckaraue (St. 3) und am Klärwerk (St. 8) wurden 75,5 % und ca. 10,8 hPa gemessen. Am Wartberg beträgt die relative Feuchte 77 % und wird nur noch von der westlichen Landwirtschaftsfläche (St. 6) als der feuchtesten Station mit 79 % bzw. 11,3 übertroffen. Warum die in Gewässernähe liegenden Stationen St. 3 und St. 8 nicht die höchste Luftfeuchtigkeit aufweisen, kann nicht abschließend geklärt werden, da nicht alle Einflussfaktoren (insbesondere Bodenart und aktueller Bodenwassergehalt) bekannt sind. Lediglich bei den absoluten Dampfdruckminima verzeichnen beide Standorte die höchsten Werte (2,8 hPa).

6.1.4.2 Luftfeuchte im Jahres- und Tagesgang

Die Luftfeuchtigkeit unterliegt genauso wie die Lufttemperatur saisonalen und diurnalen Schwankungen. In **Abb. 6-16** ist der **Jahresgang** der relativen Luftfeuchtigkeit für alle Stationen dargestellt.

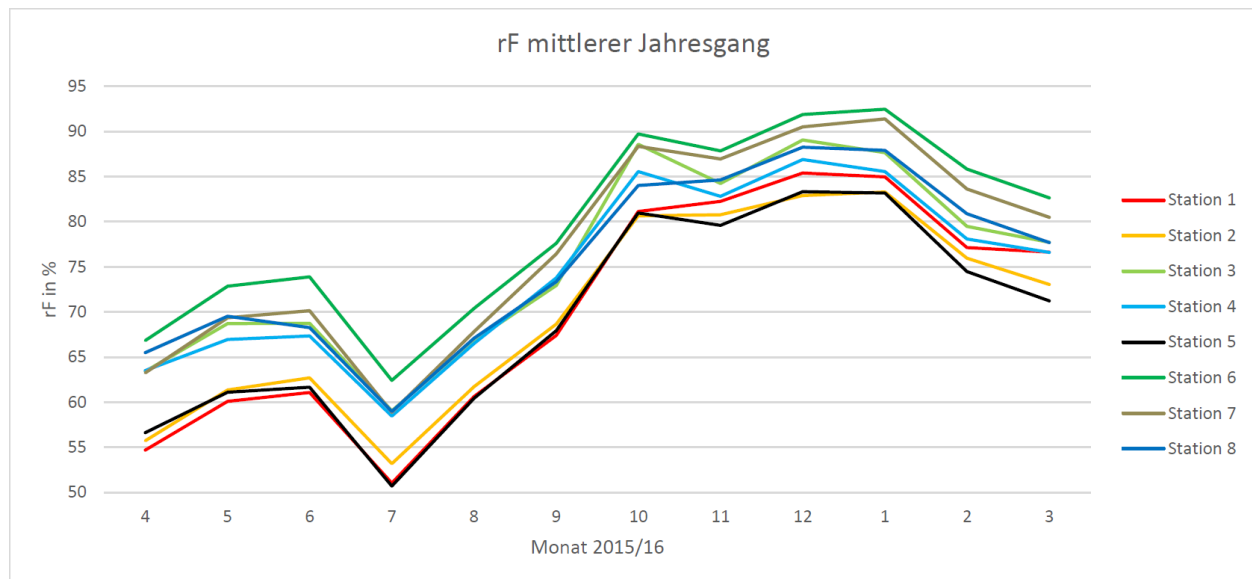


Abb. 6-16: Jahresgang der relativen Luftfeuchtigkeit an den Messstationen in Heilbronn für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Daten: Stundenmittelwerte).

Zunächst ist für alle Station ein starker Einbruch der Luftfeuchtigkeit im Juli 2015 zu verzeichnen. Ursache ist die in diesem Monat beobachtete, extreme Niederschlagsarmut (siehe **Kap. 6.1.3**) in Verbindung mit einer hohen Häufigkeit an Sommer- und heißen Tagen, die zur weiträumigen Bodenaustrocknung geführt haben dürften. Unabhängig davon zeigt der interstationäre Vergleich eine hohe Variabilität zwischen den Flächennutzungen. Die versiegelten Bereiche der Innenstadt (St. 1), des Wohngebietes (St. 2) und des Gewerbegebietes (St. 5) sind die trockensten Flächennutzungen, wobei der Abstand zu den übrigen Flächennutzungen im Sommerhalbjahr mit ca. 7 Prozentpunkten größer als im Winterhalbjahr mit ca. 4 Prozentpunkten ist. Die westliche Agrarfläche (St. 6) ist aufgrund der etwas kühleren Höhenlage der feuchteste Standort. Der Unterschied zu den versiegelten Flächen (St. 1, 2 und 5) beträgt im Sommerhalbjahr ca. 15 Prozentpunkte und im Winterhalbjahr ca. 10 Prozentpunkte. Bei den übrigen unversiegelten Stationen sind aufgrund des allgemein niederschlagsarmen Sommers für die betreffenden Monate nur geringe Unterschiede festzustellen. Bei den Wintermonaten ist jedoch zu erkennen, dass der höher gelegene Wartberg (St. 7) aufgrund der höhenlagebedingten allgemein niedrigeren Lufttemperaturen die zweitfeuchteste Station darstellt. Die Neckaraue (St. 3), das Klärwerk (St. 8) und der Pfühlpark (St. 4) weisen im interstationären Vergleich mittlere Feuchtigkeitsverhältnisse auf.

Auch bei den mittleren jährlichen **Tagesgängen** in **Abb. 6-17** sind die versiegelten Bereiche der Innenstadt (St. 1), des Wohngebietes (St. 2) und des Gewerbegebietes (St. 5) die trockensten Flächennutzungen, wobei insbesondere das Gewerbegebiet mit dem deutlichen nachmittäglichen Minimum hervorsticht. Die westliche Landwirtschaftsfläche (St. 6) ist weiterhin die feuchteste Station. Die übrigen unversiegelten Standorte zeigen nachts nur geringe Feuchtigkeitsunterschiede, während tagsüber eine aufsteigende Standortrangfolge vom Pfühlpark (St. 4), über die Neckaraue (St. 3) und das Klärwerk (St. 8) bis zum Wartberg (St. 7) zu verzeichnen ist.

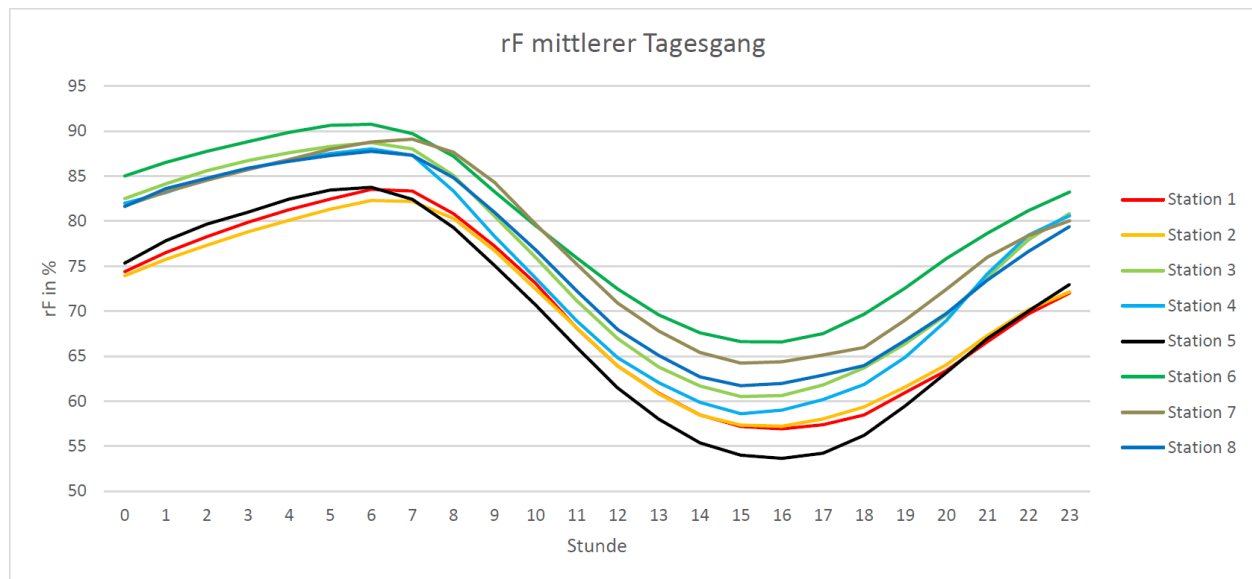


Abb. 6-17: Mittlerer Tagesgang der relativen Luftfeuchtigkeit an den Messstationen in Heilbronn für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Daten: Stundenmittelwerte).

6.1.5 Windverhältnisse

In diesem Kapitel werden zur Beurteilung der Austauschverhältnisse und der urbanen Durchlüftung die bodennahen Windverhältnisse im Untersuchungsgebiet beschrieben. Die Windverhältnisse werden hauptsächlich durch die Erdoberfläche bestimmt, die aufgrund ihrer Reliefgestalt und topografischen Ausstattung mit Strömungshindernissen (Oberflächenrauigkeit) zur Reduktion und Umlenkung des übergeordneten Windes im Bodenniveau führen können. Daher weisen urbane Sieglungsstrukturen neben der in **Kap. 6.1.2** bereits erläuterten thermischen Anomalie einer Stadt gegenüber dem unbebauten Umland auch Modifikationen des Windfeldes auf. Insbesondere die dreidimensionalen Baukörper führen aufgrund der erhöhten Oberflächenrauigkeit zu einer starken Beeinflussung der Strömungsverhältnisse. Dies äußert sich vor allem durch verringerte Windgeschwindigkeiten im urbanen Raum (DÜTEMEYER 2000). Der Austausch der Luftmassen ist jedoch entscheidend für die klimatische und lufthygienische Situation einer Stadt. Weitere Strömungsmodifikationen sind ferner durch das lokale Relief des Neckartals zu erwarten.

6.1.5.1 Windgeschwindigkeit

Die langjährigen, mittleren Windgeschwindigkeitsverhältnisse in 10 m ü. Gr. im Heilbronner Untersuchungsraum sind in **Abb. 6-18** dargestellt. Der Einfluss der unterschiedlichen Großwetterlagen ist in diesen Berechnungen bereits berücksichtigt. Die Berechnungen wurden in einem Raster von 100 x 100 m², wie in Kapitel 4.4.1 beschrieben, durchgeführt. Der Einfluss der Reliefgestalt auf die Austauschverhältnisse ist deutlich erkennbar. In den Kuppenlagen der Anhöhen beiderseits des Neckartals ist die Durchlüftung mit Windgeschwindigkeiten > 3,5 m/s sehr gut. Hierzu zählen östlich des Neckars Stiftsberg, Wartberg, Galgenberg und Staufenberg sowie westlich des

Neckars die Hochebenen von Klingenberg und Böckingen sowie insbesondere Frankenbach, Biberach und Kirchhausen. In den mit Wald bestandenen Kuppenlagen der östlichen Höhenzüge ist die Windgeschwindigkeit geringer, weil die Windgeschwindigkeit infolge der erhöhten Rauigkeit der Waldflächen eine stärkere Abbremsung erfährt.

In den Seitentälern wird sowohl mit zunehmender Eintiefung als auch Verengung des Talquerschnittes die Windgeschwindigkeit stetig geringer. Besonders gut zu erkennen ist dieses beim Büchelberg und dem nördlich anschließenden Köpfertal, bei der Talung nordöstlich des Hintersberg (Saubachtal) und dem Haupttal in Frankenbach (Leinbachtal), in denen die Windgeschwindigkeit deutlich unterhalb 2,5 m/s liegt und damit mindestens 30 % niedriger als auf den Anhöhen ist. Sofern die Talsohlen nicht eingeengt sind und sich aufweiten, sind die Austauschverhältnisse wieder günstiger, wenn auch nicht so gut wie auf den Anhöhen. Dieses wird im Neckartal in Horkheim deutlich. Im weiteren Verlauf weitet sich das Neckartal zwischen den östlichen Weinbergen und dem westlichen Prallhang zwar auch auf, allerdings verhindert hier die in weiten Teilen vorherrschende städtische Bebauung eine gute Durchlüftung, da sie einen effektiven Strömungsriegel darstellt. Dieses gilt insbesondere für die nördlichen Industriegebiete und die Innenstadt, in denen die Windgeschwindigkeit < 2 m/s beträgt. Auch auf den gut ventilerten Anhöhen führen Siedlungen zur Reduktion des Austausches, wie in Böckingen, Kirchhausen sowie insbesondere im nördlichen Gewerbegebiet von Neckargartach zu erkennen ist.

Insgesamt ist davon auszugehen, dass gerade im Bereich der Kernstadt in der Neckartalsohle aufgrund der schwachen Durchlüftung mit Wärme- und Spurenstoffbelastung insbesondere während austauscharmer Wetterlagen zu rechnen ist. Daher wird nachfolgend das Windfeld in seiner zeitlichen Struktur eingehend anhand der einjährigen Messreihen der acht Messstationen untersucht. Vorab ist darauf hinzuweisen, dass die meisten Messstationen den Wind in 4 m ü. Gr. gemessen haben, sodass deren Windgeschwindigkeitsverhältnisse aufgrund des logarithmischen Windgesetzes deutlich niedriger als in der obigen Darstellung sein dürften.

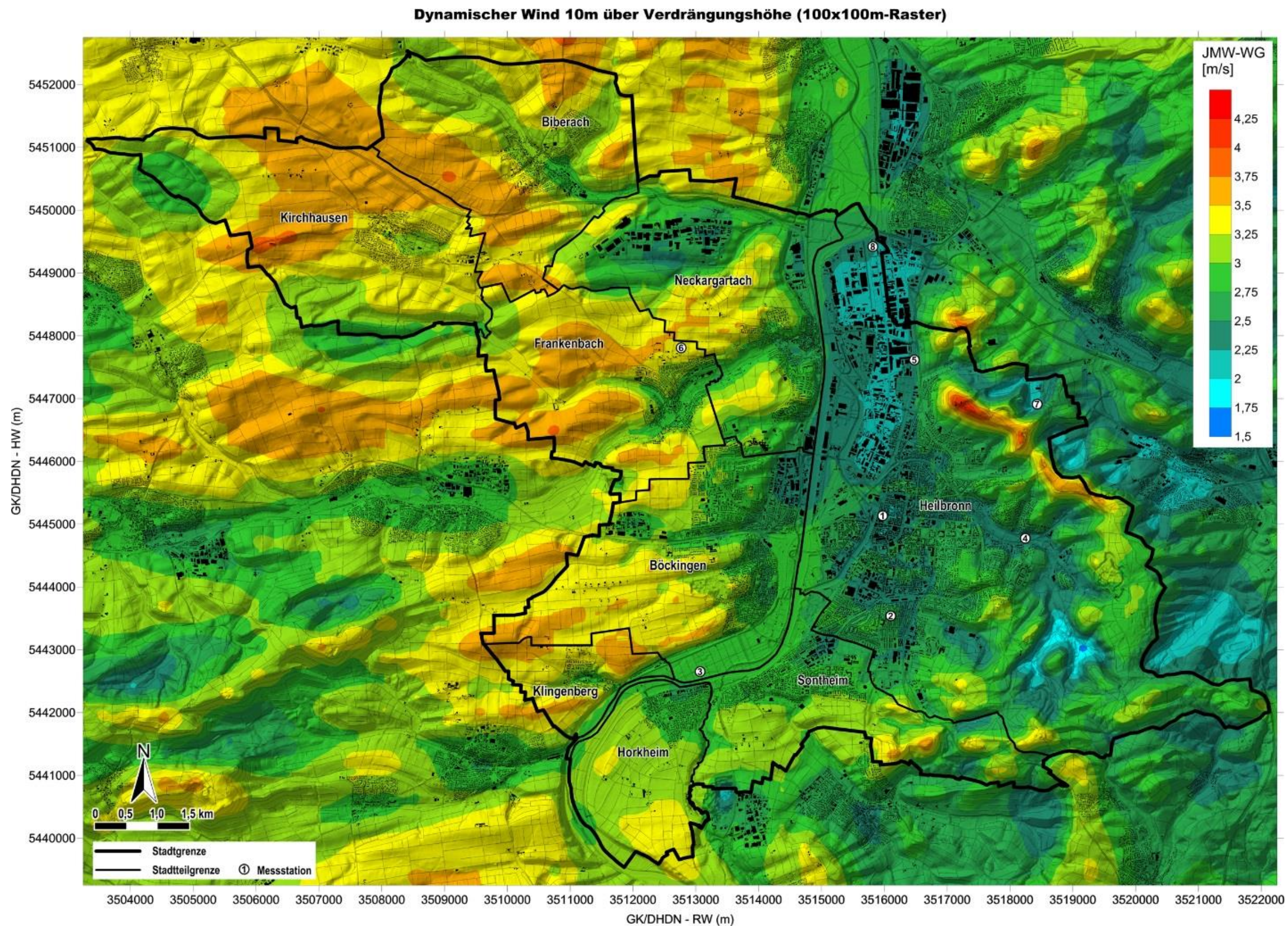


Abb. 6-18: Langjähriges Mittel der bodennahen Windgeschwindigkeit in 10 m ü. Gr. in Heilbronn
 (Quelle: Kartengrundlage aus RK10, DGM10 ©Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg www.lgl-bw.de, Az.: 2851.9-1/19)

Abb. 6-19 zeigt die Häufigkeitsverteilungen der Windgeschwindigkeit an den Heilbronner Messstationen während des einjährigen Messzeitraumes vom 01.04.2015 – 31.03.2016. Je linkslastiger die Kurven der Häufigkeitsverteilungen sind, desto häufiger treten niedrigere Windgeschwindigkeiten auf. Hierbei zeigt sich, dass an allen Stationen die Schwachwinde ($u \leq 1,5$ m/s) überwiegen. Auffällig ist die Innenstadt (St. 1) mit dem hohen Anteil der Windgeschwindigkeitsklasse 0,5 m/s. Im Wohngebiet (St. 2), im Pfühlpark (St. 2) sowie auf der Landwirtschaftsfläche (St. 6) sind zudem die Häufigkeiten absoluter Windstille (0 m/s) mit 25 % bis 36 % auffällig. Jenseits der Schwachwinde treten höhere Windgeschwindigkeiten relativ selten auf. Für die relativ frei anströmbaren Stationen Neckaraue (St. 3) und Landwirtschaftsfläche sind höhere Windgeschwindigkeitsklassen bis oberhalb 5 m/s noch in nennenswerter Häufigkeit nachweisbar, während die übrigen Stationen deutlich darunter liegen. Im Gewerbegebiet (St. 5) und am Klärwerk (St. 8) sind die Geschwindigkeitsklassen zwischen 1,5 m/s und 3,0 m/s mit 5 % bis 10 % präsent. Für Innenstadt (St. 1) und das Wohngebiet liegt hier der Anteil bei ≤ 5 %. Weitere Informationen zu den Austauschverhältnissen liefert der statistische Überblick in **Tab. 6-5**.

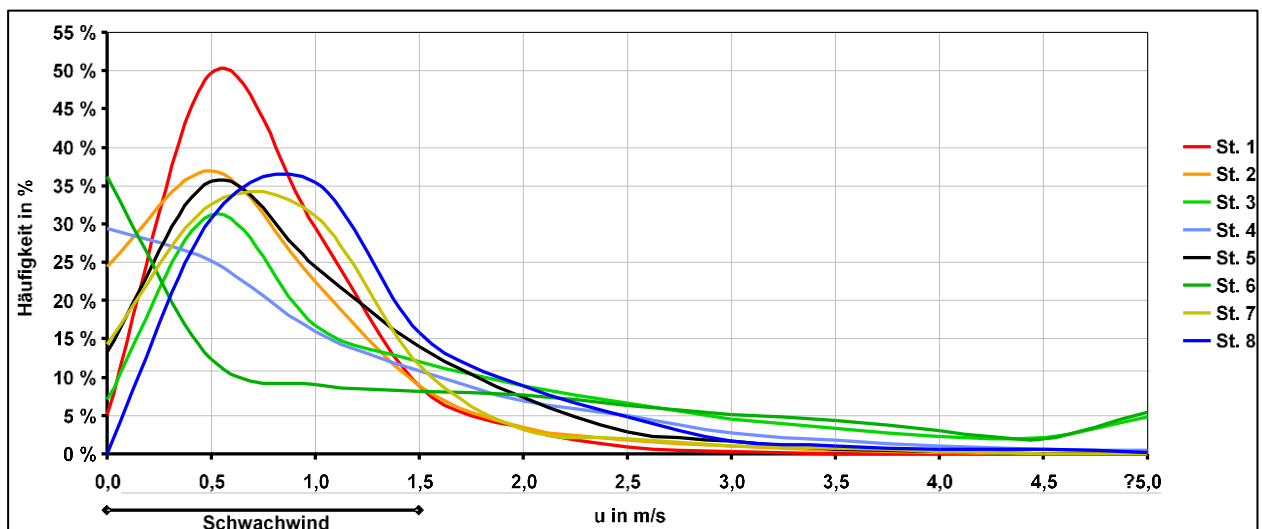


Abb. 6-19: Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit an den Messstationen in Heilbronn für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Daten: Stundenmittelwerte).

Tab. 6-5: Statistische Angaben zur Windgeschwindigkeit an den Heilbronner Messstationen für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 auf Stundenmittelwertbasis.

Größe	Maßeinheit	Station 1	Station 2	Station 3	Station 4	Station 5	Station 6	Station 7	Station 8
Jahresmittel	m/s	0,8	0,7	1,6	1,0	0,9	1,4	0,9	1,2
Abs. Max.	m/s	4,3	4,6	10,0	6,3	4,8	10,4	4,1	5,6
Calmenhäufigkeit	%	15,7	33,4	14,6	35,6	22,4	39,3	16,6	0,4
Calme: $u \leq 0,3$ ms ; Schwachwind: $u \leq 1,5$ ms									

Die beiden Stationen in der Bebauung, Innenstadt (St. 1) und Wohngebiet (St. 2) weisen aufgrund der dichten, windbremsenden Bebauung mit 0,8 m/s bzw. 0,7 m/s die niedrigsten Windgeschwindigkeiten im Untersuchungsgebiet auf. Gleiches gilt für die absoluten Maxima von 4,3 m/s bzw. 4,6 m/s. Daher ist an diesen Orten mit erhöhter Wärmebelastung sowie erhöhten Belastungen mit atmosphärischen Spurenstoffen zu rechnen. Die Windstillen (Calmen) sind in der Innenstadt mit 16 % allerdings ungewöhnlich gering, was auf Kanalisierungs- oder Düseneffekte im engen Straßenraum zurückzuführen sein dürfte. Der Anteil von ca. 33 % Windstillen im Wohngebiet ist hingegen nicht ungewöhnlich. Im Gewerbegebiet (St. 5) ist die Durchlüftung aufgrund höherer Gebäudeabstände mit einer mittleren Windgeschwindigkeit von 0,9 m/s sowie einem Maximum von 4,8 m/s etwas besser. Auch der Calmenanteil ist mit 22 % niedriger. Der am Bauungsrand gelegene Pfülpark (St. 4) weist mit 1,0 m/s eine ebenfalls schwache mittlere Windgeschwindigkeit auf, wenngleich das Maximum aufgrund der offenen Wiese mit 6,3 m/s ca. 40 % höher liegt als in den bebauten Bereichen der Stationen 1 und 2. Aufgrund der engen Tallage wird aber die zweithäufigste Calmenhäufigkeit des Untersuchungsgebietes registriert (ca. 36 %). Die hochgelegene Station Wartberg (St. 7) weist aufgrund seiner Lage im Hauptwindrichtungsschatten des Berges vergleichsweise niedrige Windgeschwindigkeiten auf (0,9 m/s; allerdings weht hier bei einem Calmenanteil von 16 % der Wind stetiger als in den bebauten Bereichen. Bei den im Umland und am Neckar gelegenen Stationen ist die Ventilation besser als in der Stadt und auf dem Wartberg. Am Klärwerk (St. 8) werden im Jahresmittel 1,2 m/s bei einem sehr niedrigen Calmenanteil von 0,4 % gemessen. An den offenen gelegenen Stationen Agrarfläche (St. 6) und Neckaraue (St. 3) ist der Austausch am effektivsten. Die mittlere Windgeschwindigkeit beträgt 1,4 m/s bzw. 1,6 m/s und die Maxima jeweils 10 m/s. Allerdings weist die St. 6 unter allen Stationen die höchste Calmenhäufigkeit von 39 % auf. Dieser Umstand konnte leider nicht näher untersucht werden, da für diese Fremdstation genauere Informationen bzgl. Messsystem / Auflösung etc. nicht vorlagen.

Im mittleren **Jahresgang** der Windgeschwindigkeiten (**Abb. 6-20**) ist zu erkennen, dass in den Monaten November und Januar bis März witterungsbedingt die Austauschverhältnisse besser waren als in den Sommermonaten April bis September mit ihrem hohen Anteil an austauscharmen Strahlungstagen. Ferner wird hier der Einfluss der Oberflächenrauigkeit der unterschiedlichen Flächennutzungen deutlich. Die offenen Flächen Neckaraue (St. 3), Agrarfläche (St. 6) sowie das Klärwerk (St. 8) weisen nur wenige Strömungshindernisse und damit geringe Oberflächenrauigkeiten auf, sodass sich diese Stationen mit ihrem relativ hohen Windgeschwindigkeitsniveau deutlich von den übrigen Stationen absetzen. Dort wird mit zunehmender Bebauungsverdichtung der Austausch geringer. Das dabei auffällige etwas höhere Windgeschwindigkeitsniveau der dicht bebauten Innenstadt (St. 1) im Vergleich zum weniger dicht bebauten Wohngebiet (St. 2) ist auf lokale Düsen- und Kanalisierungseffekte der innerstädtischen Straßenschluchten zurückzuführen.

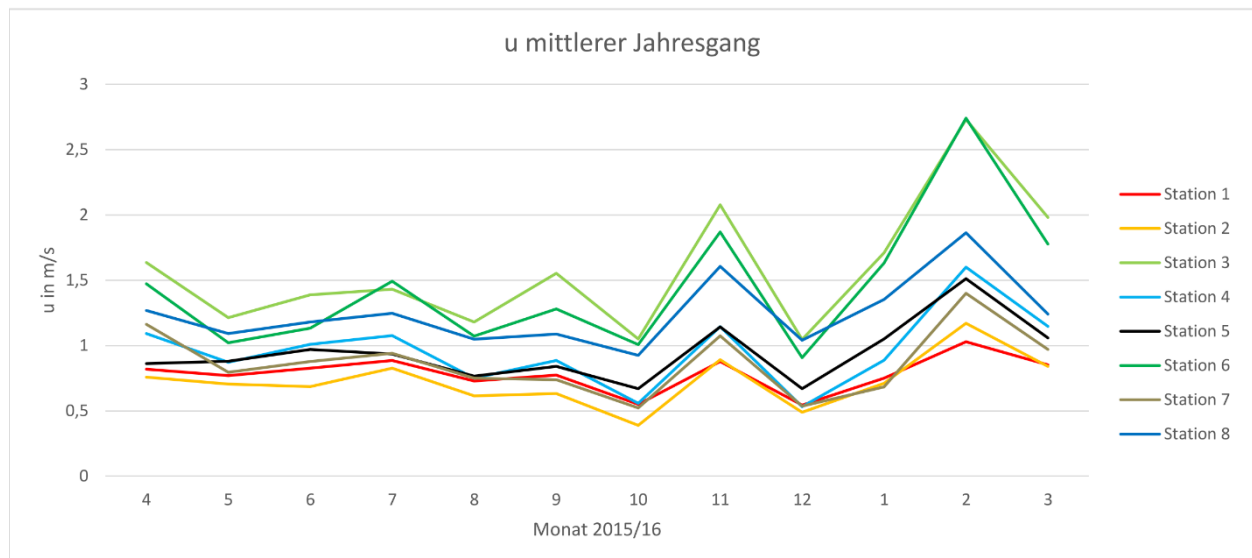


Abb. 6-20: Jahresgang der Windgeschwindigkeit an den Messstationen in Heilbronn für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Daten: Stundenmittelwerte).

Auch im mittleren **Tagesgang** (Abb. 6-21) wird der Rauigkeitseinfluss deutlich. Wiederum heben sich die frei anströmbaren Flächen der Neckaraue (St. 3) und der Agrarfläche (St. 6) deutlich von den anderen Stationen ab. Mit zunehmender Versiegelung nimmt das Windgeschwindigkeitsniveau vom Pfühlpark (St. 4) über das Gewerbegebiet (St. 5) bis zur Innenstadt (St. 1) und dem Wohngebiet (St. 2) stetig ab. Während der Mittagzeit und des Nachmittags, in denen turbulente Konvektion für einen guten Austausch sorgt, ist in der Innenstadt und dem Wohngebiet das Windgeschwindigkeitsniveau um 50 % niedriger. Nachts sind die Unterschiede geringer, aber noch immer eindeutig. Insbesondere herrschen dann allen Stationen Schwachwindbedingungen ($u \leq 1,5$ m) vor. Eine Besonderheit ist im Windgeschwindigkeitstagesgang am Wartberg (St. 7) und am Klärwerk (St. 8) zu beobachten. An beiden Stationen ist am Tage das Windgeschwindigkeitsniveau sehr niedrig. Ursache könnten lokale Abschattungseffekte sein.

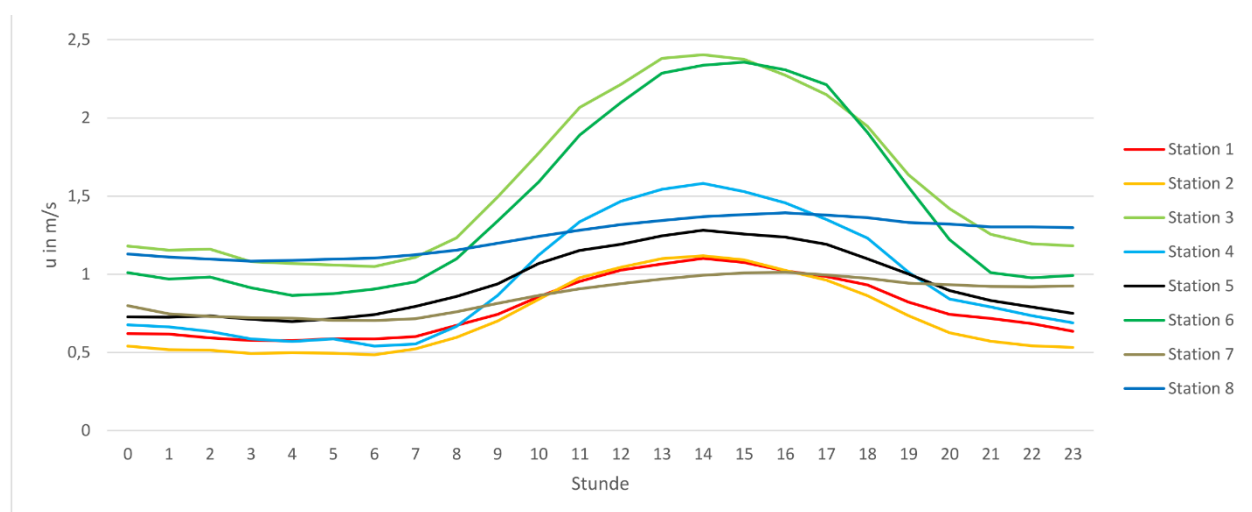


Abb. 6-21: Mittlerer Tagesgang der Windgeschwindigkeit an den Messstationen in Heilbronn für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Daten: Stundenmittelwerte).

6.1.5.2 Schwachwindhäufigkeit

Insbesondere bei geringen Windgeschwindigkeiten ist der Austausch in der bodennahen Atmosphäre eingeschränkt. Dies kann sich negativ auf die klimatische und lufthygienische Situation eines Standortes auswirken. Daher sind die **Häufigkeit** des Auftretens von Schwachwindstunden (Stundenmittelwert der Windgeschwindigkeit $\leq 1,5$ m/s) und die Dauer dieser Schwachwindepisoden von besonderem Interesse für die Beurteilung der Austauschverhältnisse bzw. Belüftungssituation innerhalb des Untersuchungsraums.

Tab. 6-6 gibt einen statistischen Überblick über die Schwachwindverhältnisse. Hierbei werden die zuvor beschriebenen unterschiedlichen Austauschverhältnisse der Standorte weitgehend bestätigt. An allen Standorten beträgt der Schwachwindanteil > 60 % des Messzeitraums, was in Anbetracht der gesamttopografischen Lage im eingeschnittenen Neckartal nicht ungewöhnlich ist. Die wenigsten Schwachwindstunden sind erwartungsgemäß mit 60,6 % in der Neckaraue (St. 3) und mit 62,0 % auf der Landwirtschaftsfläche (St.6) zu verzeichnen, wo eine relativ freie Anströmung möglich ist. Die meisten Schwachwindstunden wurden in der Innenstadt (St. 1) und im Wohngebiet (St. 2) mit 89,1 % bzw. 88,7 % mit ihrer strömungshemmenden Bebauung beobachtet. Auch im Gewerbegebiet ist die Schwachwindhäufigkeit mit ca. 80 % relativ hoch, während der Pfühlpark (St. 4) und das Klärwerk (St. St. 8) mit ca. 75 % im interstationären Mittelfeld liegen.

In Anbetracht der hohen Anzahl der Schwachwindstunden sind ferner ihre Auftrittszeitpunkte und **Andauern** von Interesse. Kurzeitige, d. h. nur einige Stunden andauernde, Schwachwindepisoden erlauben in den Zwischenzeiten einen verbesserten Austausch zum Abtransport von Spurenstoffen oder Warmluft, während längere Schwachwindepisoden die Gefahr der Spurenstoff- und Hitzeakkumulation erhöhen. In **Tab. 6-6** und **Abb. 6-22** sind daher Angaben zu Schwachwindepisodenlängen und ihrer Auftrittshäufigkeit aufgeführt.

Tab. 6-6: Statistische Angaben zur Schwachwindhäufigkeit an den Heilbronner Messstationen für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 auf Stundenmittelwertbasis.

Größe	Maßeinheit	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	St. 6	St. 7	St. 8
Jahresmittel Windgeschwindigkeit	m/s	0,8	0,7	1,6	1,0	0,9	1,4	0,9	1,2
Calmenhäufigkeit	%	15,7	33,4	14,6	35,6	22,4	39,3	16,6	0,4
Schwachwindhäufigkeit	%	89,1	88,7	60,6	75,2	80,1	62,0	83,4	74,6
Anzahl von Schwachwindepisoden mit einer Mindestandauer von									
1	Stunden	27	38	98	61	70	110	26	18
2		10	14	61	23	41	51	10	5
3 - 5		18	19	68	62	54	75	20	13
6 - 8		6	15	37	18	25	36	13	7
9 - 11		5	8	38	20	13	35	9	13
12 - 17		10	18	92	63	33	90	18	19
18 - 23		20	18	57	44	33	45	16	13
1 - < 2	Tagen	12	19	28	39	40	34	21	24
2 - < 3		17	16	9	16	22	9	13	10
3 - < 4		8	7	4	8	10	3	7	7
4 - < 5		6	7	1	2	4	1	4	3
5 - < 6		5	4	0	2	3	0	3	3
6 - < 7		5	2	0	1	0	0	7	2
1 - < 2	Wochen	12	11	0	3	4	0	9	11
2 - < 3		0	1	0	0	0	0	2	1
Andauer der längsten Schwachwindepisode	h (d)	332 (13,8)	366 (15,3)	102 (4,25)	235 (9,8)	330 (13,8)	119 (5,0)	373 (15,5)	371 (15,5)
Calme: $u \leq 0,3$ m/s ; Schwachwind: $u \leq 1,5$ m/s									

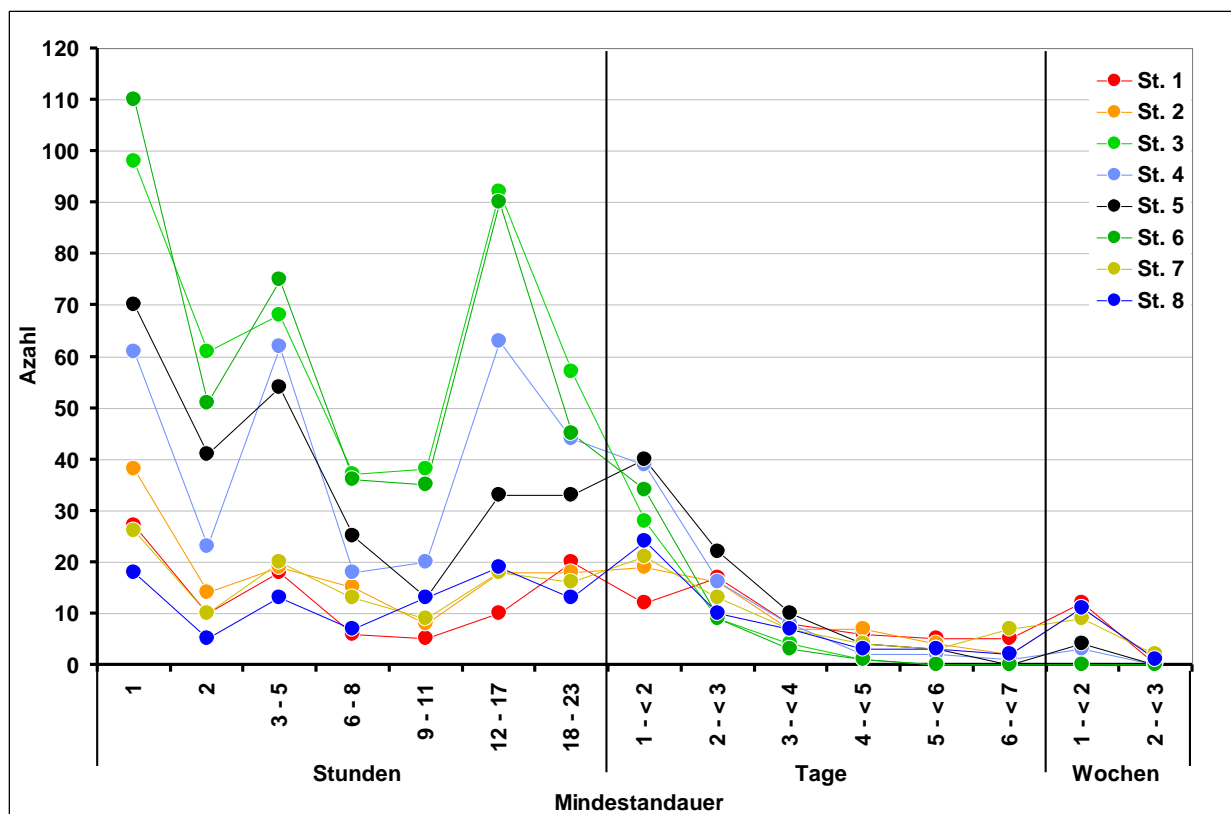


Abb. 6-22: Anzahl von Schwachwindepisoden unterschiedlicher Andauer an den Messstationen in Heilbronn für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Daten: Stundenmittelwerte).

An den relativ frei anströmbaren Standorten der Neckaraue (St. 3) und der Landwirtschaftsfläche (St. 6) dominieren eher „kürzere“ Schwachwindepisoden mit Andauern < 24 h. Langzeitepisoden von ≥ 5 Tagen werden nicht beobachtet.

Die Innenstadt (St. 1), das Wohngebiet (St. 2), das Klärwerk (St. 8) sowie der Wartberg (St. 6) sind hingegen durch die auffällig hohe Anzahl von Episoden mit Andauern von ein bis drei Wochen geprägt. Der Anteil der kürzeren Episoden ist an diesen Standorten stattdessen geringer, weil der größte Teil der Schwachwindstunden während der Langzeitepisoden von ≥ 6 Tagen auftritt. Diese Langzeitepisoden treten zwar nicht so häufig auf (11 bis 12 Fälle), umfassen aber jeweils ein hohes Stundenkontingent. Für die Innenstadt (St. 1), das Wohngebiet (St. 2) und das Klärwerk (St. 8) bedeuten diese Langzeitepisoden die Gefahr der Akkumulation von anthropogenen atmosphärischen Spurenstoffen und heißer Luft im Sommer.

Der Pfühlpark (St. 4) liegt im interstationären Mittelfeld. Hier ist der Anteil der kürzeren Schwachwindepisoden mehr als doppelt hoch als in Bebauung, aber um mindestens 37 % niedriger als in der Neckaraue und auf der Landwirtschaftsfläche. Im Gegenzug ist die Häufigkeit von Langzeitepisoden ≥ 5 Tage deutlich niedriger als in der Bebauung, während derartig lange Episoden im Freiland nicht mehr auftreten.

Für Schwachwindepisoden, die kürzer als 24 Stunden andauern, ist an allen Stationen eine erhöhte Auftrittshäufigkeit während der Nachtstunden zu beobachten (**Abb. 6-23**). Sie erreicht in der Innenstadt (St. 1) und im Wohngebiet (St. 2) jeweils 92 %, wobei die der Anteil am Tage mit 86 % nur leicht niedriger ist.

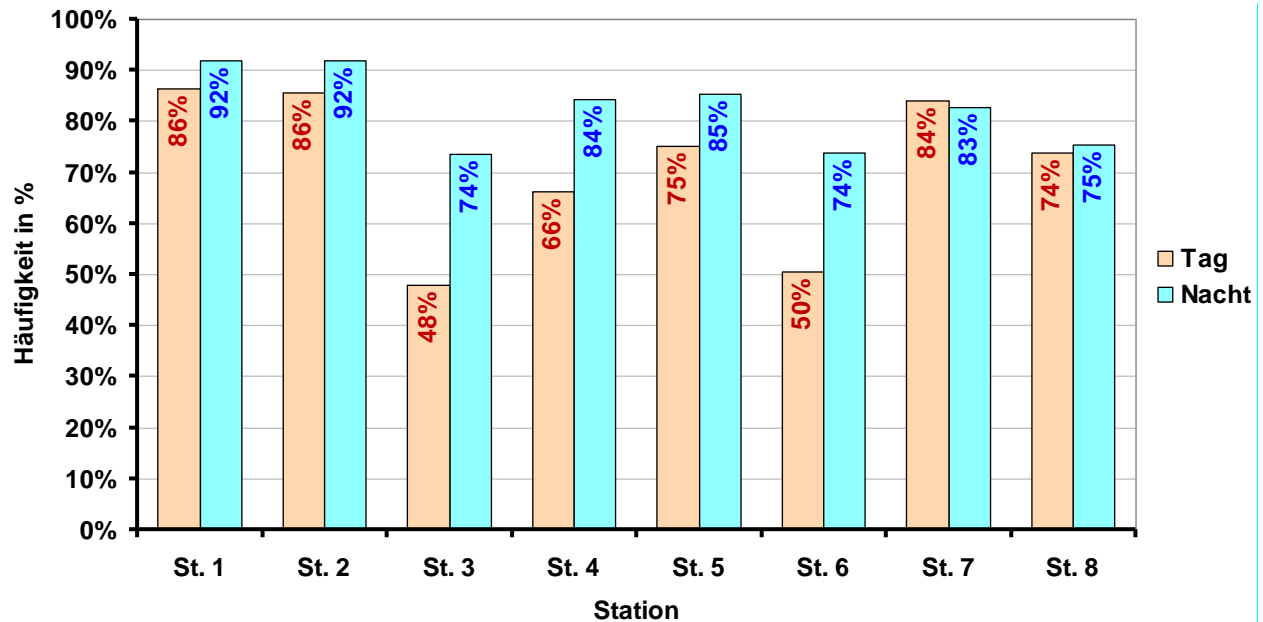


Abb. 6-23: Tageszeitliche Auftrittshäufigkeit von Schwachwind an den Messstationen in Heilbronn für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Daten: Stundenmittelwerte).

Etwas günstiger ist die Situation im Gewerbegebiet (St. 5) mit 75 % Schwachwind am Tage und 85 % in der Nacht. Interessanterweise ist in dem tief eingeschnitten Pfühlthal (St. 4) die Schwachwindhäufigkeit nochmals etwas geringer (66 % tags, 84 % nachts), was auf Kanalisierungseffekte der Talung und mögliche Hangwinde von den östlichen Weinbergen zurückzuführen sein dürfte. Bei den Freilandstationen Neckaraue (St. 3) und Landwirtschaft (St. 6) sind die Schwachwindhäufigkeiten sowohl am Tage mit 48 % bzw. 50 % als auch in der Nacht mit jeweils 74 % am geringsten.

6.1.5.3 Windrichtung

Bezüglich der Anströmungsverhältnisse geben die in **Abb. 6-24** dargestellten Stärkewindrosen Auskunft. Bedingt durch das komplexe Relief und die unterschiedlichen Flächennutzungsverhältnisse ergeben sich prinzipiell zwei Anströmungsszenarien, die sich gegebenenfalls überlagern können:

1. Großräumige Umlenkungen der übergeordneten Strömung durch das Relief des Neckartals und seiner Seitentäler sowie
2. kleinräumige Umlenkungen der übergeordneten Strömung innerhalb der Bebauung mit Kanalisierungseffekten entsprechend der Gebäudestruktur- und -ausrichtung.

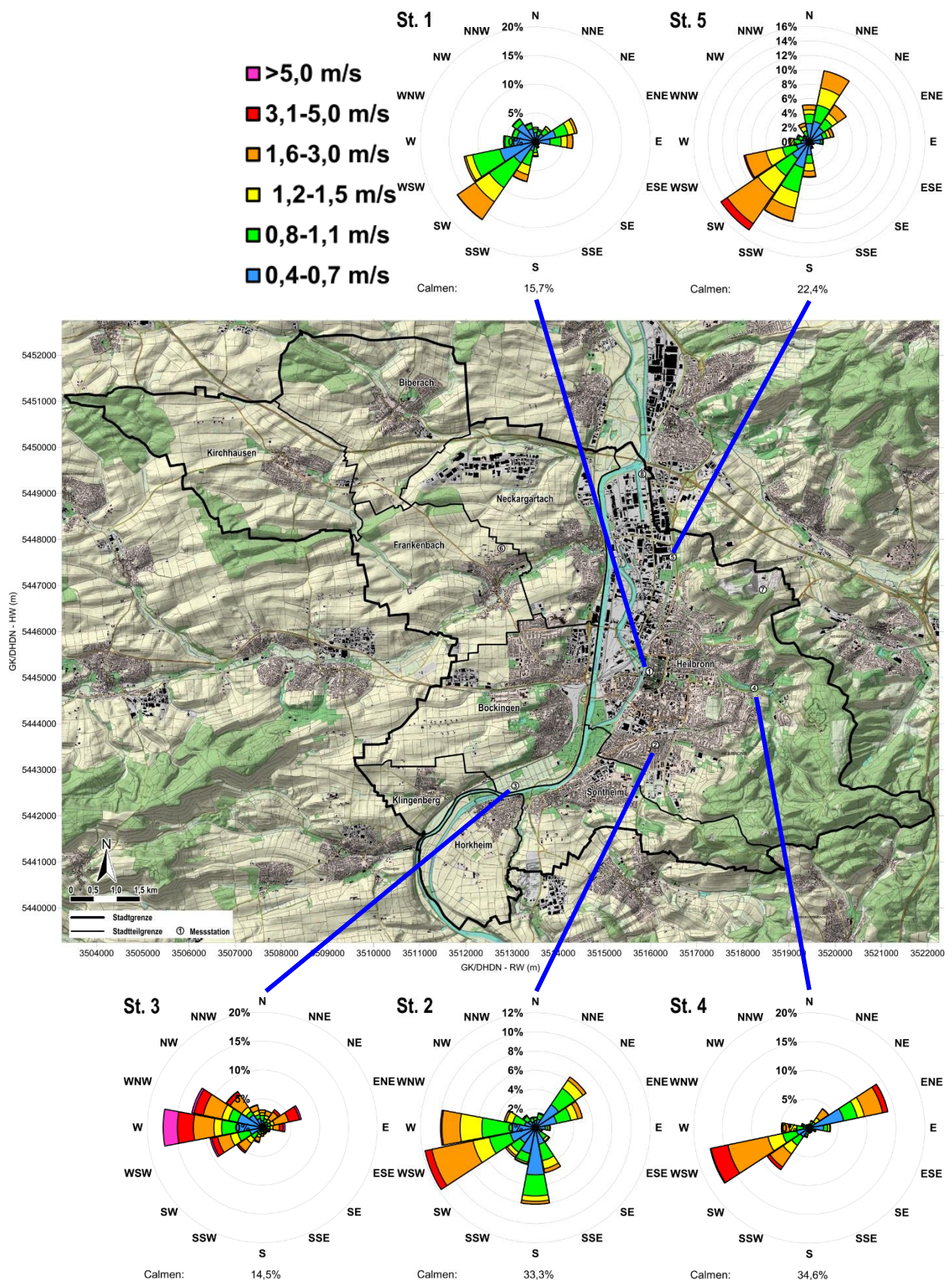


Abb. 6-24: Mittlere jährliche Stärkewindrosen an den Messstationen in Heilbronn für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Daten: Stundenmittelwerte)
 (Quelle: Kartengrundlage aus RK10, DGM10 ©Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg www.lgl-bw.de, Az.: 2851.9-1/19).

Zunächst ist an allen Stationen zu erkennen, dass die Hauptwindrichtungen im Groben dem südwestlichen bis westlichen Bereich zuzuordnen sind. Damit entsprechen die Windfelder weitgehend den mittleren langjährigen Verhältnissen für Südwestdeutschland und die Heilbronner Region (vergl. **Kap. 3.2** Makroklimatische Zuordnung und regionalklimatische Merkmale). Im Detail sind jedoch ortsspezifische Muster zu erkennen.

In der Neckaraue (St. 3) dominiert die westliche Windrichtung, die damit strikt dem Talverlauf des Neckars flussabwärts folgt. Zudem sind hier aufgrund der weitläufigen Wiesen die Austauschverhältnisse sehr gut, wie anhand des hohen Anteils an Windgeschwindigkeiten > 3 m/s zu erkennen ist. Flussaufwärts gerichtete Strömungen treten hingegen nur selten auf. Tagesperiodische Berg-Tal-Windsysteme mit regelmäßiger diurnaler Windrichtungsumkehr können somit für das großräumige Neckartal ausgeschlossen werden. Auch im Pfühlpark (St. 4) überwiegt eine gute Durchlüftung mit einem hohen Anteil an Windgeschwindigkeiten $> 1,5$ m/s. Hier ist jedoch die Hauptwindrichtung WSW, welcher ein sekundäres Maximum im genau entgegengesetzten Sektor ENE gegenübersteht. Die WSW-Winde treten zu ca. $2/3$ am Tage und zu ca. $1/3$ nachts auf, während es bei ENE-Winden gerade umgekehrt ist (30 % tagsüber, 60 % nachts). Dieses Verhalten ist zusammen mit den zwei komplementären Hauptwindrichtungssektoren auf die Lage im Pfühlthal am Hangfußbereich der östlichen Weinhänge zurückzuführen. Das relativ tief eingeschnittene Pfühlthal bedingt die talparallele Kanalisierung. Während am Tage der übergeordnete Wind in das Tal hineinströmt, dominiert nachts eine von den Weinhängen abwärts gerichtete Strömung. Ob es sich dabei um Kaltluftflüsse handelt, wird in **Kap. 6.2.3** näher untersucht.

Ein ähnliches Strömungsmuster mit komplementären Windrichtungen ist im Gewerbegebiet (St. 5) zu beobachten. Hier liegen die Hauptwindrichtung im SW-Sektor sowie ein sekundäres Maximum im NNE-Sektor. Allerdings sind die beiden Sektorengruppen über den Tag annähernd gleich verteilt. Der übergeordnete Wind weht aus SW und erzielt dabei einen größeren Anteil höherer Windgeschwindigkeiten $> 1,5$ m/s als bei NNE-Anströmung, welche offensichtlich deutlich durch Hangabwinde vom Stiftsberg geprägt wird.

Beim Wohngebiet (St. 2) zeigt sich der Einfluss der Bebauung, welche als Strömungshindernis sowohl den Wind abschwächt, als auch umlenkt. So sind drei große Anströmrichtungen zu erkennen. Die südwestliche Anströmung gliedert sich in den Hauptsektor WSW bis W, welche eine Kanalisierung entlang der Achse Louis-Hentges-Straße und Schlegelstraße anzeigt, sowie in den Südsektor, welcher auf die Kanalisierung durch die Zügelstraße hinweist. Als dritte, weniger häufig auftretende Anströmrichtung ist der NW-Sektor zu erkennen, der im Einflussbereich der östlichen Weinberghänge liegt. Die Windgeschwindigkeiten sind in der Bebauung niedriger als in der Neckaraue (St. 3) oder dem Gewerbegebiet (St. 4), wie anhand der hohen Häufigkeiten der Windgeschwindigkeitsklassen $\leq 1,5$ m/s zu erkennen ist. Lediglich im SW-Sektor sind höhere Anströmgeschwindigkeiten zu verzeichnen.

Auch die Innenstadtstation (St. 1) zeigt eine Beeinflussung durch die Bebauung. Während bei der Hauptwindrichtung SW der kanalisierende Effekt der Gerberstrasse noch relativ undeutlich ist, wird der sekundäre Sektor W eindeutig durch die Lohtorstraße geprägt. Auch hier sind die Windgeschwindigkeiten relativ gering, wobei höhere Windgeschwindigkeiten von bis zu 3 m/s in der Hauptanströmrichtung SW auftreten.

Insgesamt zeigen die Windrosen, dass das Windfeld durch die Neckartalung geprägt wird. In der Nähe der östlichen Weinberge treten auch Hangabwinde auf, deren Reichweite jedoch begrenzt ist und in der Neckaraue bereits nicht mehr nachgewiesen werden kann. In der Bebauung wird der Wind abgebremst und es kommt zu Kanalisierungseffekten.

6.1.6 Human-Bioklima

Das Klima eines Ortes wirkt sich unmittelbar auf das menschliche Wohlbefinden aus. Als wesentliche Einflussfaktoren auf das Wohlbefinden gelten Sonnenexposition, Lufttemperatur und -feuchtigkeit, Wind sowie die Wärmestrahlung der Umgebung. Die zusammenfassende Wirkung dieser Komponenten wird mittels des objektiven thermischen Behaglichkeitsmaßes „physiologische Äquivalenttemperatur“ (engl. PET) beschrieben, welche das aktuelle Temperaturempfinden widerspiegelt (zur Methodik siehe **Kap. 4.4.3**). Bei Wärmereiz ist die PET stets höher als die gemessene Lufttemperatur, bei Kühlereiz stets niedriger. Die PET trifft dabei keine Aussagen für das Klima in Gebäuden, sondern gilt ausschließlich für den Außenbereich, wobei angenommen wird, dass die Menschen stets der Witterung entsprechend angemessen gekleidet sind.

Der **Jahresgang** des thermischen Komforts PET ist in **Abb. 6-25** dargestellt. Die dazugehörigen Behaglichkeitsstufen sind als farbige Hinterlegung ebenfalls angegeben.

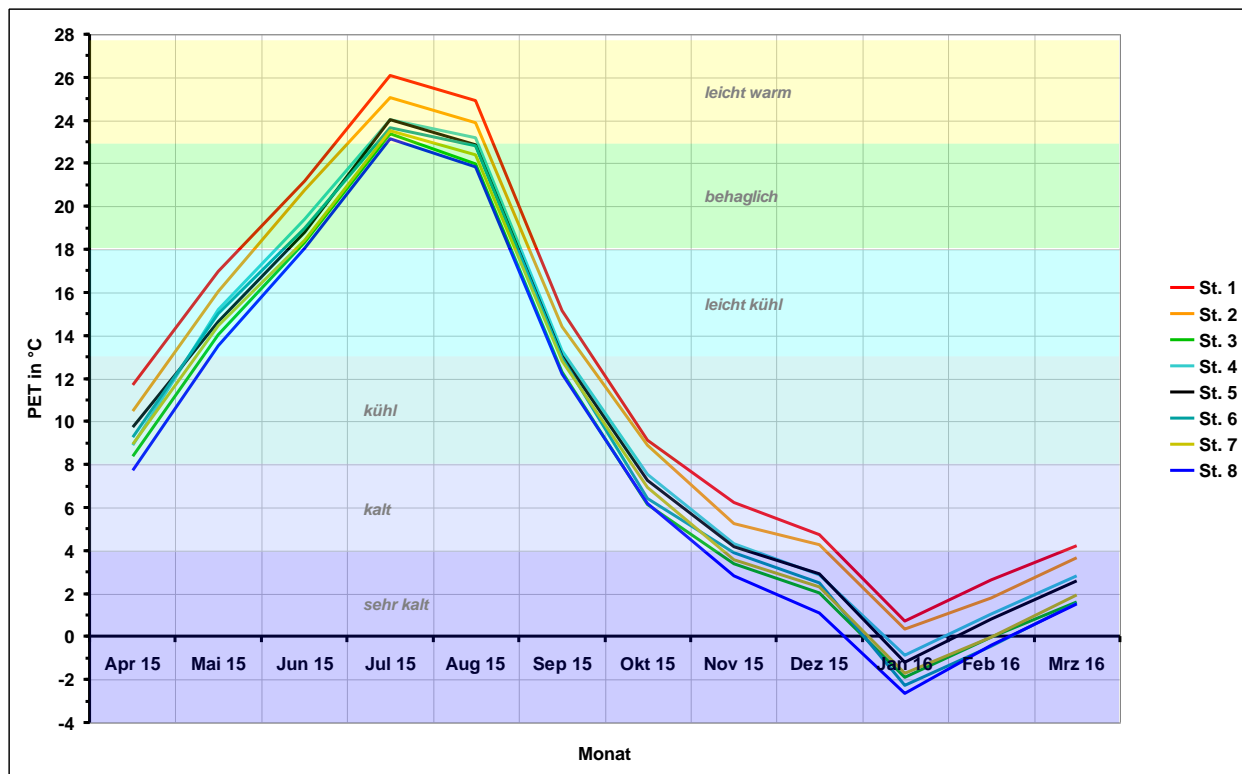


Abb. 6-25: Jahrgang der physiologischen Äquivalenttemperatur PET an den Messstationen in Heilbronn für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Daten: Stundenmittelwerte).

Es zeigt sich eine eindeutige Trennung zwischen den wärmeren bebauten Bereichen und den kühleren, unversiegelten innerstädtischen Grünflächen und Freilandbereichen. Die Innenstadt (St. 1) weist stets die höchsten PET-Werte auf, dicht gefolgt von der Wohnbebauung (St. 2). Mit einem deutlichen Sprung nach unten folgen das Gewerbegebiet (St. 5) und der Pfühlpark (St. 4). Die verbleibenden Stationen weisen nochmals niedrigere PET-Werte auf, wobei das Klärwerk (St. 8) das interstationäre Minimum bildet. Somit wird auch hier der spürbare Einfluss der städtischen Wärmeinsel bestätigt. Der Verlauf des Jahrgangs ist bei allen Stationen identisch. Im Januar ist der Kälteeinbruch mit seinen drei Eistagen deutlich zu erkennen. Die zahlreichen Sommertage und heißen Tage im Juli und August führen zu einem deutlichen Anstieg der PET. Unter der Berücksichtigung, dass es sich hierbei um über alle Tage und Nächte gemittelte Monatswerte handelt, ist das deutliche Auftreten von „leicht warmen“ Bedingungen in der Innenstadt und im Wohngebiet als markant einzustufen.

Der in **Abb. 6-26** dargestellte mittlere jährliche **Tagesgang** lässt eine noch deutlichere Standortdifferenzierung zu. Vorab ist anzumerken, dass die bei manchen Stationen zu erkennenden Knickpunkte in den Tagesgängen auf lokale Abschattungseffekte durch Messmasten oder umliegende Bäume oder Gebäude zurückzuführen sind (vergl. hierzu die jeweilige Horizontabschirmung in den Fish-Eye-Fotos in **Abb. A 1** im Anhang).

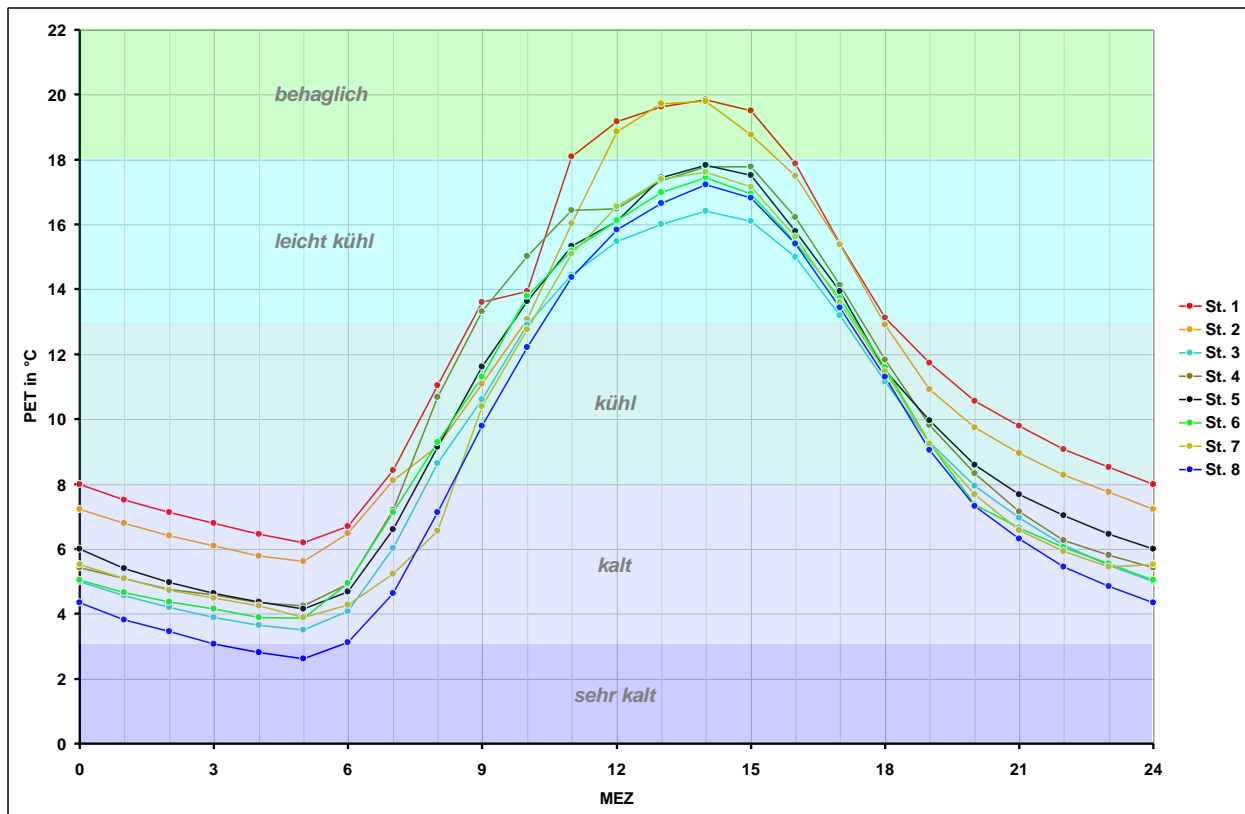


Abb. 6-26: Mittlerer Tagesgang der physiologischen Äquivalenttemperatur PET an den Messstationen in Heilbronn für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Daten: Stundenmittelwerte).

Wiederum sind die Innenstadt (St. 1) und das Wohngebiet (St. 2) die Standorte mit den mit Abstand höchsten PMV-Werten, welche am frühen Nachmittag fast identisch sind und als einzige Stationen in den „behaglichen“ Komfortbereich fallen. Nachts ist das Wohngebiet um ca. 1 °C PET kühler, jedoch ist der Abstand zu den anderen Stationen noch immer markant. Das Gewerbegebiet (St. 5), der Pfühlpark (St. 4) sowie die westliche Agrarfläche (St. 6) sind bereits 2 ° PET kühler als die Innenstadt. Alle drei Stationen unterscheiden sich kaum von voneinander. Am kältesten sind mit wiederum deutlichen Abstand die Neckaraue (St. 3) (tagsüber) und das Klärwerk (St. 8) (nachts).

6.2 Spezielle Aspekte: Messfahrten und Kaltluftuntersuchungen

6.2.1 Austauscharme Strahlungswetterlagen

Während austauscharmer Strahlungswetterlagen sind die durch die Erdoberfläche gesteuerten mikroklimatischen Effekte besonders deutlich ausgeprägt, sodass das Klima der verschiedenen urbanen Flächennutzungsstrukturen verstärkt zum Ausdruck kommt. Daher sind diese Zeiträume von besonderer Relevanz für stadtklimatische Untersuchungen. Kennzeichnend sind geringe Windgeschwindigkeiten, weitestgehend wolkenfreier Himmel und somit ungestörte Ein- und Ausstrahlung. Insbesondere in den entsprechenden Nächten wird das bodennahe Klima aufgrund

fehlender Einstrahlung nur durch die Oberflächen geprägt. Daher sind die flächennutzungsspezifischen Mikroklimatope während austauscharmer Strahlungswetterlagen besonders ausdifferenziert.

Eine statistische Zusammenfassung der klimatischen Situation während austauscharmer Strahlungswetterlagen ist in **Tab. 6-7** dargestellt.

Tab. 6-7: Statistische Angaben zur Lufttemperatur, zur Luftfeuchtigkeit und zur Windgeschwindigkeit an den Heilbronner Messstationen an 58 Strahlungstagen im Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Daten: 1.392 Stundenmittelwerte).

Größe	Maßeinheit	Station 1	Station 2	Station 3	Station 4	Station 5	Station 6	Station 7	Station 8
Lufttemperatur									
Mittelwert	C°	19,1	18,4	17,2	16,8	17,7	17,6	17,5	17,7
Abs. Min.	C°	-0,7	-1,3	-2,5	-3,2	-2,1	-1,9	-2,2	-1,6
Abs. Max.	C°	39,6	39,5	38,8	39,1	38,8	39,4	38,9	39,4
Luftfeuchtigkeit									
Relative Luftfeuchtigkeit									
Mittelwert	%	56,5	57,3	65,2	65,0	58,0	67,3	64,3	65,7
Abs. Min.	%	12,8	13,5	17,0	14,5	11,5	20,0	18,0	22,0
Abs. Max.	%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Damfdruck									
Mittelwert	hPa	12,1	11,9	12,6	12,2	11,2	13,6	12,8	13,3
Abs. Min.	hPa	3,7	4,1	4,3	4,2	3,9	4,7	4,7	4,8
Abs. Max.	hPa	24,3	23,2	25,2	25,3	22,8	28,1	23,9	24,6
Windgeschwindigkeit									
Mittelwert	m/s	0,6	0,5	0,9	0,7	0,6	0,7	0,6	0,9
Abs. Max.	m/s	2,2	2,2	5,3	4,3	2,6	5,6	2,5	2,3
Calmenhäufigkeit	%	20,0	50,6	27,5	40,4	37,2	56,0	25,5	0,7
Calemhäufigkeit Tag	%	4,5	14,1	8,2	17,0	10,1	21,5	9,3	0,1
Calemhäufigkeit Nacht	%	15,6	36,5	19,3	23,5	27,2	34,6	16,2	0,6
Calmen: $u \leq 0,3$ ms									

Bei den **thermischen Verhältnissen** werden die Aussagen zum Gesamtmesszeitraum (**Kap. 6.1.2**) bestätigt. Da die Strahlungstage hauptsächlich in den Sommermonaten auftraten, ist das thermische Niveau insgesamt höher als in der Ganzjahresbetrachtung. Die hoch versiegelte Innenstadt (St. 1) stellt mit ihrer zur Aufheizung und Wärmespeicherung neigenden Bebauung und Versiegelung mit einer Mitteltemperatur von 19,1 °C die wärmste Station dar. Im Gegenzug ist die durchgrünte Parkstation (St. 4) mit 16,8 °C die kühlsste Station. Das Wohngebiet (St. 2) mit einer gegenüber der Innenstadt höheren Durchgrünung weist aufgrund der immer noch relativ

dichten Bebauung die zweithöchste Mitteltemperatur (18,4° C) auf. Die drei Flächentypen Gewerbegebiet (St. 5), westliche Landwirtschaftsfläche (St. 6) und Klärwerk (St. 8) liegen mit jeweils 17,7 °C auf gleichem mittlerem thermischen Niveau. Die Neckaraue (St. 3) und der Wartberg (St. 7) zählen mit 17,2 °C bzw. 17,5 °C zu den kühleren Standorten. Diese Standortdifferenzierung spiegelt sich auch bei den **Maxima** und **Minima** wieder. Bei den **Maxima** ist die Differenzierung mit 0,8 K zwischen wärmster Station Innenstadt (St. 1, 39,6 °C) und kühler Station Wartberg (St. 7, 38,9 °C) gering, was auf die an allen Standorten hohe Sonneneinstrahlung der heißen Tage und der damit verbundenen Aufheizung der Oberflächen zurückzuführen ist. Bei den im Winter beobachteten absoluten **Minima** ist jedoch mit einer interstationären Bandbreite von 2,5 K die Differenzierung deutlicher. Wiederum stellen die Innenstadt (St. 1) mit -0,7 °C und das Wohngebiet (St. 2) mit -1,3 °C die wärmsten Stationen dar, während der Pfühlpark (St. 6) und die Neckaraue (St. 3) mit -3,2 °C bzw. -2,5 °C am kältesten sind.

Im mittleren **Tagesgang** (Abb. 6-27) sind die Unterschiede zwischen den Stationen auch bei den strahlungsarmen Wetterlagen deutlicher ausgeprägt.

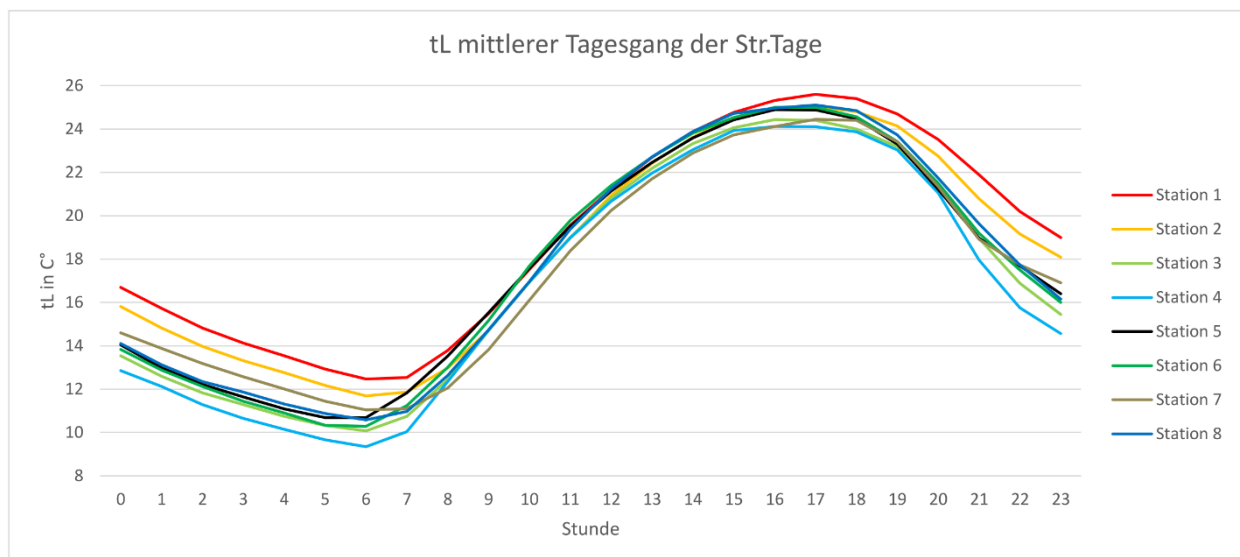


Abb. 6-27: Mittlerer Tagesgang der Lufttemperatur an den Messstationen in Heilbronn an 58 Strahlungstagen im Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Daten: 1.392 Stundenmittelwerte).

Die Innenstadt (St. 1) stellt sowohl tagsüber als auch nachts die wärmste Station dar und bildet eine **Wärmeinsel**. Die Maximaltemperatur am Nachmittag beträgt 25,6 °C, das morgendliche Minimum 14,1 °C. Das Wohngebiet (St. 2) weist die zweithöchsten Temperaturen auf, die ca. 0,7 K unterhalb derjenigen der Innenstadt liegen. Die übrigen Stationen sind deutlich kühler, wobei sie im Verlauf der Nacht schneller auskühlen als die Innenstadt und das Wohngebiet. Dieses ist bereits bei dem Gewerbegebiet (St. 5) als drittwärmster Flächennutzung feststellbar, das trotz seiner Versiegelung und relativ hohen Temperaturen am Tage in der Nacht relativ schnell auskühlt. Ursache ist die fehlende Masse an speicherfähigem Baumaterial, da einerseits ein Großteil der

Industrie- und Gewerbebauten aus großvolumigen Hallen mit dünnen Wänden besteht und andererseits die weitläufigen Oberflächenversiegelungen nur eine dünne Bodenauflage bilden. Das im Einflussbereich der Gewässer liegende Klärwerk (St. 8) hat ein mit dem Gewerbegebiet (St. 5) vergleichbares Temperaturniveau. Die restlichen Stationen gehören zu den unversiegelten Flächen und weisen ein relativ kühles Klima auf. Bezüglich der kühlesten Station ist ein Wechsel von der hoch gelegenen Station Wartberg (St. 7) am Tage zum Pfühlpark (St. 4) in der Nacht zu beobachten. Bei der Fläche auf dem Wartberg führt die Höhenlage tagsüber zur relativen Kühle, während sie nachts dem Bereich der **warmen Hangzone** zuzuordnen ist. Der Pfühlpark hingegen weist aufgrund der windgeschützten Tallage und der Stadtrandlage tagsüber etwas höhere Temperaturen auf, während sie nachts unter **Kaltlufteinfluss** steht.

Abb. 6-28 zeigt den mittleren **Tagesgang** der **städtischen Wärmeinsel (UHI)** für drei exemplarische Wärmeinselbezüge, die aus den stündlichen Lufttemperaturdifferenzen zwischen der Innenstadt (St. 1) und der Neckaue (St. 3), dem Pfühlpark (St. 4) und dem höher gelegenen Wartberg berechnet wurden.

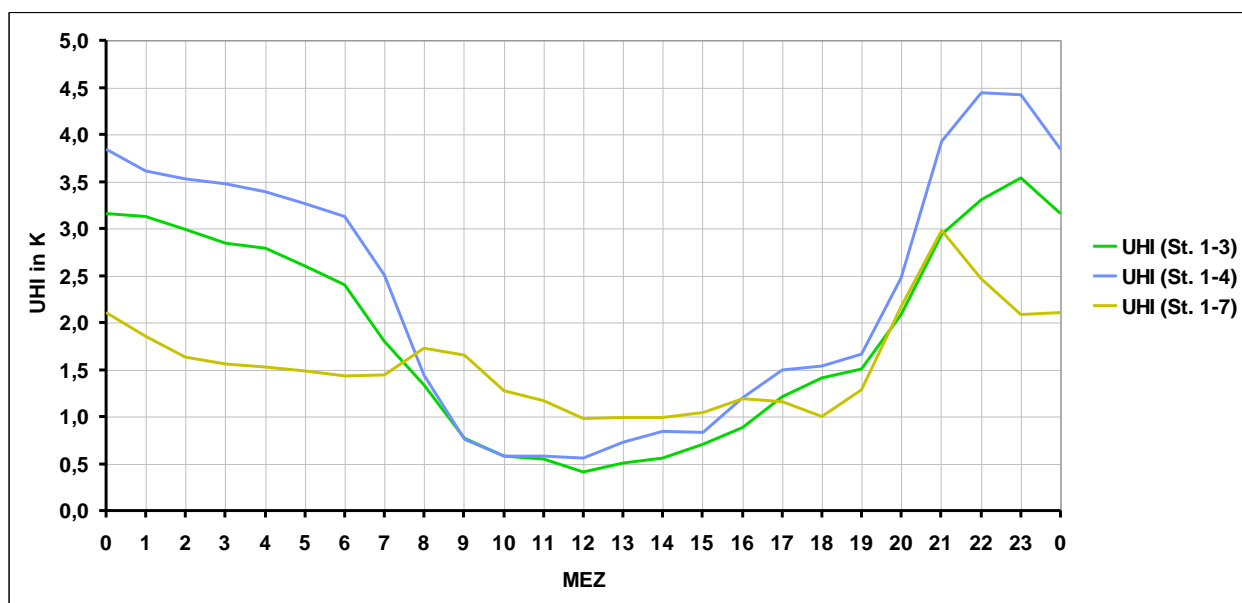


Abb. 6-28: Mittlerer Tagesgang der Wärmeinselintensität UHI an ausgewählten Messstationen in Heilbronn an 58 Strahlungstagen im Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Daten: 1.392 Stundenmittelwerte).

Die mittlere Wärmeinselintensität beträgt für die Bezugsstation Neckaraue (St. 3) 1,8 K, für die Bezugsstationen Pfühlpark (St. 4) 2,3 K und für den Wartberg (St. 7) 1,6 K. Die UHIs unterscheiden sich jedoch deutlich im Tagesgang. Während im Tal (Pfühlpark) ein deutlicher Tagesgang mit einem Minimum von 0,6 K an Tage und einem Maximum von 4,4 K in der Nacht beobachtet wird, ist der Tagesgang bezogen auf den Wartberg gedämpfter und weist Werte zwischen 1,0 K (tagsüber) und 3,0 K (nachts) auf, da der Wartberg tagsüber relativ kühler ist und nachts in der warmen Hangzone liegt. Der ausgeprägte Tagesgang bei der Pfühlpark-basierten UHI resultiert

hingegen ausschließlich aus dem Strahlungs- und Wärmehaushalt der Flächennutzungen. Tagsüber erwärmen sich sowohl die Innenstadt als auch der Pfühlpark durch die direkte Sonneneinstrahlung, sodass dann der Temperaturunterschied relativ gering ist (0,6 K bis 1,5 K). Nachts hingegen wird der Temperaturkontrast ausschließlich durch die flächenspezifischen Auskühlungsraten bestimmt. Hierbei kühlt die Wiese des Pfühlparks schneller und stärker aus, als die Innenstadt, deren Bausubstanz die am Tage aufgespeicherte Wärme nur langsam und zeitlich verzögert wieder an die Atmosphäre abgibt. So werden Maximalwerte der UHI von bis zu 4,4 K erreicht. Die auf die Neckaraue bezogene UHI entspricht hinsichtlich des Tagesverlaufs derjenigen des Pfühlparks, allerdings auf einem ca. 0,25 K niedrigerem Niveau. Ursache ist sowohl der Einfluss des warmen Flusses als auch der geringere Einfluss von Kaltluftprozessen.

Die **Tab. 6-7** enthält ferner Angaben zu den **Feuchteverhältnissen** während der Strahlungstage. Die relative Luftfeuchtigkeit der Strahlungstage ist deutlich niedriger als während der gesamten Messperiode (vgl. **Kap. 6.1.4**), da die Atmosphäre aufgrund der höheren Lufttemperaturen wesentlich höhere Wasserdampfmen gen aufnehmen könnte. Der Dampfdruck hingegen befindet sich auf einem dem Gesamtmesszeitraum vergleichbaren Niveau.

In den versiegelten und bebauten Bereichen ist die Luftfeuchtigkeit niedriger als auf unversiegelten Flächen der innerstädtischen Grünflächen und des Freilandbereichs. Als trockenster Standort wurde die hoch versiegelte Innenstadt (St. 1) mit 56,5 % bzw. 12,1 hPa identifiziert, gefolgt vom Gewerbegebiet (St. 5) den westlich angrenzenden Weinbergen (58,0 % und 11,2 hPa) und dem besser durchgrüntem Wohngebiet (St. 2) mit 57,3 % bzw. 11,9 hPa. Auf dem Wartberg (St. 7) (64,3 % bzw. 12,8 hPa) sowie im gut durchgrüntem Pfühlpark (St. 4) (65 % bzw. 12,2 hPa) sind die Feuchten bereits deutlich höher. Gleiches gilt für die Neckaraue (St. 3) mit 65,2 % bzw. 17 hPa. Die feuchtesten Stationen sind das Klärwerk (St. 8) (65,7 % bzw. 13,3 hPa) und die Landwirtschaftsfläche (St. 6) (67,1 % bzw. 13,7 hPa). Die Extremwerte (Minima und Maxima) bestätigen diese Rangfolge und zeigen keine weiteren Auffälligkeiten.

Auch bei den **Tagesgängen** der relativen Luftfeuchtigkeit in **Abb. 6-29** sind die versiegelten Bereiche der Innenstadt (St. 1), des Wohngebietes (St. 2) und des Gewerbegebietes (St. 5) die trockensten Flächennutzungen, wobei insbesondere das Gewerbegebiet mit dem nachmittäglichen Minimum hervorsticht. Die westliche Landwirtschaftsfläche (St. 6) ist weiterhin die feuchteste Station, allerdings erreichen nachts der Pfühlpark (St. 4), die Neckaraue (St. 3) und das Klärwerk (st. 8) vergleichbar hohe Werte.

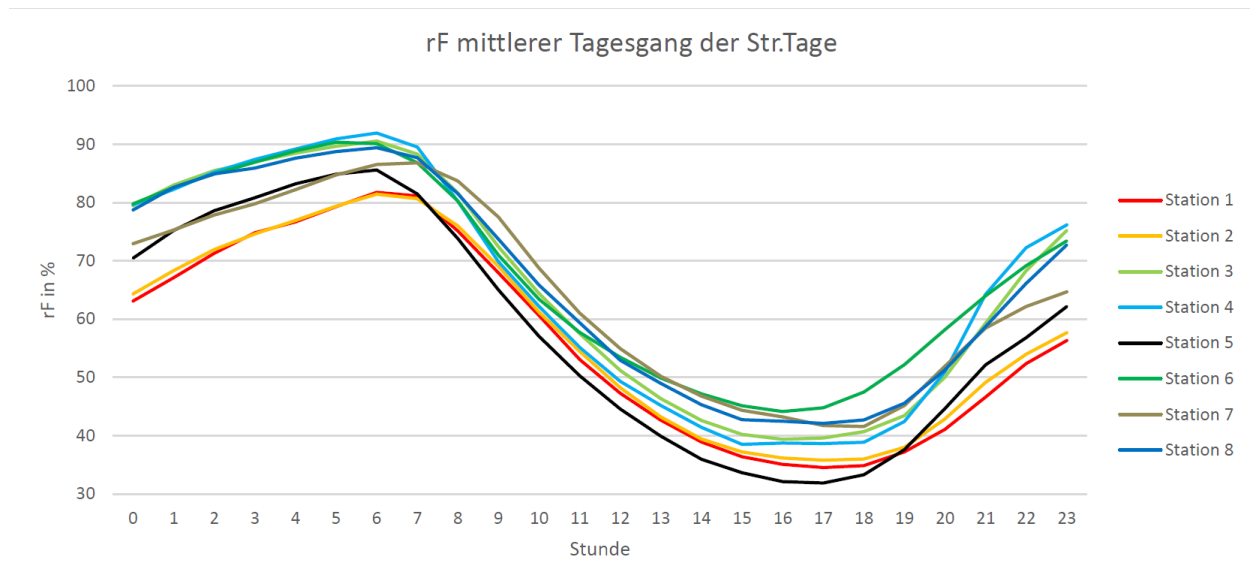


Abb. 6-29: Mittlerer Tagesgang der relativen Luftfeuchtigkeit an den Messstationen in Heilbronn an 58 Strahlungstagen im Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Daten: 1.392 Stundenmittelwerte).

Die **Tab. 6-7** enthält ferner Angaben zu den **Austauschverhältnissen** während der Strahlungstage, wobei die mittleren Unterschiede gering sind. Für die bebauten Bereiche Innenstadt (St. 1), Wohngebiet (St. 2) und Gewerbegebiet (St. 5) sowie die im Windschatten gelegene Station Wartberg (St. 7) beträgt die mittlere Windgeschwindigkeit zwischen 0,5 m/s und 0,6 m/s. Die Maximalwindgeschwindigkeiten liegen bei $\leq 2,6$ m/s. Etwas besser durchlüftet sind die übrigen, offenen Flächen Neckaraue (St. 3), Agrarfläche (St. 6), Klärwerk (St. 8) und Pfühlpark (St. 6) mit mittleren Windgeschwindigkeiten zwischen 0,7 m/s und 0,9 m/s. Die Maximalwindgeschwindigkeiten liegen hier zwischen 2,3 m/s und 5,6 m/s. Unerklärlich bleibt weiterhin der äußerst hohe Calmenanteil bei St. 6 mit 56 % bei ansonsten für Strahlungstage relativ guter Durchlüftung.

Im Tagesgang der Windgeschwindigkeit für die austauscharmen Strahlungstage (**Abb. 6-30**) sind die Unterschiede zwischen der austauschreichen, konvektionsbedingten Taghälfte und der wind schwachen Nachthälfte deutlich ausgeprägt.

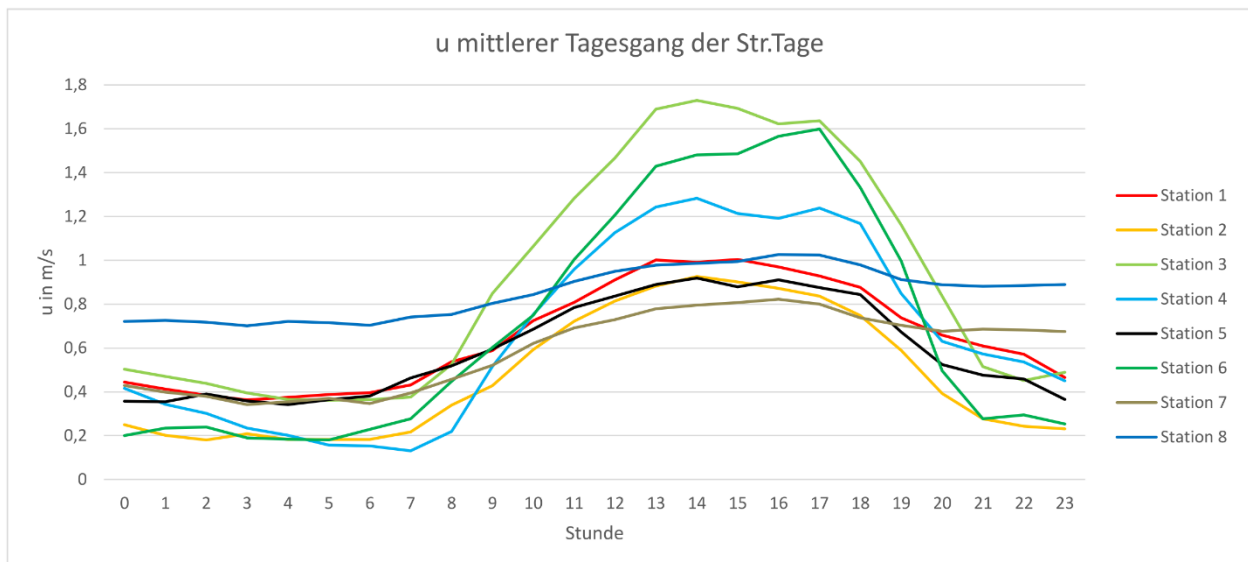


Abb. 6-30: Mittlerer Tagesgang der Windgeschwindigkeit an den Messstationen in Heilbronn an 58 Strahlungstagen im Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Daten: 1.392 Stundenmittelwerte).

Im Gegensatz zum mittleren Tagesgang des Gesamtjahres (vgl. **Abb. 6-21** oben) sind jedoch einige Besonderheiten bei den einzelnen Stationen zu beobachten. Die offen gelegenen Stationen Neckaraue (St. 3) und Station Acker (St. 6) weisen die höchsten Windgeschwindigkeiten am Tage auf, wobei jedoch an der Ackerstation nachts die zweitschwächste Durchlüftung zu beobachten ist. Ein vergleichbares Muster zeigt in abgeschwächter Form der Pfühlpark (St. 4). Im Gegensatz dazu zeigen die Stationen Innenstadt (St. 1), Wohngebiet (St. 2) und Gewerbegebiet (St. 5) eine schwächere Tagesamplitude mit relativ schwächeren Windgeschwindigkeiten am Tage und relativ höheren Windgeschwindigkeiten in der Nacht. Hierbei wirkt sich am Tage die dichte Bebauung mit ihrer hohen Rauigkeit Wind abschwächend aus. Nachts hingegen könnte die Überwärmung der Bebauung noch stark genug sein, um durch leichte Konvektion den Austausch zu erhöhen. Eine Besonderheit ist im Windgeschwindigkeitstagesgang am Klärwerk (St. 8) zu beobachten. Dort ist der Tagesgang nur schwach ausgeprägt mit relativ niedrigen Windgeschwindigkeiten am Tage und relativ hohen Windgeschwindigkeiten nachts. Die Ursache hierfür ist nicht eindeutig feststellbar, jedoch könnten die anliegenden Hafengewässer als Ventilationsflächen zu einer schwachen, aber permanenten Durchlüftung führen.

Der Anteil der **Schwachwinde** ist während der austauscharmen Strahlungswetterlagen per Definition an allen Stationen außerordentlich hoch (**Abb. 6-31**) und beträgt nachts mindestens 93 %.

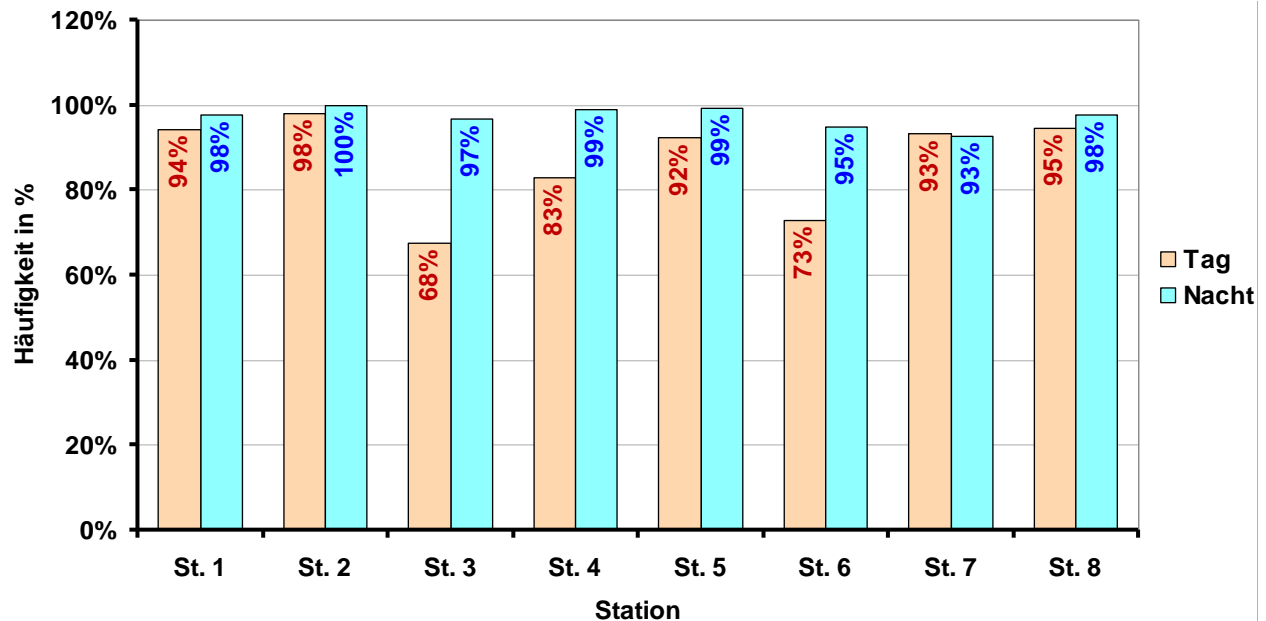


Abb. 6-31: Tageszeitliche Auftrittshäufigkeit von Schwachwind an den Messstationen in Heilbronn an 58 Strahlungstagen im Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Daten: 1.392 Stundenmittelwerte).

An den an Strömungshindernis reichen Standorten Innenstadt (St. 2), Gewerbegebiet (St. 5) und Wohngebiet (St. 2) steigt die nächtliche Schwachwindhäufigkeit auf 98 % bis 100 % an. Auch am Tage sind die Schwachwindhäufigkeiten mit Ausnahme der Stationen St. 3, St. 4 und St. 6 sehr hoch und betragen mindestens 92 %. An den frei anströmbaren Stationen Neckaraue (St. 3) und Landwirtschaftsfläche (St. 6) geht der Schwachwindanteil auf 68 % bzw. 73 % zurück. Beim Pfühlpark (St. 4) sorgen Kanalisierungseffekte der Talung und Hangwinde von den östlichen Weinbergen für einen gegenüber den anderen städtischen Stationen für einen leicht reduzierten Schwachwindanteil von 83 % am Tage.

Zu den **Strömungsverhältnissen** geben die Stärkewindrosen in **Abb. 6-32** Auskunft. Im Vergleich zu den Windrosen des Gesamtmeszeitraums (vgl. **Abb. 6-24** weiter vorne) stellen sich teilweise deutlich andere Strömungsmuster ein, die auf lokale Effekte des Reliefs oder der Bebauung zurückzuführen sind. Am auffälligstem ist die Richtungskonstellation der drei Stationen Neckaraue (St. 3), Pfühlpark (St. 4) und Gewerbegebiet (St. 5). An allen drei Stationen gibt es jeweils eine Hauptwindrichtung, deren Häufigkeit diejenigen der übrigen Windrichtungen deutlich überwiegt. Dieses sind in Neckaraue (St. 3) die Richtung W, im Pfühlpark (St. 4) die Richtung ENE sowie im Gewerbegebiet (St. 5) die Richtung NNE. Gleichzeitig sind diese Hauptwindrichtungen zueinander derart gegensätzlich, dass der Einfluss einer räumlich übergreifend wirkenden Strömung mit gleicher Richtungstendenz ausgeschlossen werden kann. Da diese drei Stationen zusätzlich einen nennenswerten Anteil von Windgeschwindigkeiten oberhalb des Schwachwindniveaus (1,5 m/s) aufweisen, ist davon auszugehen, dass es sich jeweils um lokale Strömungen handelt, die sich auch im weiteren Umfeld der Stationen etablieren können.

Die Ursache dieser komplementären Strömungsmuster ist aus den Tag-Nacht-Windrosen in **Abb. 6-33** ableitbar. Gerade nachts, wenn das bodennahe Windfeld vom übergeordneten Windfeld durch Bodeninversionen entkoppelt ist, wird das bodennahe Windfeld durch die lokalen Relief- und Topografieverhältnisse geprägt. Bei den drei Stationen zeigt sich, dass ihre gegensätzlichen Hauptwindrichtungen mehrheitlich nachts auftreten und somit lokale Ursachen haben. Das Windfeld in der Neckaraue (St. 3) folgt mit der westlichen Strömung der Neckartalung flussabwärts in Richtung E. Beim Pfühlpark (St. 4) ist die ENE-Hauptwindrichtung eindeutig den westlichen Weinhängen und deren Seitentälern zuzuordnen. Im Gewerbegebiet (St. 5) weist die NNE-Strömung auf Hangabwinde vom nahe gelegenen Stiftsberg hin. Die jeweiligen reliefbedingten Strömungen dringen auch in die Bebauung ein, wobei sie abgebremst werden. Im Wohngebiet (St. 2) ist zu erkennen, dass sowohl die ENE-Winde aus dem Pfühlthal als auch die Westwinde aus dem Neckartal zu etwa gleichen Anteilen auftreten, wenngleich bei einer nächtlichen Calmenhäufigkeit von 36 % die absolute Auftrittshäufigkeit geringer ist als an den Ursprungsstationen. Demnach scheinen die lokalen Strömungen nicht in jeder Nacht bis in die Bebauung einzudringen. Auch die Innenstadt scheint nachts unter dem Einfluss der lokalen Windsysteme zu stehen, wobei die örtliche Bebauung zu teilweisen Kanalisierungseffekten durch die Straßenschluchten führt. Die hauptsächliche Anströmung erfolgt aus E bis NE aus Richtung der Weinberge über die Lohtorstraße. Als sekundäres nächtliches Maximum erfolgt eine Belüftung ebenfalls über die Lohtorstraße, allerdings aus der entgegengesetzten nordwestlichen Richtung vom Neckar her. Ein drittes Maximum ist im WSW-Sektor zu erkennen, welches über die Gerberstraße ebenfalls dem Neckarverlauf zugeordnet werden kann. Dieses würde bedeuten, dass im Neckartal in Strahlungsnächten neben der flussabwärts gerichteten Strömung zeitweilig auch eine flussaufwärts gerichtete Strömung auftritt.

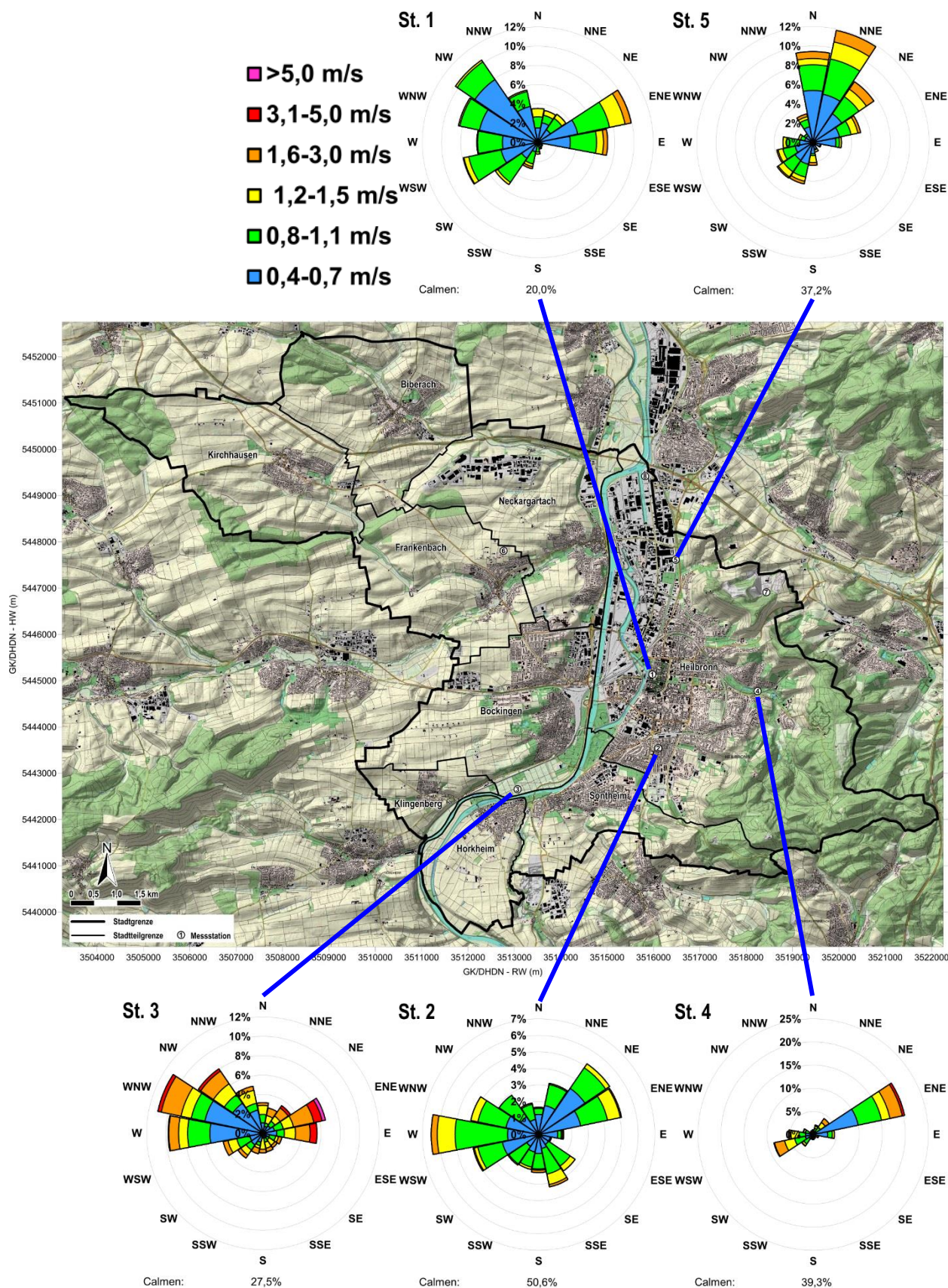


Abb. 6-32: Stärkewindrosen an den Messstationen in Heilbronn an 58 Strahlungstagen im Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Daten: 1.392 Stundenmittelwerte) (Quelle: Kartengrundlage aus RK10, DGM10 ©Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg www.lgl-bw.de, Az.: 2851.9-1/19).

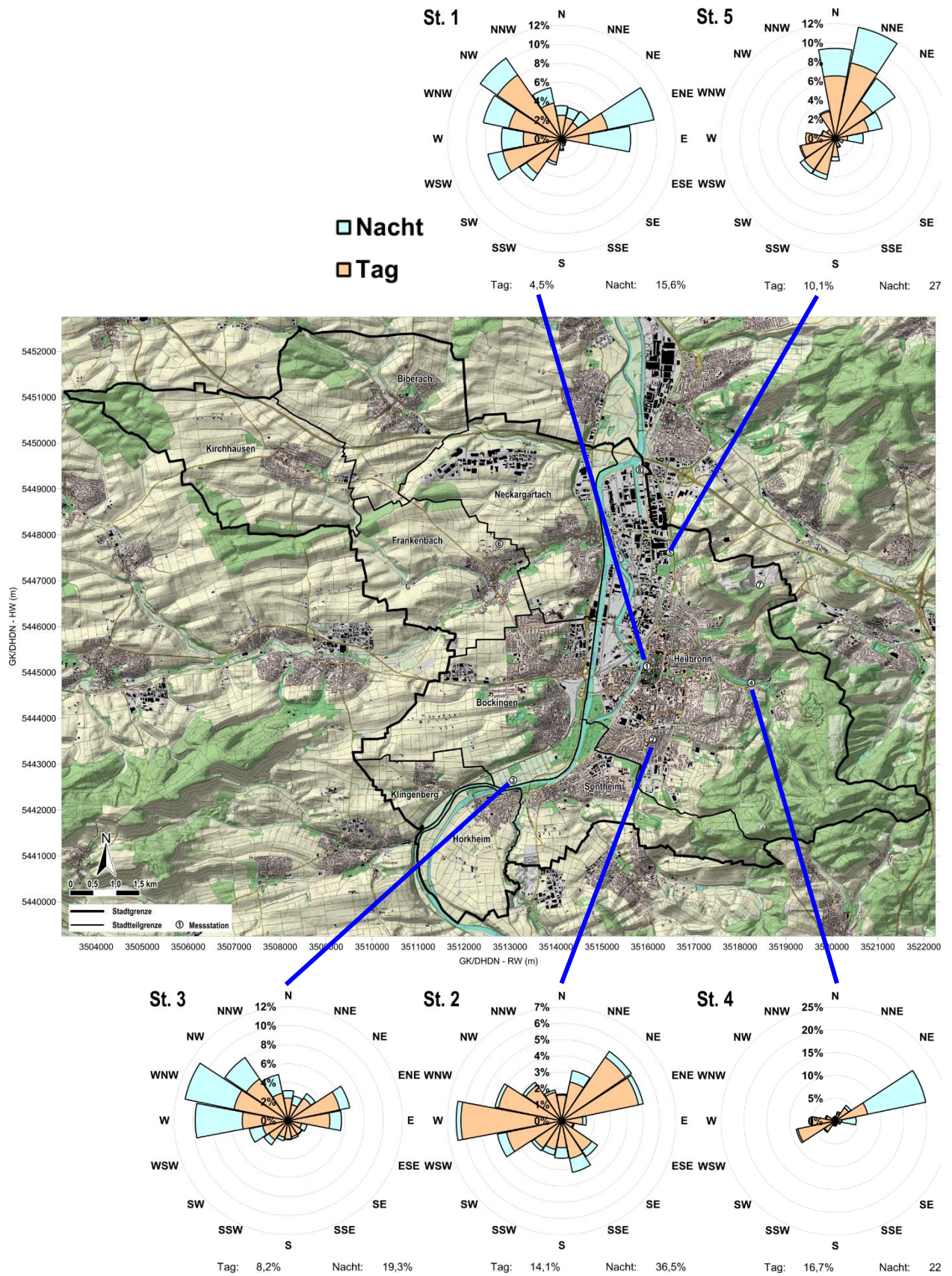


Abb. 6-33: Tag-Nacht-Windrosen an den Messstationen in Heilbronn an 58 Strahlungstagen im Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Daten: 1.392 Stundenmittelwerte) (Quelle: Kartengrundlage aus RK10, DGM10 ©Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg www.lgl-bw.de, Az.: 2851.9-1/19).

6.2.2 Räumliche Struktur der Temperaturverteilung

In Strahlungsnächten werden die thermischen Effekte der unterschiedlichen Flächennutzungen besonders deutlich. Da die Aufheizung der Oberflächen durch die Sonneneinstrahlung am Tage entfällt, wird das lokale thermische Niveau ausschließlich durch das unterschiedliche Auskühlungsverhalten bzw. der Wärmespeicherfähigkeit der verschiedenen Flächennutzungen geprägt. Bezüglich der Höhenlage kommt ergänzend der Effekt der Lufttemperaturinversion zum Tragen, da aufgrund der am Boden lagernden kühleren Luft die Lufttemperatur mit der Höhe zunimmt.

Diese Situation wurde in Heilbronn während der Nächte von in fünf heißen Strahlungstagen mit insgesamt 20 Lufttemperaturmessfahrten erfasst (Übersicht siehe **Tab. 4-7**), deren Ergebnisse nachfolgend zusammenfassend vorgestellt werden. Um die leicht unterschiedlichen, witterungsbedingten thermischen Niveaus der einzelnen Messnächte auszugleichen, wurden zunächst die Messwerte der einzelnen Messfahrten in eine relative Temperaturskala überführt, welche die Abweichung vom Gebietsmittelwert der jeweiligen Messfahrtepisode darstellt. Anschließend wurden die Messwerte der fünf Messnächte gemittelt, um ein zusammenfassendes und repräsentatives Bild zu erhalten. Mittels eines Flächeninterpolationsverfahrens (siehe **Kap. 4.3.3, S. 41**) konnte aus den Daten eine fast flächendeckende Temperaturkarte erstellt werden. Lediglich für den äußersten östlichen Zipfel der Heilbronner Stadtgrenze im Bereich Hintersberg und Reisberg war mangels Messwerten keine Temperaturzuordnung möglich.

Die nachfolgende Darstellung der flächendeckenden Lufttemperaturverteilung erfolgt getrennt für die erste und zweite Nachthälfte, um aus den Temperaturdifferenzen auf eine mögliche Kaltluftdynamik schließen zu können.

Während der **ersten Nachthälfte (Abb. 6-34)** beträgt bei einer durchschnittlichen Gebietsmitteltemperatur von 25,2 °C der maximale Lufttemperaturkontrast im Heilbronner Stadtgebiet 7,6 K zwischen wärmsten und kältesten Punkt.

Die **wärmsten Areale** mit Temperaturanomalien von mehr als + 2 K gegenüber der Gebietsmitteltemperatur befinden sich auf den oberen Hängen der östlichen Höhenzüge sowie punktuell auf den westlichen Hochebenen, die außerhalb der Kaltluft in der oberen warmen Hangzone liegen und zusätzlich mit Wald bestanden sind. Da durch das Kronendach eine Wärmeausstrahlung des Bodens in die Atmosphäre und damit eine Abkühlung verhindert wird, sind im Stammraum der Wälder die Lufttemperaturen relativ hoch. Auch der in der Neckartalsole gelegene Innenstadtbereich weist eine hohe Überwärmung > 2 K gegenüber dem Gebietsmittel auf, da die dichte Bebauung die am Tage aufgespeicherte Wärmeenergie aus der Sonneneinstrahlung nachts nur verzögert wieder in die Atmosphäre abgibt.

**Flächenhafte Isanomalendarstellung der mittleren Lufttemperatur in 2 m ü.Gr. (ΔT_A in °K) ausgewählter austauscharmer Strahlungsnächte in Heilbronn
(Mittelwerte der Messfahrten in der 1. Nachthälfte am 01./02.07., 02./03.07., 02./03.08., 03./04.08. und 06./07.08.)**

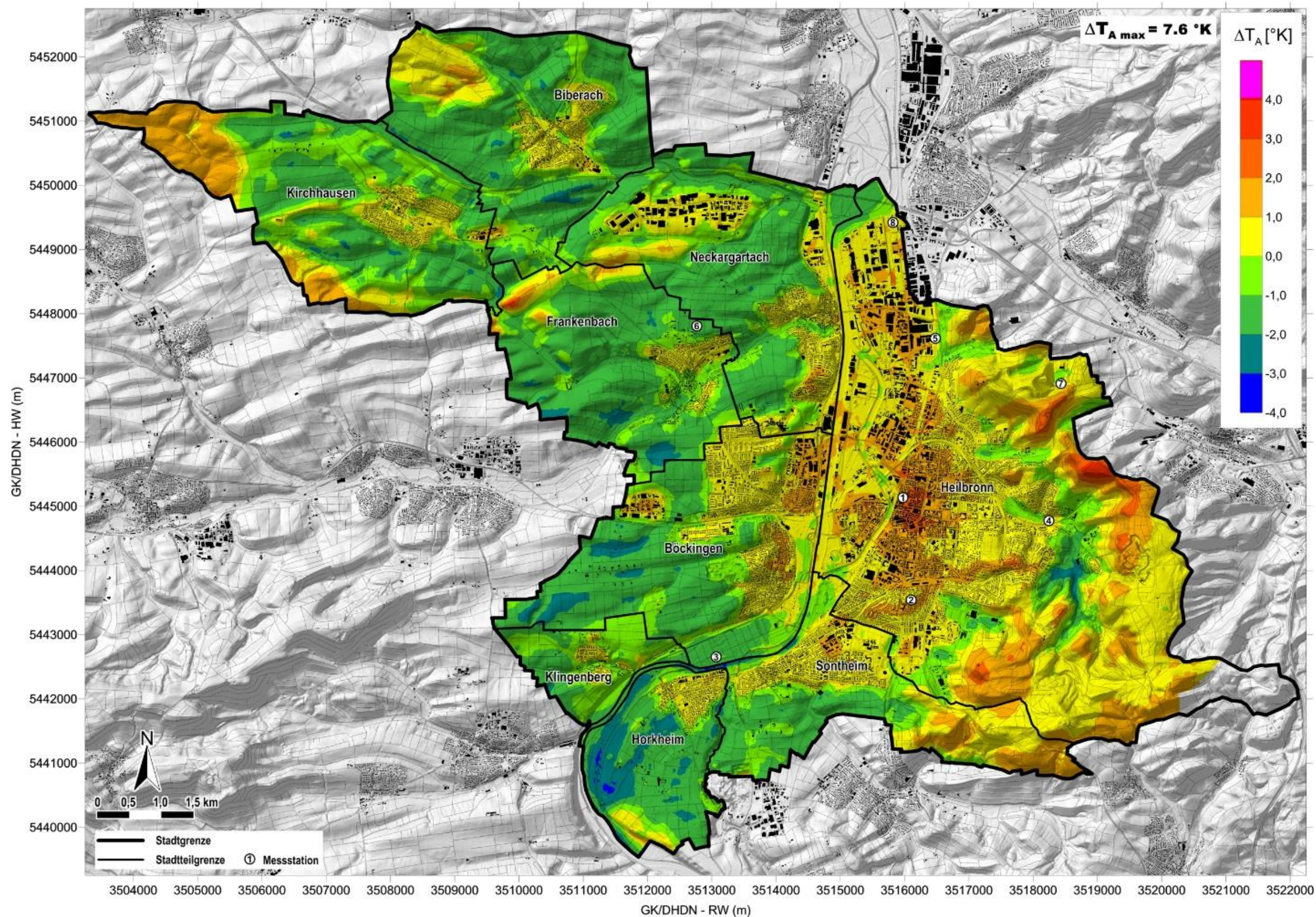


Abb. 6-34: Mittlere Anomalie der Lufttemperaturverteilung in 2 m ü. Gr. in der 1. Nachthälfte austauscharmer Strahlungstage in Heilbronn, bezogen auf eine durchschnittliche Gebietsmitteltemperatur von 25,2°C (Quelle: Kartengrundlage aus RK10, DGM10 ©Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg www.lgl-bw.de, Az.: 2851.9-1/19).

Zu den **mäßig überwärmten** Gebieten (+1 K bis +2 K) zählen die etwas niedriger, im mittleren Hangbereich, gelegenen Wälder, sowie große Teile der Wohngebiete in Innenstadtnähe und in Böckingen, die zwar weniger dicht als die Innenstadt, aber dennoch kompakt bebaut sind.

Die **leicht überwärmten** Gebiete mit Anomalien von +0 K bis 1 K gegenüber der Gebietsmitteltemperatur liegen hauptsächlich in den Gewerbegebieten der Neckaraue und in der locker bebauten Peripherie der Stadt sowie als, im übrigen Stadtgebiet verteilte, kleinere Cluster in warmer Hang- oder Kuppenlage. Bei Letzteren handelt es sich entweder um Wohnbebauung – etwa in Biberach, Kirchhausen oder Frankenbach – oder um Gewerbeflächen (Neckargartach). Diese Flächen weisen einen höheren unversiegelten Flächenanteil auf, sodass bei dadurch bedingter zunehmender lokaler Kaltluftproduktion die Wärmeemission aus der Bausubstanz zurückgeht. Auch die Wälder der unteren Hanglagen sind diesem Temperaturniveau zuzuordnen.

Die **leicht kühlen** Areale mit Anomalien von 0 K bis -1 K gegenüber der Gebietsmitteltemperatur umfassen die zum Umland übergehenden Randbereiche der Bebauung, die Waldränder und die oberen Hang- oder Kuppenlagen der Freiland- bzw. Landwirtschaftsflächen.

Zu den **mäßig kühlen** Bereichen (-1 K bis -2 K) zählen die unbewaldeten Frei- und Landwirtschaftsflächen in den mittleren Höhenlagen. Diese Flächen sind ideale Kaltluftproduzenten und stellen einen Großteil der Heilbronner Flächennutzungen dar. Sie befinden sich hauptsächlich auf den Anhöhen westlich des Neckars sowie südlich von Sontheim und Horkheim.

Schließlich bilden sich die **kalten Zonen** mit Temperaturanomalien < -2 K hauptsächlich infolge des Reliefs in unverbauten Talsohlen, Senken oder Mulden aus. Ursache ist die Akkumulation von Kaltluft, die gravitativ von den örtlichen Hanglagen bzw. aus den oberen Talabschnitten den tiefsten Geländepunkten zufließt. Besonders gut zu erkennen ist dieses am nördlichen Hangfuß des Büchelberges und dem anschließenden Köpfertal, der Neckaraue südwestlich von Horkheim sowie in kleineren Seitentälern auf den westlichen Hochflächen.

Bezogen auf das gesamte Stadtgebiet bildet die Heilbronner Bebauung somit innerhalb der Talsohle des Neckartals eine **Wärmeinsel**, die im Vergleich zum kältesten Punkt in der Horkheimer Talau eine Intensität von ca. 6 K erreicht.

In der **zweiten Nachthälfte (Abb. 6-35)** hat gegenüber der ersten Nachthälfte eine gebietsübergreifende, normale nächtliche Abkühlung von ca. 4,3 K stattgefunden. Bei einer durchschnittlichen Gebietsmitteltemperatur von 20,9 °C beträgt der maximale Lufttemperaturkontrast im Heilbronner Stadtgebiet 7,9 K zwischen wärmsten und kältesten Punkt. Im Einzelnen sind im Verlaufe der Nacht jedoch die verschiedenen Flächennutzungen unterschiedlich stark abgekühlt, sodass die relativen Lufttemperaturunterschiede in der zweiten Nachthälfte teilweise von denen in der ersten Nachthälfte abweichen.

**Flächenhafte Isanomalendarstellung der mittleren Lufttemperatur in 2 m ü.Gr. (ΔT_A in °K) ausgewählter austauscharmer Strahlungsnächte in Heilbronn
(Mittelwerte der Messfahrten in der 2. Nachthälfte am 01./02.07., 02./03.07., 02./03.08., 03./04.08. und 06./07.08.)**

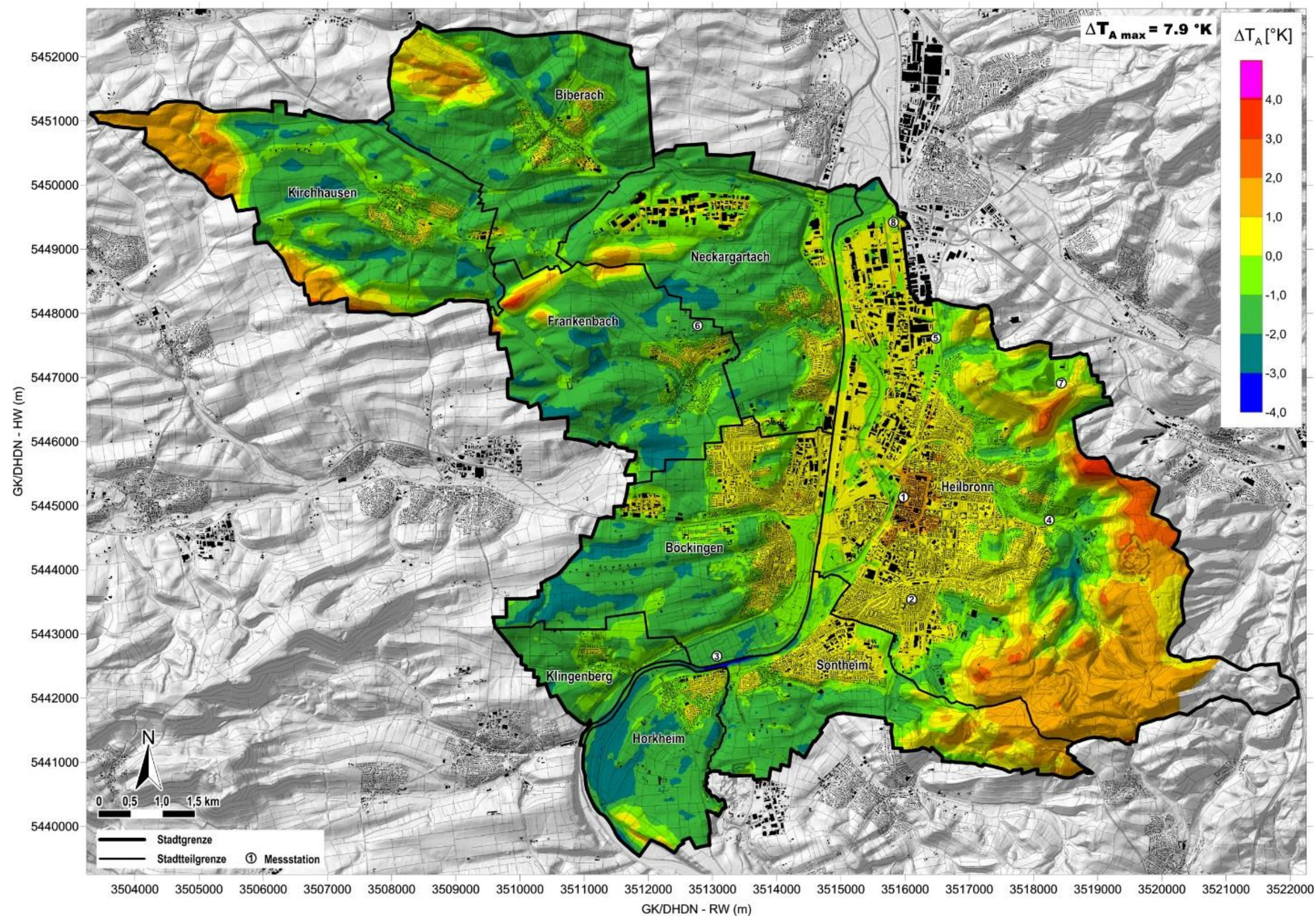


Abb. 6-35: Mittlere Anomalie der Lufttemperaturverteilung in 2 m ü. Gr. in der 2. Nachthälfte austauscharmer Strahlungstage in Heilbronn, bezogen auf eine durchschnittliche Gebietsmitteltemperatur von 20,9°C (Quelle: Kartengrundlage aus RK10, DGM10 ©Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg www.lgl-bw.de, Az.: 2851.9-1/19).

Am auffälligsten sind die **Wälder**, die in weiten Teilen im Vergleich zu den anderen Gebieten der Stadt gegenüber der ersten Nachthälfte eine noch stärkere positive Anomalie um weitere +1 K bis +2 K erfahren, da in ihrem Stammraum weiterhin keine Abkühlung stattfindet, während das Freiland weiterhin auskühlt. Dieses ist besonders deutlich an den südöstlichen Wäldern in Kuppenlage zu erkennen. Die Wälder stellen damit in der zweiten Nachthälfte die wärmsten Gebiete im Stadtgebiet dar. Bezogen auf den kältesten Punkt in der Horkheimer Neckaraue steigt damit der maximale Lufttemperaturkontrast im Heilbronner Stadtgebiet auf 7,9 K.

Die Wälder sind in der zweiten Nachthälfte daher i. d. R. auch wärmer als die bebauten Gebiete außerhalb der **Innenstadt**, welche weiterhin eine deutliche **Wärmeinsel** darstellt. Die maximale innerstädtische Wärmeinsel ist jedoch im Vergleich zur ersten Nachthälfte um ca. 2 K schwächer ausgeprägt und beträgt im Kontrast zum kältesten Punkt in der Horkheimer Neckaraue maximal nur noch ca. 4 K.

Eine weitere auffällige Änderung ist mit Ausnahme der zuvor beschriebenen Innenstadt die nun schwächere Überwärmung aller **bebauten Gebiete** einschließlich Gewerbegebieten. Diese Gebiete kühlen relativ schnell aus und nähern sich damit dem Temperaturniveau des Freilandes, in dem die Auskühlung ihr Maximum bereits erreicht hat. Insbesondere an den Bebauungsrandern ist ein „Ausfransen“ der Wärmezonen zu beobachten, in denen fast das Temperaturniveau des Freilandes erreicht wird. Besonders deutlich ist der Prozess in Biberach, Kirchhausen, Horkheim und dem Gewerbegebiet Neckargartach zu erkennen.

In den unteren Hanglagen der östlichen **Weinberge** hat ebenfalls eine relativ starke Abkühlung stattgefunden. Zusammen mit der Abkühlung der Randbebauung entstehen somit Zonen mit relativ kühler Luft, die an einigen Stellen als „**Kühlfinger**“ einige hundert Meter in die Bebauung hineinragen, was auf einen Zufluss von Kaltluft hindeuten könnte. Als Beispiel sind der Bereich um den Hauptfriedhof, der Bereich um den Landwehrgraben in Sontheim oder der westliche Talaustritt zwischen Stiftsberg und Wartberg zu nennen. Ob diese Kühlfinger zu einer Abkühlung größerer Stadtgebietsbereiche beitragen können, erscheint anhand dieser Daten zunächst fraglich, da hierzu erfahrungsgemäß erstens mehrere „Kaltluftfinger“ erforderlich wären, die zweitens eine wesentlich größere Eindringtiefe in die Bebauung aufweisen müssten. Diesen Hinweisen wird im nachfolgenden Abschnitt zu den Kaltluftprozessen nachgegangen.

Im **Freilandbereich** der westlichen Hochflächen hingegen ist keine Ortsverlagerung im Abkühlungsverhalten feststellbar. Die Abkühlungseffekte sind im Vergleich zur ersten Nachthälfte ortsfest, sodass in den lokalen Senken der Seitentäler und Mulden zwar eine weitere Abkühlung auftritt, ohne dass jedoch eine Verlagerung der kühleren Zonen zum Neckartal und damit zur Bebauung stattfindet.

6.2.3 Kaltluftdynamik /thermisch bedingte Windsysteme

In warmen und windschwachen sommerlichen Strahlungsnächten, in denen es insbesondere im überwärmten Bereich der dichten Bebauung zur Wärmebelastung kommen kann, sind jedwede Maßnahmen wünschenswert, die zu einer Abkühlung der Luft in der Bebauung beitragen können. Die weitläufigen **unversiegelten Flächen** auf den Höhenzügen und Hochflächen beiderseits des Neckars sind, wie die Temperaturkarten gezeigt haben, in weiten Teilen deutlich kühler als die die Heilbronner Bebauung. Sie stellen somit potenzielle **Kaltluftproduktionsflächen** dar. Da die kühle Luft dieser Freiflächen relativ schwer ist und damit dem am Boden lagert, ist davon auszugehen, dass sie im Bereich der Hanglagen der Geländeneigung folgend in die jeweiligen Talsohlen fließt, sich dort sammelt und anschließend zum Talausgang abfließt. Im Verlaufe der Strahlungsnacht wachsen die einzelnen Kaltluftströme soweit in die Höhe, dass sie über die jeweiligen Talschultern bzw. Kammlinien hinauswachsen und sich mit den Kaltluftströmen der Nebentäler vereinen. Daraus entstehen schließlich, in den Talverbänden der Neckarseitentäler, große Kaltluftströme, die in die tieferen Geländebereich (hier Neckartal) fließen und dabei in die Bebauung vordringen und somit zur Reduzierung der Lufttemperatur beitragen könnten. Voraussetzung wären hindernisarme Ventilationsbahnen, die vom kühleren Umland in die Bebauung reichen und somit der schweren, am Boden lagernden Kaltluft ein Vordringen in die Bebauung ermöglichen würden.

Diese Prozesse der Kaltluftbildung und des Kaltlufttransportes wurden hier mit dem numerischen Modell METRAS untersucht. Die Ergebnisse werden nachfolgend dargestellt. Bei der Interpretation der Daten ist zu berücksichtigen, dass die räumlichen Auflösungen der Kaltluftkarten und der Lufttemperaturkarte unterschiedlich sind. Die Temperaturkarten basieren auf Punktmessungen mit ca. 4 Meter Lagegenauigkeit und sind damit quasi flächenscharf, sodass die tatsächlichen Flächennutzungen und -grenzen sowie ihre Lufttemperaturwerte weitgehend lagegenau erfasst wurden. Bei der Kaltluftkarte ist die räumliche Auflösung des verwendeten Modells METRAS (siehe **Kap. 4.4.2**) modellbedingt bereits auf ein 50 Meter-Raster begrenzt. Die in dem Modell verwendeten Flächennutzungsdaten liegen sogar nur mit 100 m-Rastergenauigkeit vor. Da das Modell somit die lokalen Relief- und Flächennutzungsstrukturen nur relativ grob darstellen kann, entsteht ein gewisser Spielraum bei der Interpretation der Kaltluftdaten, da an manchen Stellen in der Karte die Daten nicht plausibel erscheinen können. In diesen Fällen wird der dargestellte Wert ignoriert und stattdessen aufgrund der Ortskenntnis richtig interpretiert.

Die Analyse der Kaltluftprozesse erfolgt unter der Annahme des Fehlens eines übergeordneten, regionalen Windes, um potenzielle Einflüsse etwaiger nicht-lokaler Strömungen bzw. Winde ausschließen zu können. Somit sind es ausschließlich die lokalen Klimafaktoren in Heilbronn und seiner weiteren Umgebung, welche Kaltluftbildung und -transport generieren.

In der **Abb. 6-36** werden die METRAS-Simulationsergebnisse für die Zeit von etwa 5 Stunden nach Sonnenuntergang (1 Uhr MEZ) gezeigt. Dargestellt sind die bodennahe Strömung in Form von Windvektoren und Windgeschwindigkeit sowie die Kaltluft-Volumenstromdichten in etwa 10 m Höhe. Bei der Interpretation ist zu berücksichtigen, dass das Modellgebiet zur Berechnung der Kaltluftprozesse ein weitläufiges Gebiet jenseits des dargestellten Kartenausschnittes einschließt (siehe **Kap. 4.4.2**), sodass bereits die Kaltluftsituation an den Kartenrändern vom weiteren, hier nicht dargestellten, Umland beeinflusst ist.

Zu dem dargestellten Zeitpunkt in der zweiten Nachthälfte hat die Kaltluftbildung bereits ihre größte Wirkung entfaltet, sodass sich die lokalen Kaltluftströme teilweise zu tal- oder **gebietsübergreifenden** Strömungen entwickelt haben, die wiederum luvseitig andere lokale Kaltluftströmungen beeinflussen oder überlagern. Die größten Kaltluftströme mit Fließgeschwindigkeiten $> 1,2$ m/s und Volumenströmen > 30 m³/(m s) sind im Sulmtal und in der „Fleiner-Untergruppenbacher Senke“ zu beobachten, die nach NW ins Neckartal fließen, sowie die nach Norden fließende Kaltluftströmung im südlichen Neckartal selbst. Auf den westlichen Anhöhen ist der nach Osten fließende Kaltluftstrom im Leimbachtal mit einer Fließgeschwindigkeit von 0,8 m/s bis 1,0 m/s und einem Volumenstrom von > 30 m³/(m s) mäßig stark ausgeprägt, wird jedoch an der Talverengung beim Hüttberg deutlich abgebremst und erreicht im weiteren Verlauf das Neckartal nur in abgeschwächter Form. Eine weitere markante Kaltluftströmung wird auf der Nordabdachung des Heilbronner Beckens beobachtet, wo aus den Bereichen um Untereisesheim und Biberach ein flächenhafter Kaltluftabfluss Richtung Süden in das Neckarbecken mit Fließgeschwindigkeit von 1,0 m/s bis 2,0 m/s und Volumenstrom von > 30 m³/(m s) stattfindet. Diese Kaltluft strömt den mächtigeren Kaltluftflüssen aus dem südlichen Gebietsbereich entgegen und führt zu deren Abschwächung auf Strömungsgeschwindigkeiten von deutlich < 1 m/s. Im überbauten nördlichen Bereich Heilbronns kommt daher die Kaltluftströmung fast zum Erliegen, weil die Bebauung als Strömungshindernis die Strömung weiter abbremst.

Für eine detailliertere Analyse der Wirkung der Kaltluftflüsse auf die **Bebauung** muss das Strömungsregime in einer höheren räumlichen Auflösung betrachtet werden, da insbesondere in Hanglagen, die im Windschatten der größeren Kaltluftflüsse liegen, lokal eigenständige Strömungsmuster auftreten, die von demjenigen der größeren Kaltluftflüsse abweichen. Hiervon betroffen ist insbesondere der gesamte halbkreisförmige Höhenzug östlich des Neckars, der die Stadt vom Stiftsberg im Norden über die Ostflanke bis zum Hagelsberg/Wolfsberg im Süden umschließt. Ein Teil der auf der Leeseite des Höhenzuges gebildeten Kaltluft fließt vom südlich gelegenen Schweinsberg kommend nach NW in Richtung Stahlbühlwiesen und Cäcilienbrunnen bis zur Stuttgarter Straße und erreicht somit bereits den Bebauungsrand. Der weitaus größte Teil des Kaltluftabflusses vom Schweinsberg fließt jedoch über das Köpfertal in das Pfühlbachtal, von wo aus sich die Kaltluft über die S-Bahntrasse nach NW ausbreitet.

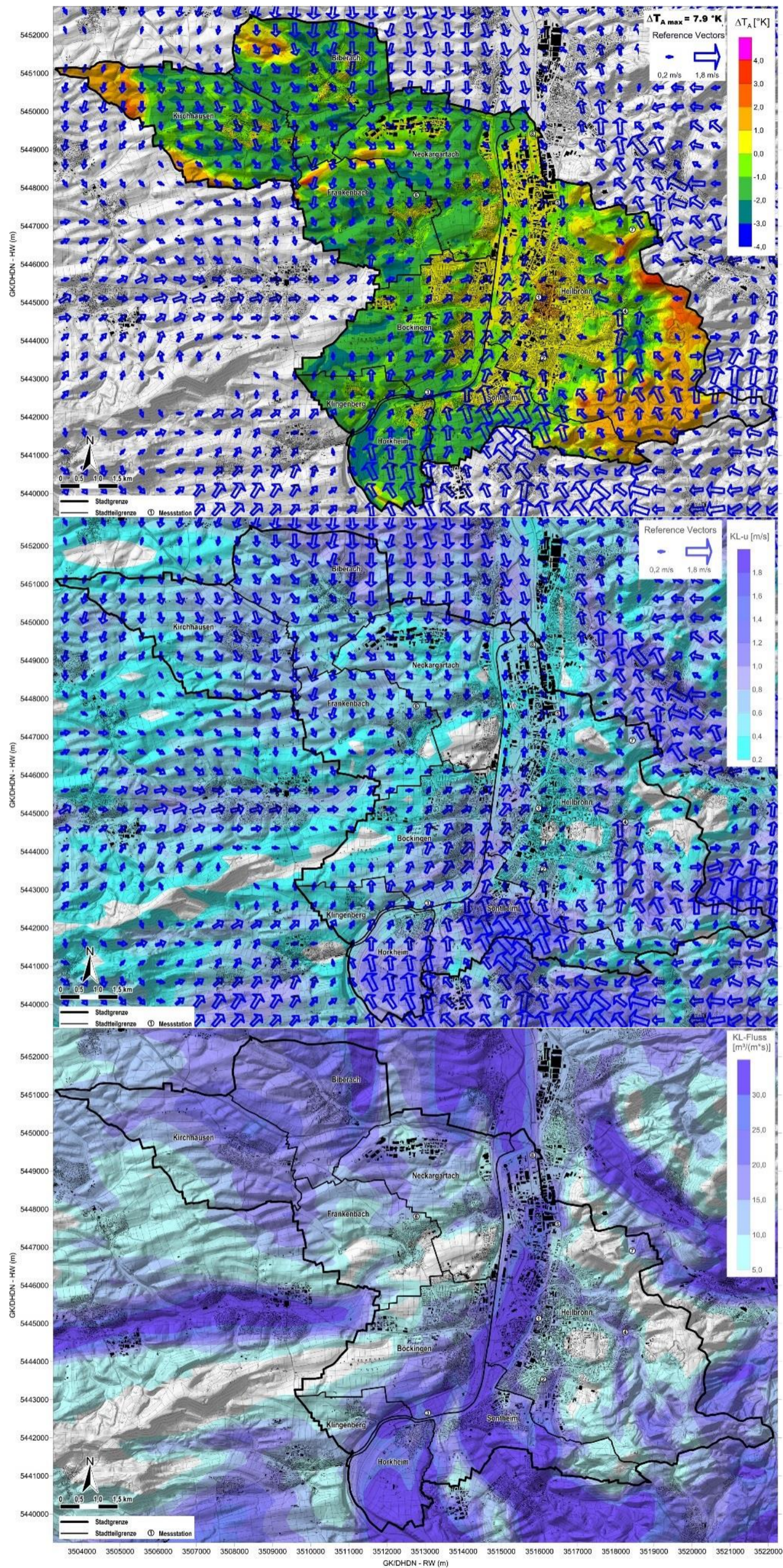


Abb. 6-36: Kaltluftfließrichtung und -geschwindigkeit (oben, Mitte) und Kaltluftvolumenstrom (unten) nach 5 Stunden Kaltluftproduktion um 1 Uhr MEZ einer austauscharmen Strahlungsnacht
 (Quelle: Kartengrundlage aus RK10, DGM10 ©Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg www.lgl-bw.de, Az.: 2851.9-1/19).

Ein Eindringen der Kaltluft nach Westen in den Innenstadtbereich findet jedoch mangels geeigneter Ventilationsbahnen nicht statt. Direkte, auf die Bebauung gerichtete Kaltluftflüsse von den örtlichen **Weinhängen** wurden nicht festgestellt. Auch stichpunktartige Windmessungen in Strahlungsnächten an mehreren Orten mit vermuteten Kaltluftabflüssen von den Weinberghängen ergaben diesbezüglich keine Hinweise. Ursache dürften die nur relativ schwache nächtliche Abkühlung der am Tage aufgewärmten warmen Weinberge und eine damit verbundene relativ schwache nächtliche Kaltluftbildung sein, die zudem durch den intensiveren Kaltluftfluss aus dem Köpfer- bzw. Pfühlbachtal überlagert wird. Dessen ungeachtet fehlen geeignete **Ventilationsbahnen**, welche von den Hangfußbereichen der Weinberge weit in die Bebauung hineinreichen und so ein Vordringen der Kaltluft ermöglichen würden. Nach MATZARAKIS & MAYER (1992) und MAYER et al. (1994) sollten effiziente Ventilationsbahnen eine Länge ≥ 1.000 m und eine Breite ≥ 50 m bei einer aerodynamischen Oberflächenrauigkeit $z_0 \leq 0,5$ m (entsprechend einer maximalen Hindernishöhe von 3,8 m gemäß MONTEITH (1978)) aufweisen. Mit Ausnahme des Landwehrgrabens (s. u.) sind derartige Ventilationsbahnen zumindest am östlichen Stadtrand im Hangfußbereich der östlichen Höhenzüge nicht vorhanden. Beim Landwehrgraben ist ein Vordringen der Kaltluft in die Bebauung gut zu beobachten. Allerdings wird dieser Strom größtenteils aus dem überörtlichen Kaltluftstrom aus der „Fleiner-Untergruppenbacher Senke“ gespeist, der die östlichen Höhenzüge an der Westflanke des Hagelsberg umströmt. Dieser mächtige Kaltluftstrom bewirkt auch eine effiziente Durchlüftung des Stadtteils Sontheim, während westlich davon der südliche Kaltluftstrom des Neckartals den Stadtteil Horkheim gut durchlüftet. Beide Kaltluftströme fließen über die Neckarauen nordwärts, wobei der Stadtteil Klingenberg aufgrund seiner Lage oberhalb des westlichen Neckarprallhangs nur abgeschwächt erreicht wird, im Gegensatz zu den Bereichen Böckingens, die am flachen Hangfuß liegen. Im weiteren Verlauf kann der Kaltluftstrom bis in den südlichen Bereich der Neckarinsel vordringen, allerdings mit geringer Geschwindigkeit. Ein Eindringen in die östliche Kernbebauung ist nur in geringem Maße mit einer sehr schwachen Strömung $< 0,4$ m/s zu beobachten, die nach ca. 100 m zum Erliegen kommt und somit weite Teile der Kernstadt nicht erreicht.

Von den **westlichen Hochflächen** westlich von Böckingen erfolgt die Zufuhr einer relativ schwachen Kaltluftströmung, die auch die höher gelegenen Baugebiete von Böckingen durchlüftet. Die Strömung dringt jedoch nicht in die Heilbronner Kernbebauung vor, sondern wird noch vor Erreichen des Neckarufers durch die dortige große Kaltluftsüdströmung erfasst und nach Norden verdriftet.

Die weitläufigen, südwärts gerichteten Kaltluftströme der **nordwestlichen und nördlichen Hochflächen** bewirken eine mäßige Durchlüftung der relativ aufgelockert bebauten Stadteile Biberach, Kirchhausen und Frankenbach. Im weiteren Verlauf kommen diese Kaltluftflüsse jedoch im Bereich des Leinbachtals zum Erliegen, da sie durch die aus Süden kommenden Kaltluftflüsse neutralisiert werden, wie insbesondere im Hafengebiete gut zu erkennen ist.

6.2.4 Human-Bioklima

Dem thermischen Aspekt des Stadtklimas gilt im Sinne der Stadtbewohner ein herausragendes Interesse, da der Mensch als homoiothermes Wesen nur in engen Grenzen zur Thermoregulation fähig ist und deshalb möglichst ausgeglichene Strahlungs- und Lufttemperaturverhältnisse in seiner Umgebung benötigt. Der menschliche Wärmekomfort wird im Wesentlichen durch Sonnenexposition, langwellige Strahlungsflüsse, Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Wind, aber auch durch die Art der Bekleidung bestimmt. Am Beispiel **Heißer Tage** ($t_{Lmax} \geq 30 \text{ °C}$) soll der thermische Komfort bzw. Diskomfort analysiert werden. Nachfolgend werden diejenigen 27 Tage betrachtet, an denen an allen Stationen gleichzeitig die Bedingungen eines Heißen Tages erfüllt waren. Davon waren 21 Tage bzw. 78 % Strahlungstage.

Einen statistischen Überblick über die klimatische Situation an heißen Tagen gibt **Tab. 6-8**.

Tab. 6-8: Statistische Kennwerte von Klimaparametern für 27 heiße Tage in Heilbronn im Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Daten: 648 Stundenmittelwerte).

		St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	St. 6	St. 7	St. 8
tL [°C]	Mittel	27,5	26,9	25,7	25,4	26,3	26,2	26,0	26,3
	Min	20,3	19,6	17,7	17,2	18,4	17,7	18,8	18,2
	Max	34,5	34,0	33,4	33,5	33,8	34,0	33,8	34,4
rF [%]	Mittel	49,3	51,2	58,2	57,8	50,0	60,4	57,1	58,5
	Min	28,1	29,2	31,6	30,2	24,4	36,0	33,3	34,4
	Max	74,6	75,8	85,5	87,5	79,2	87,2	80,9	83,9
e	Mittel	17,0	17,0	17,8	17,3	15,6	19,3	18,1	18,8
	Min	15,1	15,3	16,0	15,4	12,6	17,6	17,3	17,6
	Max	18,0	17,9	19,9	19,5	17,3	21,1	19,1	19,9
u [m/s]	Mittel	0,7	0,6	1,0	0,7	1,0	1,0	0,9	1,4
	Max	1,3	1,3	2,5	1,8	2,3	3,1	1,3	1,7
PET [°C]	Mittel	30,4 warm	29,5 warm	27,7 leicht warm	28,6 leicht warm	28,5 leicht warm	28,8 leicht warm	28,2 leicht warm	27,6 leicht warm
	Min	17,7 leicht kühl	17,3 leicht kühl	14,2 leicht kühl	14,7 leicht kühl	14,7 leicht kühl	14,6 leicht kühl	15,2 leicht kühl	13,2 leicht kühl
	Max	45,1 sehr heiß	44,7 sehr heiß	42,6 sehr heiß	43,4 sehr heiß	43,8 sehr heiß	44,2 sehr heiß	44,0 sehr heiß	44,0 sehr heiß
	Heiße +sehr Heiße Stunden	34,9 %	31,0 %	31,8 %	36,1 %	33,8 %	37,5 %	34,1 %	33,2 %

Bereits bei den Tagesmitteltemperaturen beträgt die interstationäre Bandbreite 2,1 K. Erwartungsgemäß sind die Innenstadt (St. 1) mit 27,5 °C sowie das Wohngebiet (St. 2) mit 26,9 °C am wärmsten, gefolgt vom Gewerbegebiet (St. 5) mit 26,3 °C. Die Innenstadt und das Wohngebiet

weisen auch die höchsten Minima auf, wobei in der Innenstadt mit 20,3 °C in allen Nächten das Kriterium der Tropennacht erfüllt ist, bei der die Lufttemperatur nicht unter 20 °C absinkt. Die drei Standorte Innenstadt, Wohngebiet und Gewerbegebiet sind mit einer mittleren Luftfeuchtigkeit zwischen 49 % und 51 % auch die trockensten Standorte. Ferner ist der Austausch im Vergleich zu den anderen Standorten äußerst gering. Somit ist im Bereich der Bebauung aufgrund hoher Sonneneinstrahlung, hoher Lufttemperaturen, geringer Verdunstung und schwacher Windverhältnisse mit hoher Wärmebelastung zu rechnen. Wie die PET-Temperaturen und die dazugehörigen Empfindungsstufen zeigen, sind bereits im Tagesmittel die Innenstadt (St. 1) und das Wohngebiet (St. 2) mit 30,4 °C PET und 29,5 °C PET als „warm“ einzustufen, während die übrigen Stationen mit PETs zwischen 27,6 °C und 28,8 °C „leicht warm“ sind. Die während der Nachstunden auftretenden Minima klassifizieren alle Standorte als „leicht kühl“, während die Maxima für die Nachmittagsstunden alle Standorte als „sehr heiß“ ausweisen. Zwischen diesen Extrema ist jedoch die Auftrittshäufigkeit der Belastungsstufen im Tagesverlauf von Interesse. Daher sind die Tagesgänge der PET sowie vergleichsweise auch der Lufttemperatur in **Abb. 6-37** dargestellt.

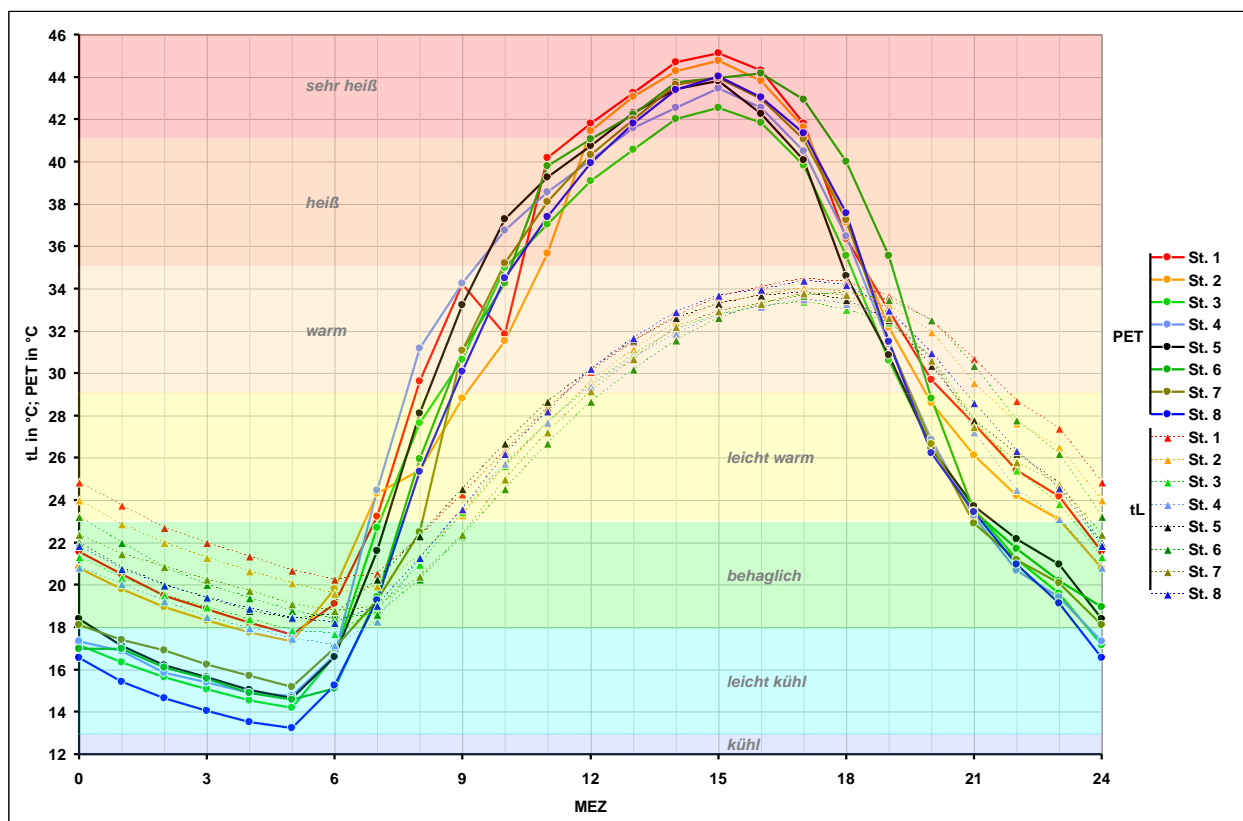


Abb. 6-37: Mittlerer Tagesgang Lufttemperatur tL und der physiologischen Äquivalenttemperatur PET an 27 heißen Tagen ($tL_{max} \geq 30^\circ \text{C}$) in Heilbronn im Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Daten: 648 Stundenmittelwerte).

Die bei manchen Stationen zu erkennenden Knicke in den PET-Tagesgängen sind auf lokale Abschattungseffekte durch Messmasten oder umliegende Bäume oder Gebäude zurückzuführen. Ferner ist zu erkennen, dass an allen Stationen erstens die Amplitude der PET wesentlich höher

als Lufttemperaturamplitude ist und dass zweitens das Tagesmaximum der Lufttemperatur ca. 2 Stunden später als dasjenige der PET einsetzt. Ursache ist verzögerte Wärmeabgabe der Oberflächen, die sich zunächst durch die Sonneneinstrahlung aufheizen müssen, während die Wirkung der hohen Sonneneinstrahlung auf entsprechend exponierte Personen unmittelbar einsetzt. Am Nachmittag und in der Nacht weisen die Innenstadt (St. 1) und das Wohngebiet (St. 2) die höchsten PET-Werte auf. Alle anderen Stationen weisen niedrigere PMV-Werte auf. Die interstationären Unterschiede sind nachmittags (15 Uhr) jedoch mit 42,6 °C PET bis 45,1 °C PET relativ gering, da dieser Wertebereich dem „sehr heißen“ Empfinden zuzuordnen ist und somit Hitze stress darstellt. Auffällig ist weiterhin, dass im Anschluss bis zum Sonnenuntergang um 19 Uhr alle Stationen gleichermaßen schnell abkühlen. In der Zeit ab 19 Uhr bis zum Zeitpunkt kurz nach Sonnenaufgang (6 Uhr) verlangsamt sich jedoch die Abkühlung in den beiden bebauten Bereichen Innenstadt (St. 1) und Wohngebiet (St. 2) deutlich. Sie gehen bis zum Morgen auf ca. 18 °C PET zurück und bleiben damit während der ganzen Nacht im „behaglichen“ Komfortbereich, der einen unbeschwerten Aufenthalt im Freien ermöglicht. Bei den übrigen Stationen hält dieser Komfortbereich bis 23 Uhr oder 24 Uhr an, die anschließende weitere Abkühlung führt jedoch zu einem „leicht kühlen“ Empfinden. Dieses trifft unter anderem auch für den Pfühlpark (St. 4) zu, woraus eine gewisse Bedeutung der innerstädtischen Grünflächen abgeleitet werden kann, wenn die Möglichkeit eines Transports der kühleren Luft in die angrenzende, überwärmte Bebauung besteht. Diese ist insofern nützlich, da trotz des nächtlichen „behaglichen“ Niveaus im Freien die Wohngebäude deutlich aufgeheizt sind, sodass die Wärmebelastung *in* den Gebäuden sehr hoch und damit die Erholfunktion der Nachtruhe deutlich eingeschränkt sein kann. Die Zufuhr von Kaltluft aus unversiegelten Flächen kann dem im gewissen Maße entgegenwirken. Zu den Flächen mit der geringsten Wärmebelastung gehören die Neckaraue (St. 3) (tagsüber) und das Klärwerk (St. 8) (nachts), gefolgt von der Agrarstation (St. 6).

Eine Zusammenfassung der thermophysiologischen Charakteristika Stationen während Heißer Tage liefert die Verteilung der mittleren Andauer der einzelnen thermischen Behaglichkeitsstufen während der Tag- und Nachthälften in **Abb. 6-38**.

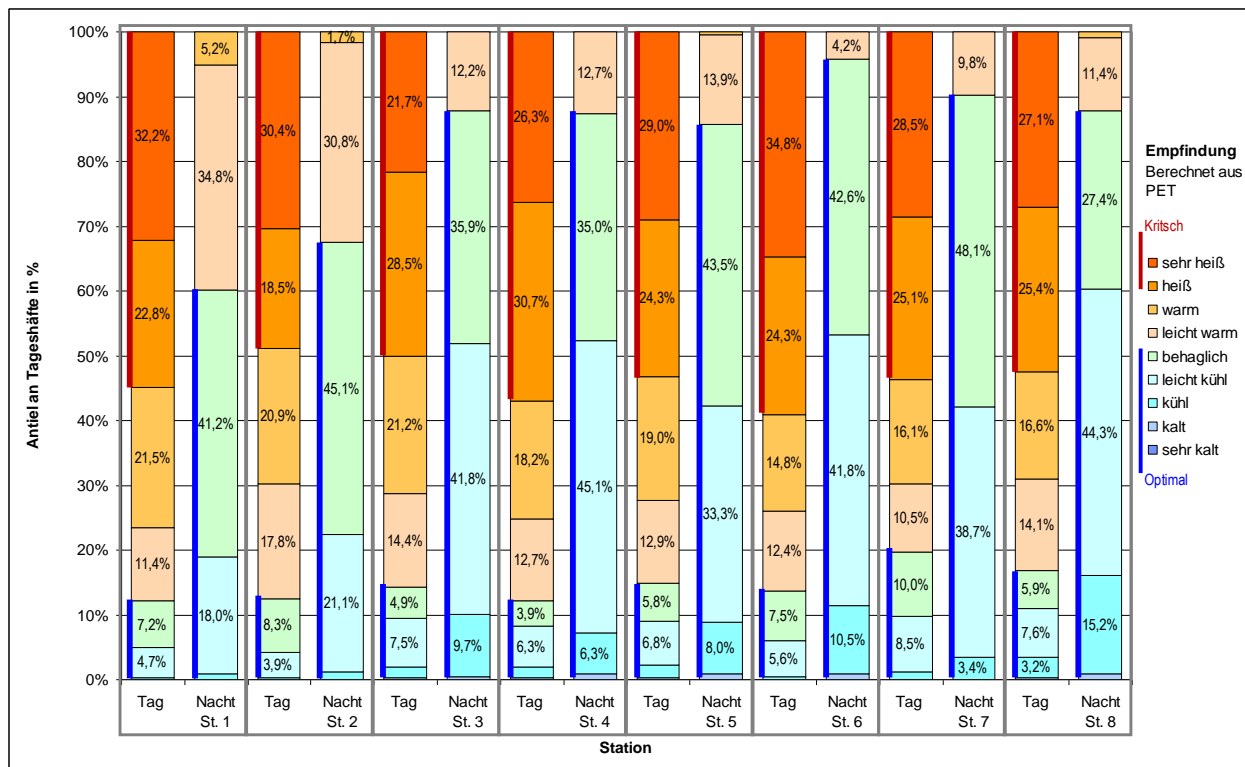


Abb. 6-38: Mittlere tägliche Dauer thermischen Empfindens an 27 Heißen Tagen (tLmax. $\geq 30^\circ\text{C}$) in Heilbronn für den Messzeitraum 01.04.2015 – 31.03.2016 (Daten: 648 Stundenmittelwerte).

Als extremster Standort sowohl hinsichtlich des Hitzestresses am Tage als auch der Abkühlung in der Nacht ist die Landwirtschaftsfläche (St. 6) einzustufen. Über ein Drittel (34,8 %) der Tagstunden sind „sehr heiß“ und 59 % „heiß + sehr heiß“ und damit gesundheitlich kritisch. Ursache ist die allzeitige Sonnenexposition bei fehlender Verschattung auf der weitläufigen Agrarfläche. Diese Art der Flächennutzung führt nachts ebenfalls zu ungehinderter Ausstrahlung und damit Abkühlung, sodass 95 % der Nachtstunden dem Komfortbereich zwischen „behaftlich“ und „kalt“ zuzuordnen sind. An zweiter Stelle der Hitze belasteten Stationen folgen die **Innenstadt** (St. 1) und der Pfühlpark (St. 4). Auch in der Innenstadt sind fast zwei Drittel (32,2 %) der Tagstunden als „sehr heiß“ einzustufen (Pfühlpark 26,3 %). Im Pfühlpark ist jedoch der Anteil der „heißen“ Stunden mit ca. 31 % höher als in der Innenstadt (ca. 23 %). Die Anzahl gesundheitlich kritischer Situationen beläuft sich in der **Innenstadt** auf 55 % und im Pfühlpark auf ca. 57 % der Tagstunden. Nachts weist die Innenstadt mit ca. 40 % den im stationären Vergleich höchsten Anteil an „leicht warmen“ und „warmen“ Bedingungen auf, während der Anteil der unkritischen Komfortstufen von „behaftlich“ bis „kalt“ mit 60 % am niedrigsten ist (Pfühlpark 87 %). Ein vergleichbares Verhalten in der Nacht zeigt das **Wohngebiet** (St. 2) mit 33 % „leicht warmen“ bis „warmen“ und 67 % „behaftlichen“ bis kühlen Bedingungen. Tagsüber ist Hitzebelastung etwas geringer als in der Innenstadt mit ca. 30 % „sehr heißen“ und 49 % „heißen + sehr heißen“ Bedingungen. Die übrigen Stationen Gewerbegebiet (St. 5), Wartberg (St. 7), Neckaraue (St. 3) und Klärwerk (St.

8) zeigen ein weitgehend identisches Verhalten und liegen im interstationären Mittelfeld. Der Anteil der „sehr heißen“ Stunden liegt zwischen 24 % und 28 % und bei den „heißen + sehr heißen“ Stunden zwischen 50 % und 54 %. Der nächtliche Komfortbereich zwischen „behaglich“ bis „kalt“ hat einen Anteil von 86 % bis 90 %

Abschließend soll die Hitzebelastung während einer **Hitzewelle** näher betrachtet werden, die aus bioklimatischer Sicht besonders kritisch ist und den „Worst Case“ der Hitzebelastung darstellt. Während im Nachgang einzelner Heißer Tage die bioklimatische Hitzebelastung schnell wieder abklingt, führt eine Hitzewelle, d. h. die Aneinanderreihung mehrerer heißer Tage, zur fortlaufenden Verstärkung der Hitzebelastung, die insbesondere auch die **Gebäude** betrifft. Diese heizen sich über mehrere Tage soweit auf, dass in ihnen selbst nachts keine Abkühlung mehr möglich ist.

Während des Messzeitraumes wurden drei Hitzewellen beobachtet.

- 1. – 7. Juli (7 Tage Andauer)
- 3. – 13 August (11 Tage Andauer))
- 27. – 31. August (5 Tage Andauer))

Anhand der Hitzewelle vom 1. bis zum 7 Juli soll der zeitliche Verlauf ausgewählter Klimaparameter untersucht werden (**Abb. 6-39**).

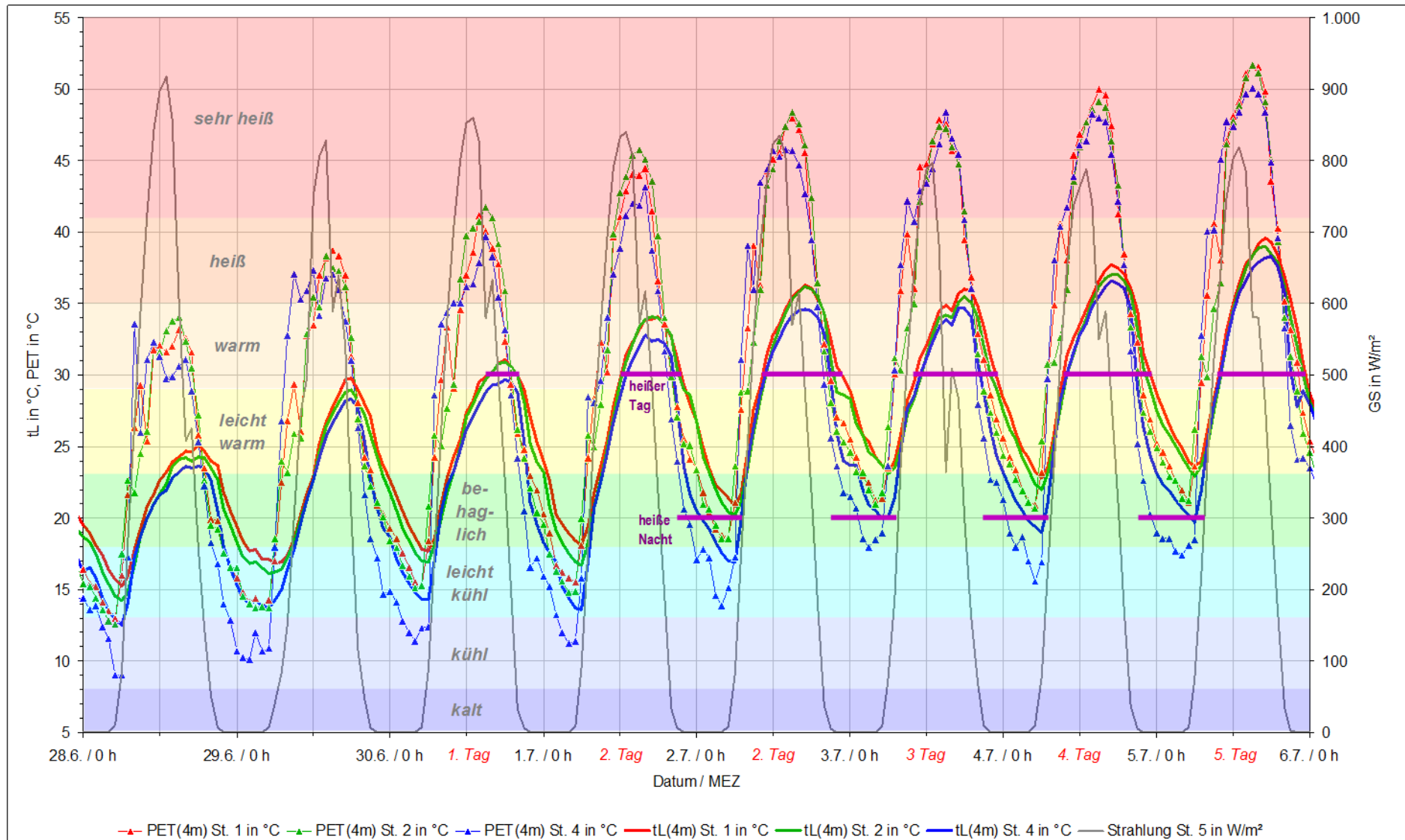


Abb. 6-39: Zeitlicher Verlauf der Lufttemperatur, der PET und der Globalstrahlung für ausgewählte Stationen während der einwöchigen der Hitze-welle vom 28.06.-06.07.2016 in Heilbronn.

Bereits zwei Tage vor dem Auftreten der heißen Tage herrschen klare, sommerliche Witterungsbedingungen. Die Sonne strahlt ab dem 28.06. an allen Tagen mit mindestens 780 W/m^2 und Maximalwerten von 918 W/m^2 , sodass sich die Oberflächen über die nächsten Tage aufheizen können. Dabei kommt es zu einer Kaskade der Aufheizung: Den Oberflächen, insbesondere der Bebauung, wird tagsüber mehr Energie zugeführt, als diese nachts wieder abgegeben werden können, da sie die Wärme speichern und nur zeitversetzt wieder abgeben. Dadurch wächst der Wärmeenergieüberschuss täglich und die Lufttemperatur steigt an.

In der Aufbauphase der Hitzewelle am Vor-Vortag (28.6.) werden im Pfühlpark (St. 4), im Wohngebiet (St. 2) und in der Innenstadt (St. 1) sommerliche Tageshöchsttemperaturen zwischen 23 °C und 25 °C beobachtet. Die PET-Werte betragen zwischen 29 °C und 34 °C und zeigen für alle Standorte das noch moderate „warme“ Empfinden an. Nachts herrschen im Pfühlpark „kühle“ und in der Bebauung immerhin noch „kühle“ Bedingungen vor. Am nächsten Tag (29.6.) steigen die Tageshöchsttemperaturen bereits auf Werte zwischen 28 °C und knapp unter 30 °C , sodass es sich um echte „Sommertage“ ($t_{Lmax} \geq 25 \text{ °C}$) handelt. Mit PET-Werten zwischen 35 °C und 38 °C werden an allen Stationen bereits „heiße“ Bedingungen erreicht. Weiterhin ist nachts eine Abkühlung auf mindestens „leicht kühle“ Bedingungen möglich. Am Folgetag (30.6.) wird an in der Innenstadt (St. 1) und im Wohngebiet (St. 2) der erste „Heiße Tag“ registriert, bei dem für eine Dauer von fünf Stunden 30 °C Lufttemperatur überschritten und kurzzeitig „sehr heiße Bedingungen“ ($PET \geq 41 \text{ °C}$) erreicht werden. Im durchgrünten Pfühlpark (St. 4) bleibt die Lufttemperatur an diesem Tag noch unterhalb 30 °C und die Wärmebelastung bleibt auf der „heißen Stufe“. Erst am zweiten Hitzetag (1.7.) herrschen an allen drei Standorten „sehr heiße“ Bedingungen. Ab diesem Tag werden in der Innenstadt (St. 1) und im Wohngebiet (St. 2) bis zum Ende der Hitzewelle zusätzlich „heiße Nächte“ bzw. Tropennächte beobachtet, bei den die Luft nicht unter 20 °C abkühlt. Die thermischen Bedingungen im freien sind während der ganzen Nacht „behaglich“. Im Pfühlpark trifft das nur für vereinzelte Nächte (2. - 3.7.) zu. Im Verlauf der sechstägigen Hitzewelle steigt die tägliche Anzahl der Stunden mit $t_L \geq 30 \text{ °C}$ stetig an und beträgt am 6. Hitzetag (5.7.) in der Innenstadt (St. 1) 14 Stunden, im Wohngebiet (St. 2) 13 Stunden sowie im Pfühlpark (St. 4) 12 Stunden. Auch das nächtliche Lufttemperaturminimum steigt von Tag zu Tag weiter an und erreicht am 6. Hitzetag (5.7.) in der Innenstadt und im Wohngebiet Werte von 23 °C . Eine Abkühlung der Gebäude damit kaum noch möglich, sodass die Schlaferholung stark beeinträchtigt wird.

6.3 Zusammenfassende Bewertung der Messergebnisse

Zur objektiven Bewertung stadtklimatischer Verhältnisse liegen bis dato keine einheitlichen Verfahren vor (VDI 2004). In der vorliegenden Fachliteratur, z. B. der VDI-Richtlinie 3787 Bl. 2 (VDI 2008), werden zwar eine Vielzahl bewertender Indizes vorgeschlagen, für deren Anwendung die auftragsgemäße Datengrundlage jedoch nicht ausreichend ist. Insbesondere müssten spezielle Wärmestrahlungsmessungen durchgeführt werden, die den hiesigen Kostenrahmen um ein

mehrfaches überschreiten würden und dennoch methodisch bedingt keine flächendeckenden Informationen liefern. Die Bewertung der klimatischen und lufthygienischen Situation im Stadtgebiet von Heilbronn basiert daher auf eigens entwickelten und speziell auf die vorliegende Datenstruktur dieser Stadtklimaanalyse abgestimmten Kriterien.

Bezüglich der klimatischen Situation ist zu beachten, dass die Bewertung auf die jeweiligen Stationsstandorte zugeschnitten ist. Eine Übertragbarkeit dieser punktuell erhobenen Daten auf andere Standorte innerhalb des Stadtgebietes ist, insbesondere für die Austauschverhältnisse sowie die human-bioklimatischen Verhältnisse, aufgrund der starken Abhängigkeit der entsprechenden Größen von den lokalen Umgebungsbedingungen und deren Einfluss auf die Ausprägung des Mikroklimas, nicht oder nur begrenzt möglich. Für die thermischen Verhältnisse hingegen ist eine Übertragbarkeit anhand der durchgeführten Messfahrten gegeben.

Im Folgenden werden die in den **Kap. 6.1** und **Kap. 6.2** dargestellten Ergebnisse der stationären und mobilen klimatologischen Untersuchungen sowie der Berechnungen im Stadtgebiet von Heilbronn zusammenfassend bewertet.

Zur Bewertung der klimatischen Situation im Stadtgebiet von Heilbronn anhand der Ergebnisse des stationären Messnetzes wurde eine dreistufige Skala festgelegt, deren Klassengrenzen auf den 33,3- und 66,6-Perzentilen der jeweiligen klimatologischen Kenngröße beruhen. **Tab. 6-9** gibt einen Überblick der zur Beurteilung der thermischen, hygrischen, austauschrelevanten und human-biometeorologischen Verhältnisse herangezogenen Kriterien sowie den auf Basis der Stationsdaten ermittelten Bewertungsgrenzen zur Einteilung von drei Belastungsstufen (gering, mittel, hoch). Aufgrund des relativen Vergleichs der acht Klimastationen werden die absoluten Ober- und Untergrenzen der dreistufigen Skala durch die im Stationskollektiv aufgetretenen Minimum- bzw. Maximum Werte der jeweiligen Größe gebildet.

Zur Beurteilung der thermischen Verhältnisse an den acht Standorten wurden die Lufttemperatur und das Auftreten der verschiedenen klimatologischen Ereignistage verwendet. Die human-biometeorologischen Verhältnisse im Stadtgebiet von Heilbronn wurden anhand der mit Hilfe des numerischen Modells RayMan Pro ermittelten PET-Werte beurteilt, wobei lediglich die relative Häufigkeit des Auftretens von Situationen mit starker bis extremer Wärmebelastung ($PET > 35$ °C) und starker bis extremer Kältebelastung ($PET < 8$ °C) während der Sommermonate Juni bis August Berücksichtigung fanden. Zur Feuchtebewertung wurde die relative Luftfeuchtigkeit herangezogen. Die Bewertung der Austauschverhältnisse erfolgte anhand der mittleren Windgeschwindigkeiten, dem Auftreten und der maximalen Andauer von Schwachwindepisoden sowie der Calmenhäufigkeiten.

Tab. 6-9: Bewertungsgrenzen verschiedener klimatologischer Kennwerte basierend auf den 33,3- und 66,6-Perzentilen der jeweiligen Größen an den 8 Messstationen in Heilbronn.

Größe	Maßeinheit	Belastung					
		gering		mittel		hoch	
		von	bis	von	bis	von	bis
Lufttemperatur							
Jahr							
Jahresmittel	C°	11,6	12,1	12,1	12,6	12,6	13,1
Abs. Min.	C°	-9,8	-8,8	-8,8	-7,7	-7,7	-6,7
Abs. Max.	C°	38,8	39,1	39,1	39,3	39,3	39,6
Strahlungstage							
Mittelwert	C°	16,8	17,6	17,6	18,3	18,3	19,1
Abs. Min.	C°	-3,2	-2,4	-2,4	-1,5	-1,5	-0,7
Abs. Max.	C°	38,8	39,1	39,1	39,3	39,3	39,6
Ereignistage							
Sommertage	n	56,0	60,0	60,0	64,0	64,0	68,0
Heiße Tage	n	27,0	29,0	29,0	31,0	31,0	33,0
Grillpartytage	n	59,0	66,7	66,7	74,3	74,3	82,0
Heiße Nächte	n	33,0	39,7	39,7	46,3	46,3	53,0
Eistage	n	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Frosttage	n	20,0	29,7	29,7	39,3	39,3	49,0
Heiztage	n	220,0	231,3	231,3	242,7	242,7	254,0
Luftfeuchtigkeit							
Jahr							
Jahresmittel	%	79,4	76,1	76,1	72,7	72,7	69,3
Abs. Min.	%	22,0	18,5	18,5	15,0	15,0	11,5
Strahlungstage							
Mittelwert	%	67,3	63,7	63,7	60,1	60,1	56,5
Abs. Min.	%	22,0	18,5	18,5	15,0	15,0	11,5
Windgeschwindigkeit							
Jahr							
Jahresmittel	m/s	1,6	1,3	1,3	1,0	1,0	0,7
Calmenhäufigkeit	%	0,4	13,3	13,3	26,3	26,3	39,3
Abs. Max.	m/s	10,4	8,3	8,3	6,2	6,2	4,1
Schwachwindhäufigkeit	%	60,6	70,1	70,1	79,6	79,6	89,1
max. Dauer Schwachwindepisode	h	102,0	192,3	192,3	282,7	282,7	373,0
Strahlungstage							
Mittelwert	m/s	0,9	0,8	0,8	0,6	0,6	0,5
Abs. Max.	m/s	5,6	4,5	4,5	3,3	3,3	2,2
Calmenhäufigkeit	%	0,7	19,2	19,2	37,6	37,6	56,0
Bioklima im Sommer (Jun.-Aug.)							
Häufigkeit Wärmebelastung*	%	10,7	12,0	12,0	13,4	13,4	14,7
Häufigkeit Kältebelastung**	%	0,3	2,1	2,1	3,9	3,9	5,8
* Anteil Stunden mit starker bis extremer Wärmebelastung (PET ≥ 35 °C)							
** Anteil Stunden mit starker bis extremer Kältebelastung (PET ≤ 8 °C)							

Die abschließende Bewertung der betrachteten klimatologischen Kenngrößen für die einzelnen Stationsstandorte erfolgt entsprechend den aufgezeigten Klassenintervallen, losgelöst von der Angabe absoluter Zahlenwerte, unter Verwendung einer bewertenden Farbskala für geringe, mittlere oder hohe Intensität bzw. Belastung.

In **Tab. 6-10** werden die Ergebnisse der Bewertung der thermischen, austauschrelevanten und human-biometeorologischen Verhältnisse an den acht Klimafeststationen im Untersuchungsgebiet Heilbronn dargestellt.

Tab. 6-10: Bewertung der thermischen, austauschrelevanten und human-biometeorologischen Verhältnisse im Heilbronner Untersuchungsgebiet.

Größe	Maßeinheit	St. 1 Innenstadt	St. 2 Wohngebiet	St. 3 Neckarraue	St. 4 Pfühlpark	St. 5 Gewerbegebiet	St. 6 Landwirtschaft	St. 7 Wartberg	St. 8 Klärwerk
Lufttemperatur									
Jahr									
Jahresmittel	C°	hoch	mittel	gering	gering	mittel	gering	gering	mittel
Abs. Min.	C°	hoch	mittel	mittel	gering	mittel	gering	gering	mittel
Abs. Max.	C°	hoch	hoch	gering	mittel	gering	hoch	gering	hoch
Strahlungstage									
Mittelwert	C°	hoch	hoch	gering	gering	mittel	mittel	gering	mittel
Abs. Min.	C°	hoch	hoch	gering	gering	mittel	mittel	mittel	mittel
Abs. Max.	C°	hoch	hoch	gering	mittel	gering	hoch	gering	hoch
Ereignistage									
Sommertage	n	hoch	mittel	gering	gering	mittel	gering	mittel	hoch
Heiße Tage	n	hoch	hoch	mittel	gering	mittel	mittel	mittel	hoch
Grillpartytage	n	hoch	mittel	gering	gering	mittel	gering	gering	mittel
Heiße Nächte	n	hoch	mittel	gering	gering	mittel	gering	gering	gering
Eistage	n	mittel	mittel	mittel	mittel	mittel	mittel	mittel	mittel
Frosttage	n	gering	gering	mittel	hoch	mittel	hoch	hoch	mittel
Heiztage	n	gering	mittel	hoch	hoch	mittel	hoch	hoch	mittel
Luftfeuchtigkeit									
Jahr									
Jahresmittel	%	hoch	hoch	mittel	mittel	hoch	gering	gering	mittel
Abs. Min.	%	hoch	hoch	mittel	hoch	hoch	gering	mittel	gering
Strahlungstage									
Mittelwert	%	hoch	hoch	gering	gering	hoch	gering	gering	gering
Abs. Min.	%	hoch	hoch	mittel	hoch	hoch	gering	mittel	gering

Windgeschwindigkeit									
Jahr									
Jahresmittel	m/s	hoch	hoch	gering	hoch	hoch	gering	hoch	mittel
Calmenhäufigkeit	%	mittel	hoch	mittel	hoch	mittel	hoch	mittel	gering
Abs. Max.	m/s	hoch	hoch	gering	mittel	hoch	gering	hoch	hoch
Schwachwindhäufigkeit	%	hoch	hoch	gering	mittel	hoch	gering	hoch	mittel
max. Dauer Schwachwindepisode	h	hoch	hoch	gering	mittel	hoch	gering	hoch	hoch
Strahlungstage									
Mittelwert	m/s	mittel	hoch	gering	mittel	hoch	mittel	hoch	gering
Abs. Max.	m/s	hoch	hoch	gering	mittel	hoch	gering	hoch	hoch
Calmenhäufigkeit	%	mittel	hoch	mittel	hoch	mittel	hoch	mittel	gering
Bioklima im Sommer (Jun.-Aug.)									
Häufigkeit Wärmebelastung	%	hoch	mittel	gering	mittel	mittel	hoch	mittel	gering
Häufigkeit Kältebelastung	%	gering	gering	mittel	mittel	mittel	mittel	hoch	hoch
Gesamtbelastung		hoch	hoch	gering	mittel	mittel	mittel	mittel	mittel

Legende: Belastung:

hoch
ungünstig

mittel
mäßig

gering
günstig

Bei den allgemeinen **Lufttemperaturverhältnissen** (Jahresmittel) zeigt die Innenstadt die ungünstigsten Verhältnisse. Bereits das Wohngebiet (St. 2) und das Klärwerk (St. 8) sind mit überwiegend mäßigen Verhältnissen günstiger einzustufen. Allerdings ist an Strahlungstagen, die hier überwiegend im Sommer auftraten, neben der Innenstadt auch im Wohngebiet die Belastung sehr hoch. Das Gewerbegebiet weist überwiegend mäßig hohe Lufttemperaturen auf und liegt damit im interstationären Mittelfeld. Die übrigen Standorte weisen günstige bis mäßige thermische Bedingungen auf und sind den unversiegelten Bereichen zuzuordnen. Hierzu zählen der Pfühlpark (St. 4) sowie die höher gelegene Landwirtschaftsfläche (St. 6), welche allerdings hohe Temperaturmaxima aufweist. Die günstigsten Lufttemperaturverhältnisse sind auf dem Wartberg (St. 7) und in der Neckaraue (St. 3) zu finden.

Bezüglich der **thermischen Ereignistage** ist zu beobachten, dass die Innenstadt (St. 1) während des Sommerhalbjahrs insgesamt hohe und im Winterhalbjahr eher geringe Belastungen aufweist. Im Wohngebiet (St. 2) und im Gewerbegebiet (St. 5) sind die sommerlichen Belastungen überwiegend mäßig und damit noch günstiger einzustufen als am Klärwerk (St. 8). Der Wartberg (St. 7) liegt diesbezüglich im interstationären Mittelfeld. In der Neckaraue (St. 3), auf der Landwirtschaftsfläche (St. 6) und insbesondere im Pfühlpark (St. 4) sind die thermischen Bedingungen im Sommer überwiegend günstig, allerdings im Winter auch entsprechend hoch.

Bei den **Luftfeuchtigkeitsverhältnissen** sind die Innenstadt (St. 1), das Wohngebiet (St. 2) und das Gewerbegebiet (St. 5) als ungünstig einzustufen, dicht gefolgt vom ungünstig bis mäßig

feuchten Pfühlpark (St. 4). Die Neckaraue (St. 3) weist mäßig feuchte Bedingungen auf. Auf den übrigen, unversiegelten Flächen Landwirtschaft (St. 6), Wartberg (St. 7) und Klärwerk (St. 8) sind durch überwiegend günstige hygrische Verhältnisse geprägt.

Die **Austauschverhältnisse** stellen sich an den Umland Neckaraue (St. 3) und Landwirtschaft (St. 6) aufgrund der frei anströmbaren Situation und somit geringen Rauigkeit erwartungsgemäß überwiegend günstig dar, wobei auf der Landwirtschaftsfläche allerdings die Calmenhäufigkeit ungewöhnlich hoch ist. Die ungünstigste Durchlüftung ist hingegen im Wohngebiet (St. 2) zu beobachten, gefolgt von der Innenstadt (St. 2) und dem Gewerbegebiet (St. 5) und dem Wartberg (St. 7). Auch der Pfühlpark (St. 4) ist im Allgemeinen schwach durchlüftet, wengleich an Strahlungstagen eine Verbesserung auf mäßige Austauschverhältnisse durch den Einfluss von Hangwinden zu beobachten ist. Die Durchlüftungsverhältnisse am Klärwerk (St. 8) sind mit eher schwachen, aber stetigen Winden insgesamt als mäßig einzustufen.

Die **Bioklimatische Situation** fasst die Auswirkungen der zuvor einzeln bewerteten thermischen und hygrischen Bedingungen sowie der Austauschverhältnisse auf das menschliche Wärmeempfinden für die Sommermonate Juni bis August zusammen und berücksichtigt zudem die Sonneneexposition. Hohe Wärmebelastungen sind daher in der Innenstadt (St. 2) aufgrund von Hitzestau sowie auf der Landwirtschaftsfläche (St. 6) aufgrund fehlender Verschattung festzustellen. Im Wohngebiet (St. 2), dem Gewerbegebiet (St. 5), dem Pfühlpark (St. 4) und auf dem Wartberg (St. 7) herrschen relativ mäßige Wärmebelastungen vor. In der Neckaraue (St. 3) und am Klärwerk (St. 8) ist hingegen die Gefahr einer Wärmebelastung gering.

Fasst man die zuvor beschriebenen einzelnen Indikatoren zu einem **Gesamtbild** zusammen, so stellen sich die Innenstadt (St. 1) und das Wohngebiet (St. 2) als hoch belastete **Ungunsträume** dar. Hinsichtlich der nachfolgend in Kap. 8 zu analysierenden Funktionen des Klimaaustausches *zwischen* unterschiedlichen Flächennutzungen wären die Innenstadt und die umliegenden Wohngebiete als **Wirkräume** einzustufen, denen aus weniger belasteten oder unbelasteten Gebieten „bessere“ Luft zugeführt wird. Zu diesen **Ausgleichsräumen** bzw. **Quellräumen** gehört die Neckaraue (St. 3), die aufgrund der geringsten Belastung auch als **Gunstraum** bezeichnet wird. Die Flächennutzungen der übrigen Stationen stellen das mäßig belastete Mittelfeld dar.

Abschließend sollen die an den Stationen gewonnenen klimatischen Sachverhalte auf das **gesamte Stadtgebiet** übertragen werden.

Während der Tagstunden stellt die solare Einstrahlung die entscheidende Einflussgröße auf die thermische Behaglichkeit des Menschen dar (VDI 2016), wodurch infolge der Abschattung umliegender Gebäude oder Vegetationsbestände kleinräumig große Unterschiede im thermischen Empfinden entstehen können. Fehlt die Einstrahlung in der Nacht, nimmt die Bedeutung der Lufttemperatur und Windgeschwindigkeit zu. Demnach sind insbesondere während windschwacher

Strahlungsnächte die Lufttemperaturverhältnisse die entscheidende Einflussgröße auf das thermische Empfinden des Menschen.

Bezogen auf die **nächtliche Situation** sommerlicher, windschwacher Strahlungstage ist daher eine Übertragbarkeit der human-biometeorologischen Verhältnisse anhand der nächtlichen Temperaturverteilung innerhalb des Stadtgebietes von Heilbronn gegeben. Insbesondere im Stadtkern ist während sommerlicher Strahlungsnächte mit erhöhten **Temperaturen** zu rechnen. Dabei kann es während „heißer Nächte“ zur Beeinträchtigung der Schlafqualität der städtischen Bewohner kommen (HUPFER UND KUTTLER 2006). Mit zunehmendem Vorortcharakter (lockerer Bebauung, geringer Versiegelungsgrad, Nähe zu Freiflächen), wie in den Stadtteilen Horkheim, Klingenberg, Frankenbach, Kirchhausen oder Biberach, nimmt die nächtliche Überwärmung ab, was dem nächtlichen Schlafkomfort zu Gute kommt.

Bezüglich der **Wärmebelastung am Tage** ist die Innenstadt am stärksten betroffen, da neben der Hitzeerzeugung durch Sonneneinstrahlung auch in verschatteten Bereichen die Wärmebelastung aufgrund Wärmestau hoch ist. Vergleichbares gilt für den Kernbereich Böckingens. In den Bereichen mit aufgelockerter Bebauung hingegen ist die Durchlüftung besser bei gleichzeitig höherem Vegetationsanteil und den daran geknüpften Verschattungszonen. Dadurch ist dort die Wärmebelastung etwas geringer als in der der Innenstadt. Betroffen davon sind alle Baugebiete jenseits der Innenstadt und des Böckinger Zentrums. Die geringsten thermischen Belastungen treten in den Wäldern unterhalb der sonnengeschützten Baumkronen auf. Das gleiche gilt für Parks und Friedhöfe, sofern sie einen hohen Baumanteil aufweisen, z. B. Pfühlpark, Hauptfriedhof, Alter Friedhof, Friedensplatz oder Stadtgarten. Die höchsten Wärmebelastungen am Tage sind in freien Lagen ohne größere Verschattungszonen zu verzeichnen. Dieses betrifft insbesondere die weiten Landwirtschaftsflächen auf den westlichen Anhöhen.

Bei den **Austauschverhältnissen** sind die unbebauten und unbewaldeten Höhen- und Kuppenlagen am stärksten durchlüftet. Lufthygienische Belastungen sind hier nicht zu erwarten. Hierzu zählen Stiftsberg, Wartberg, Galgenberg, Staufenberg oder die landwirtschaftlich geprägten Hochebenen von Klingenberg und Böckingen sowie insbesondere Frankenbach, Biberach und Kirchhausen. In Tälern wird sowohl mit zunehmender Eintiefung als auch Verengung des Talquerschnittes die Windgeschwindigkeit stetig geringer. Besonders gering ist die Durchlüftung im Köpftal, im Saubachtal und dem Leinbachtal. Sofern sich die Talsohlen aufweiten, sind die Austauschverhältnisse etwas günstiger, wenn auch nicht so gut wie auf den Anhöhen. Dieses wird z. B. im Neckartal in Horkheim deutlich. Auch die bebauten Bereiche stellen Strömungshindernisse dar und reduzieren die Durchlüftung. Am stärksten davon betroffen ist der Innenstadtbereich, aber auch der industriell geprägte Hafengebiete. In den anschließenden, mehr aufgelockerten Wohnquartieren ist die Ventilation geringfügig besser. Auch auf den gut ventilierten Anhöhen füh-

ren Siedlungen zur Reduktion des Austausches, wie in Böckingen, Kirchhausen sowie insbesondere im nördlichen Gewerbegebiet von Neckargartach zu erkennen ist. Jedoch ist der Austausch dort besser als in der dicht bebauten Neckartalsohle. Eine deutlich geringere Durchlüftung weisen Wälder und Gehölze auf, die effiziente Strömungshindernisse darstellen. Dieses betrifft insbesondere den Wald auf den östlichen Höhenzügen, aber auch baumreiche Grünflächen wie den Pfühlpark oder die beiden großen Friedhöfe.

7 Regionaler Klimawandel in Heilbronn

Projektionsdaten für den Klimawandel in der Region Heilbronn sind aus allen vier Regionalmodellen (siehe **Kap. 4.5**) verfügbar und lassen eindeutige Trends erkennen, die nachfolgend exemplarisch mittels der meteorologischen Parameter Lufttemperatur und Niederschlag für die Region Heilbronn anhand der Zeiträume 2041 bis 2051 („nahe Zukunft“) und 2091 bis 2100 („ferne Zukunft“) im Vergleich zur Dekade 1991 bis 2000 („heute“) vorgestellt werden.

7.1 Projektionen der Lufttemperatur

Die Entwicklung des Lufttemperaturtrends ist in **Tab. 7-1** und **Abb. 7-1** anhand des Jahresgangs der drei Zeithorizonte dargestellt.

Tab. 7-1: Ensemblemittelwertprojektionen des Jahresgangs der Lufttemperatur in 2 m ü. Gr. und des Niederschlags für heute (1991–2000) sowie die nahe (2041–2050) und ferne (2091–2100) Zukunft für die Region Heilbronn. Daten: WERNER & GERSTENGARBE 2007; KREIENKAMP & SPEKAT 2008; UBA 2008; LAUTENSCHLAGER et al. 2009; SPEKAT et al. 2007).

		Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mai.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
Lufttemperatur														
heute	1991 - 2000 °C	1,0	1,9	5,5	9,9	14,0	17,3	19,2	18,3	14,4	9,9	5,2	1,9	9,9
nahe	2041 - 2050 °C	3,3	4,1	7,9	11,4	15,6	18,7	20,1	19,8	15,7	11,5	7,0	4,3	11,6
Zukunft	Änderung zu heute K	2,3	2,2	2,4	1,5	1,6	1,4	0,9	1,5	1,3	1,7	1,8	2,3	1,7
ferne	2091 - 2100 °C	4,9	6,4	7,8	11,6	15,9	19,9	22,8	22,7	18,1	13,2	8,3	6,3	13,2
Zukunft	Änderung zu heute K	3,9	4,5	2,2	1,6	1,9	2,7	3,6	4,5	3,7	3,4	3,1	4,4	3,3
Niederschlag														
heute	1991 - 2000 mm	86,0	67,3	59,0	56,2	70,9	85,4	77,7	79,1	72,3	54,5	75,3	92,4	875,9
nahe	2041 - 2050 mm	90,6	69,1	67,9	63,0	70,5	69,7	87,8	75,8	88,8	76,8	101,1	104,0	965,0
Zukunft	Änderung zu heute mm	4,5	1,8	8,9	6,9	-0,4	-15,7	10,1	-3,3	16,5	22,4	25,8	11,7	89,1
	zu heute %	5,3 %	2,7 %	15,0 %	12,2 %	-0,6 %	-18,4 %	13,0 %	-4,2 %	22,9 %	41,0 %	34,3 %	12,6 %	10,2 %
ferne	2091 - 2100 mm	103,1	72,7	69,3	85,5	71,2	71,5	62,5	57,2	50,0	53,6	101,0	115,1	912,6
Zukunft	Änderung zu heute mm	17,1	5,4	10,3	29,3	0,4	-13,9	-15,2	-21,9	-22,3	-0,9	25,7	22,7	36,6
	zu heute %	18,9 %	7,8 %	15,2 %	46,5 %	0,5 %	-19,9 %	-17,3 %	-28,9 %	-25,1 %	-1,2 %	25,4 %	21,8 %	3,8 %

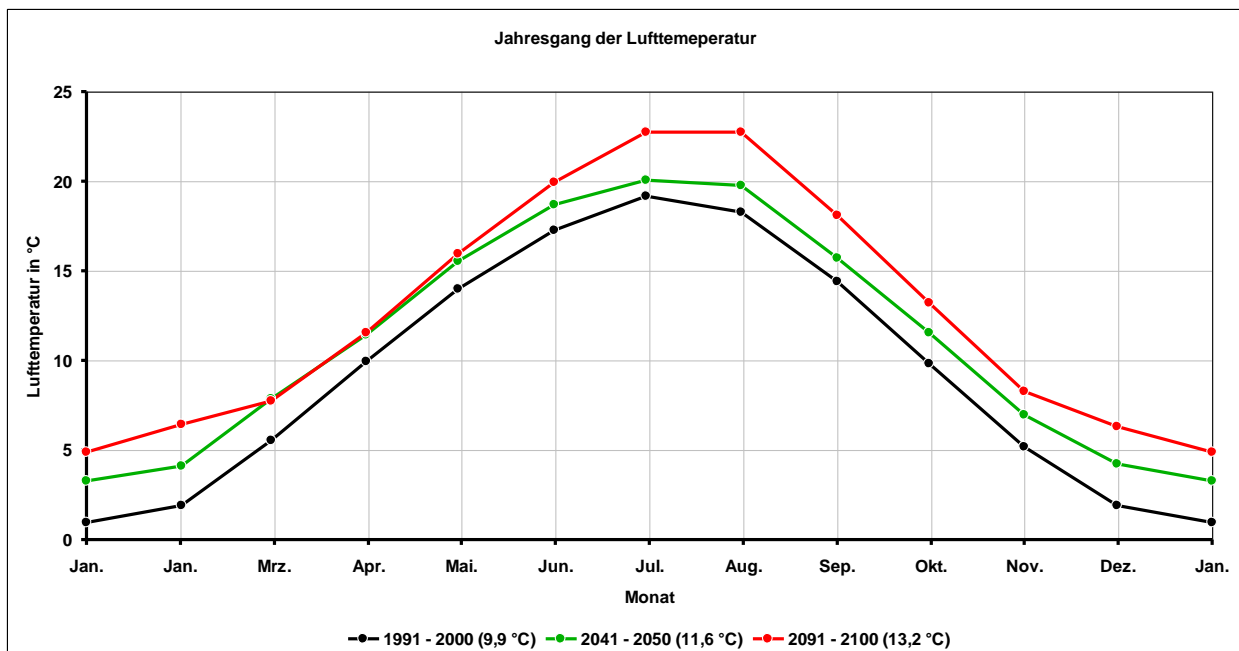


Abb. 7-1: Ensemblemittelwertprojektionen des Jahresgangs der Lufttemperatur in 2 m ü. Gr. für heute (1991–2000) sowie die nahe (2041–2050) und ferne (2091–2100) Zukunft für die Region Heilbronn. Werte in Klammern in Legende: Jahresmitteltemperatur (Daten: WERNER & GERSTENGARBE 2007; KREIENKAMP & SPEKAT 2008; UBA 2008; LAUTENSCHLAGER et al. 2009; SPEKAT et al. 2007).

Bereits zur Jahrhundertmitte (nahe Zukunft) wird die Jahresmitteltemperatur von derzeit 9,9 °C um 1,7 K auf 11,6 °C ansteigen. Zum Ende des Jahrhunderts (ferne Zukunft) beträgt der Anstieg gegenüber heute 3,3 K auf dann 13,2 °C Jahresmitteltemperatur. In den jeweiligen Jahresverläufen spiegelt sich die Erwärmung in allen Monaten wieder, wobei in den Monaten des Winterhalbjahres Dezember bis März der Temperaturanstieg deutlich höher als in den Monaten des Sommerhalbjahres ist.

Obwohl der Temperaturanstieg von 1,7 K (nahe Zukunft) bzw. 3,3 K (ferne Zukunft) im Jahresmittel moderat erscheint, sind die Folgen erheblich. Die Jahresmitteltemperatur von 11,6 °C in der nahen Zukunft entspricht bereits den Klimaverhältnissen südlich der Alpen (z. B. Lyon oder Zagreb) und zum Jahrhundertende hin wird mit 13,2 °C die Annäherung an mediterrane Verhältnisse immer größer (vergleichbar z. B. mit Mailand oder Turin) (vgl. MÜLLER 1996). Auch markante oder extreme Ereignisse werden gegenüber heute deutlich zunehmen. Hieraus resultiert auch der Handlungsbedarf für Anpassungsmaßnahmen. Um diesen Sachverhalt zu verdeutlichen, zeigt **Abb. 7-2** für die Region Heilbronn die zu erwartende Veränderung ausgewählter klimatologischer Ereignistage. Wie anhand der Balkenlängen, welche die maximale Bandbreite der durch vier Regionalmodelle berechneten Werte angibt, zu erkennen ist, zeigen die Projektionen eine hohe Streuung in den Vorhersagen. Die Trends sind jedoch eindeutig.

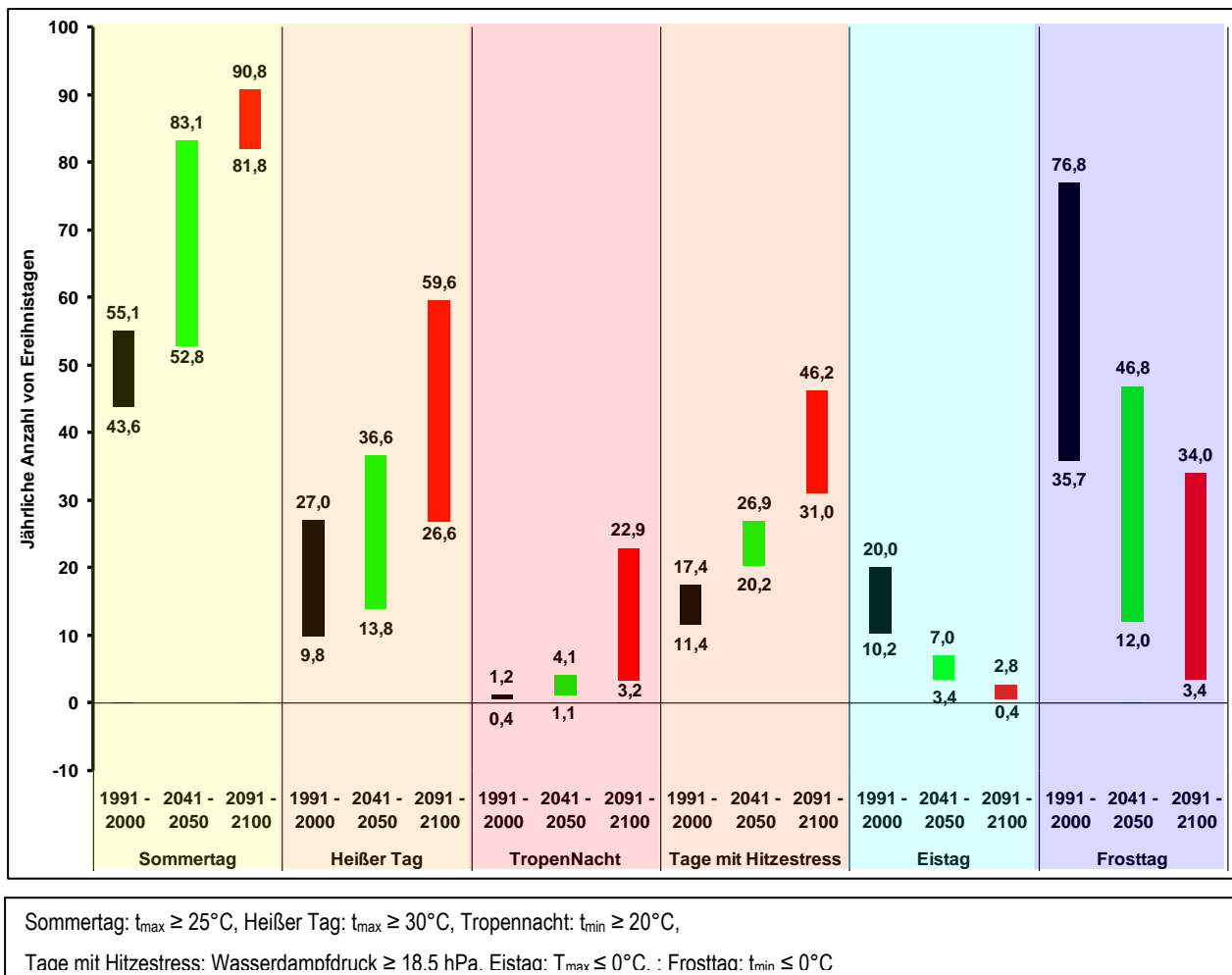


Abb. 7-2: Ensembleprojektionen zur Bandbreite der Auftrittshäufigkeiten klimatischer Ereignistage für heute (1991–2000) sowie die nahe (2041–2050) und ferne (2091–2100) Zukunft für die Region Heilbronn (Daten: WERNER & GERSTENGARBE 2007; KREIENKAMP & SPEKAT 2008; UBA 2008; LAUTENSCHLAGER et al. 2009; SPEKAT et al. 2007).

Bezüglich der **Wärmebelastung** sind die Sommertage sowie insbesondere die heißen Tage, die Tropennächte und die Tage mit Hitzestress von Interesse. Für alle vier Ereignistage wird die Auftrittshäufigkeit bis zur Mitte des Jahrhunderts um mindestens ein Drittel ($\geq +37\%$) sowie zum Ende des Jahrhunderts mehr auf mindestens das Doppelte ($\geq +100\%$) ansteigen.

Allein die beinahe Verdoppelung der Sommertage von heute durchschnittlich 49 Tagen auf knapp 82 bis 91 Tage in der Dekade 2091-2100 bedeutet, dass in der Jahressumme kumulativ zwei bis drei Monate (Vierteljahr) mit Tageshöchsttemperaturen von mindestens $25^{\circ}C$ überschritten werden.

Außerordentlich stark ist auch der Anstieg der heißen Tage von derzeit durchschnittlich 18 Tagen auf bis zu fast 37 Tage bis 2050 bzw. knapp 60 Tage bis 2100. Diese Werte bedeuten mehr als eine Verdoppelung (Faktor 2,3) bis zum Jahrhundertende. Der relativ größte Zuwachs ist bei den

Tropennächten, in denen die Lufttemperatur nicht unter 20 °C sinkt, zu beobachten. Während sie früher praktisch keine Bedeutung hatten, wird ihre Anzahl bis zur Jahrhundertmitte zunächst nur langsam auf 4 Tage, bis zum Ende des Jahrhunderts jedoch auf bis zu fast 23 Tage im Jahr ansteigen. Auch bei den Tagen mit Hitzestress (hier definiert über den Dampfdruck und somit die klassische Schwüle meinend) ist ein deutlicher Anstieg zu verzeichnen. Bis 2050 steigt die Anzahl von durchschnittlich 14 Tagen (heute) um ca. 64 % auf 20 bis 27 Tage in 2050 sowie auf das Zweieinhalbfache (31 bis 46 Tage) in 2100 an.

Bei der Wärmebelastung ist neben der Anzahl der heißen Tage auch ihr Vorkommen in Form von Hitzetagen und **Hitzewellen** von Interesse. **Abb. 7-3** zeigt die Änderungen der Häufigkeiten von Hitzetagen bzw. Hitzewellen unterschiedlicher Andauer. Gegenüber heute werden sich die eintägigen Hitzeereignisse mit einem Anstieg von derzeit jährlich durchschnittlich 4,2 Fällen auf 5,6 Fälle in 2050 bzw. 5 Fälle bis 2100 um ca. 25 % erhöhen. Bei Hitzeereignissen mit Andauer von zwei Tagen wird eine Zunahme der Auftrittshäufigkeiten um ca. 60 % von 1,7 (heute) auf 2,7 (bis 2050) bzw. 2,9 (bis 2100) Fällen pro Jahr eintreten. Dreitägige Hitzewellen traten bisher nicht jedes Jahr auf (0,8 Fälle pro Jahr), werden aber in Zukunft ein- bis zweimal pro Jahr auftreten (1,4 Fälle für 2041-2050 und 1,6 Fälle für 2091-2100). Viertägige Hitzewellen werden zum Ende des Jahrhunderts zu jedem Sommer gehören (1,0 Fälle pro Jahr). Fast jeden Sommer (0,9 Fälle) der Dekade 2091-2100 werden auch fünftägige Hitzewellen registriert, welche heute nur alle drei Jahre auftreten (0,3 Fälle). Selbst sechstägige Hitzewellen werden alle 3 Jahre (2041-2050 mit 0,3 Fällen) bzw. alle 2 Jahre vorkommen (2091-2100 mit 0,5 Fällen), während sie bisher nur alle 10 Jahre auftraten (0,1 Fälle).

Das Vorkommen von Hitzewellen mit einer Dauer von mehr als sechs Tagen ist mit durchschnittlich einem bis zwei Ereignissen pro Dekade heute und in der nahen Zukunft (2041-2050) eher selten (0,2 Fälle pro Jahr). Zum Jahrhundertende (2091-2100) treten alle fünf Jahre allerdings auch 7-, 9- und 11-tägige Hitzewellen auf, die bis zu 1,5 Wochen anhalten können.

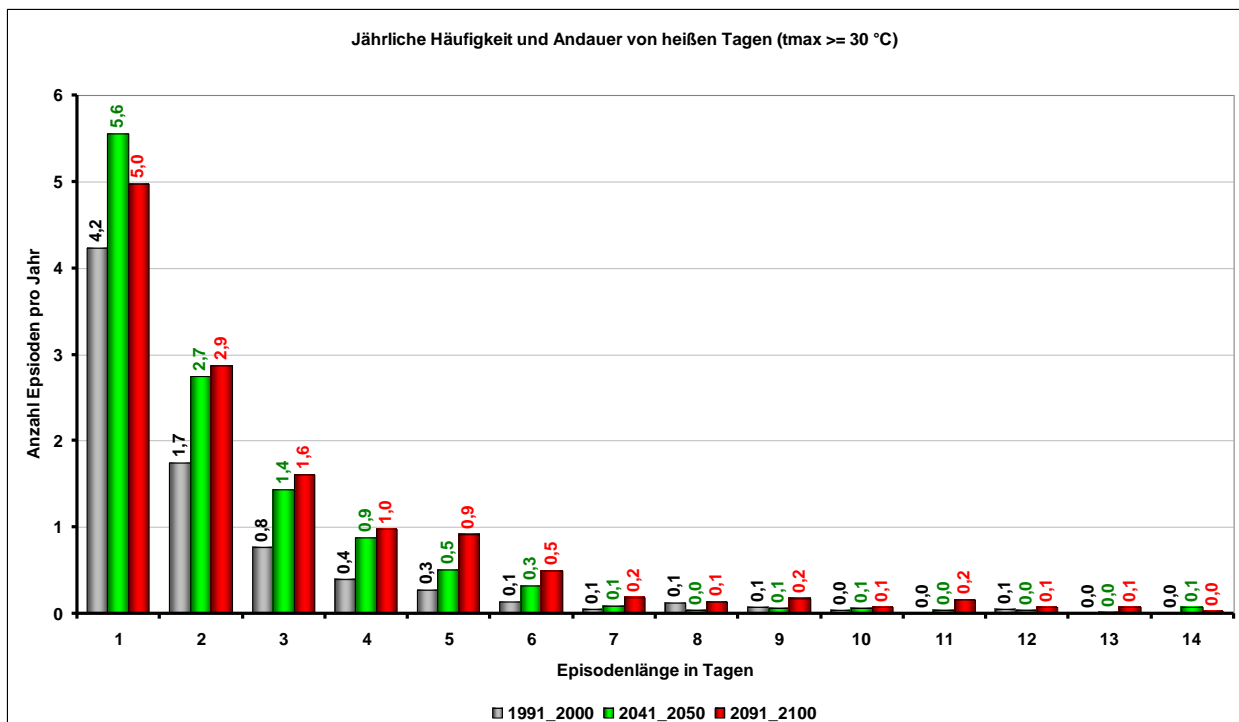


Abb. 7-3: Ensemblemittelwertprojektionen der jährlichen Episodenanzahl und -andauer von heißen Tagen ($t_{Lmax.} \geq 30 \text{ °C}$) für heute (1991–2000) sowie die nahe (2041–2050) und ferne (2091–2100) Zukunft für die Region Heilbronn (Daten: WERNER & GERSTENGARBE 2007; KREIENKAMP & SPEKAT 2008; UBA 2008; LAUTENSCHLAGER et al. 2009; SPEKAT et al. 2007).

Der Anstieg der bisher beschriebenen, die Wärmebelastung kennzeichnenden, Ereignistage, deutet auf ein zukünftig deutlich zunehmendes Problem der Wärmebelastung in der Heilbronner Bebauung hin. Denn die hier beschriebenen Projektionsdaten spiegeln regionale Dekaden Mittelwerte wieder, in denen der Einfluss der Flächennutzung modellbedingt nur marginal berücksichtigt ist. Es ist davon auszugehen, dass bei Hitzeereignissen in der eigentlichen Heilbronner Bebauung eine weitere Erhöhung des thermischen Niveaus durch den Wärmeinseleffekt (vgl. **Kap. 6.1.2.2**) stattfinden wird. Ferner ist unter Berücksichtigung der Tatsache, dass es sich bei den hier vorgestellten Daten bereits um über eine Dekade gemittelte Jahresmittelwerte handelt, davon auszugehen, dass einzelne, extreme Jahre zu noch höheren Auftrittshäufigkeiten von Tagen mit Wärmebelastung führen werden (vergleichbar mit dem „Jahrhundertsummer“ 2003 der letzten Dekade 2001 bis 2010).

Die Relevanz der Wärmebelastung ist dadurch gegeben, dass in der Bebauung die Bevölkerung lebt. Insbesondere innerstädtische Quartiere sind besonders betroffen. Aufgrund der historisch bedingten, an gemäßigte Klimazonen angepassten Bauweisen sind die Wohngebäude und deren Quartiergestaltung bisher nur unzureichend an Hitzeereignisse angepasst, im Gegensatz zur historischen Städtebauweise der trockenheißen Klimazonen.

Die Klimaänderung wird sich auch auf das thermische Niveau im **Winter** auswirken. Nach **Abb. 7-2** werden sich die Frosttage von heute durchschnittlich 56 Tagen um die Hälfte auf ca. 30 Tage bis 2050 sowie um Zweidrittel auf 19 Tage bis 2100 verringern. Bei den Eistagen ist der relative Rückgang noch drastischer. Von den heute 10 bis 20 Tagen werden zur Mitte des Jahrhunderts weniger als ein Drittel (4 bis 7 Tage) sowie zum Jahrhundert weniger als 14 % (<1 bis knapp 3 Tage) übrig bleiben. Entsprechend dieses negativen Trends werden auch die Tage mit Schneefall reduziert.

7.2 Projektionen des Niederschlages

Auch beim **Niederschlag** sind durch den Klimawandel deutliche Veränderungen zu erwarten. Nach **Tab. 7-1** wird der Jahresniederschlag von derzeit 876 mm bis zur Jahrhundertmitte um 10 % bzw. 89 mm auf 965 mm vorübergehend ansteigen, danach aber bis zum Ende des Jahrhunderts auf knapp 913 mm zurückgehen, was gegenüber dem heutigen Zustand noch immer einen Anstieg von ca. 4 % bedeutet.

Für Anwendungsgebiete wie der Siedlungswasserwirtschaft, den (städtischen) Gartenbau oder die Landwirtschaft ist die saisonale Verschiebung der Niederschlagsspenden dahingehend von Bedeutung, dass die Niederschlagssummen im Sommer abnehmen und im Winter zunehmen werden. Dieses wird in **Abb. 7-4** und **Tab. 7-1** deutlich:

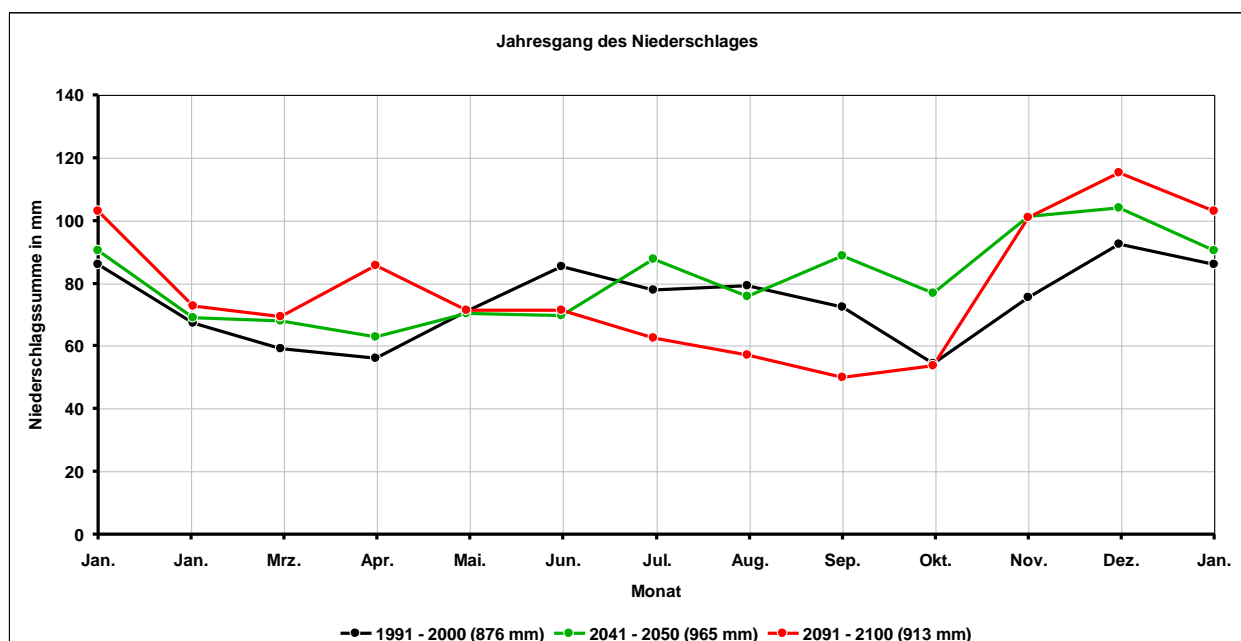


Abb. 7-4: Ensemblemittelwertprojektionen des Jahresgangs des Niederschlages für heute (1991–2000) sowie die nahe (2041–2050) und ferne (2091–2100) Zukunft für die Region Heilbronn (Daten: WERNER & GERSTENGARBE 2007; KREIENKAMP & SPEKAT 2008; UBA 2008; LAUTENSCHLAGER et al. 2009; SPEKAT et al. 2007).

Für die Sommermonate Juni bis September ist bis 2050 eine nur leichte Abnahme der Niederschläge von durchschnittlich 3 % zu verzeichnen, während bis 2100 der Rückgang um durchschnittlich 23 % sehr deutlich ist. Dieses könnte vor allem in heißen oder trockenen Phasen für den (städtischen) Gartenbau zum Problem der Grünflächenbewässerung werden, da die aktive Verdunstung durch feuchte Böden, welche zur Kühlung der Luft beitragen können (LANUV 2015), eingeschränkt oder verhindert werden könnte.

Im Gegenzug ist der Niederschlagszuwachs für die Wintermonate Oktober bis April relativ hoch. Der Aufschlag beträgt teilweise über 47 % (Oktober 2050 oder April 2100). Der Gesamtzuwachs für diese Monate beträgt gegenüber heute 75 mm (bis 2050) und 80 mm (bis 2100) bzw. ca. 9 % des heutigen Jahresniederschlages von 876 mm. Dies entspricht einer Verschiebung des derzeitigen Klimas hin zu einem Winterregenklima.

Aus Sicht der Siedlungswasserwirtschaft sind die Auftrittshäufigkeiten und Intensitäten von **Extremniederschlägen** von Interesse. Diesbezügliche Informationen können aus den Projektionsmodellen jedoch nicht gewonnen werden, da sie als mittelwertbasiertes Modell derart hohe zeitliche Auflösungen von höchstens einigen Stunden, die für Starkregenereignisse typisch sind, nicht abbilden können. Als Anhaltspunkt können aus den Regionalmodellen die Tagessummen des Niederschlages herangezogen werden. In **Abb. 7-5** ist die jährliche Auftrittshäufigkeit von regenreichen Tagen mit Mindestniederschlagssummen von 20 mm d⁻¹ bis 50 mm d⁻¹ dargestellt. Dieser Wertebereich umfasst auch Tage mit **Dauerregen** (30 bis 50 mm/d).

Als jährliche wiederkehrende Ereignisse (> 1 Fall pro Jahr) sind Tage mit Niederschlägen von mindestens 20 mm und 25 mm zu verzeichnen. Dieses betrifft all drei Zeithorizonte, wobei die Tage mit 20 mm bis zu dreimal jährlich auftreten. Tage mit Dauerregen (> 30 mm/d) treten nicht jedes Jahr auf (0,6 bis 0,8 Fälle/Jahr), sind aber in Zukunft eher zu erwarten als heute. Bereits in der nächsthöheren Klasse, der Tage mit 35 mm Niederschlag, reduziert sich die Auftrittshäufigkeit auf zweijährige Ereignisse (0,4 bis 0,5 Fälle/Jahr) und für die 40 mm-Tage auf eine dreijährige Wiederkehr (0,2 bis 0,3 Fälle/Jahr). Die Ereignisse mit noch höheren Tagesniederschlägen (45 mm und 50 mm) treten nur selten, d. h. alle fünf bis 10 Jahre, auf. Auffällig ist, dass bei den Tagen mit höheren Tagesniederschlägen ≥ 35 mm nur geringe Unterschiede zwischen den drei Dekaden festzustellen sind, mithin also zukünftig kaum eine Änderung in der Auftrittshäufigkeit stattfindet.

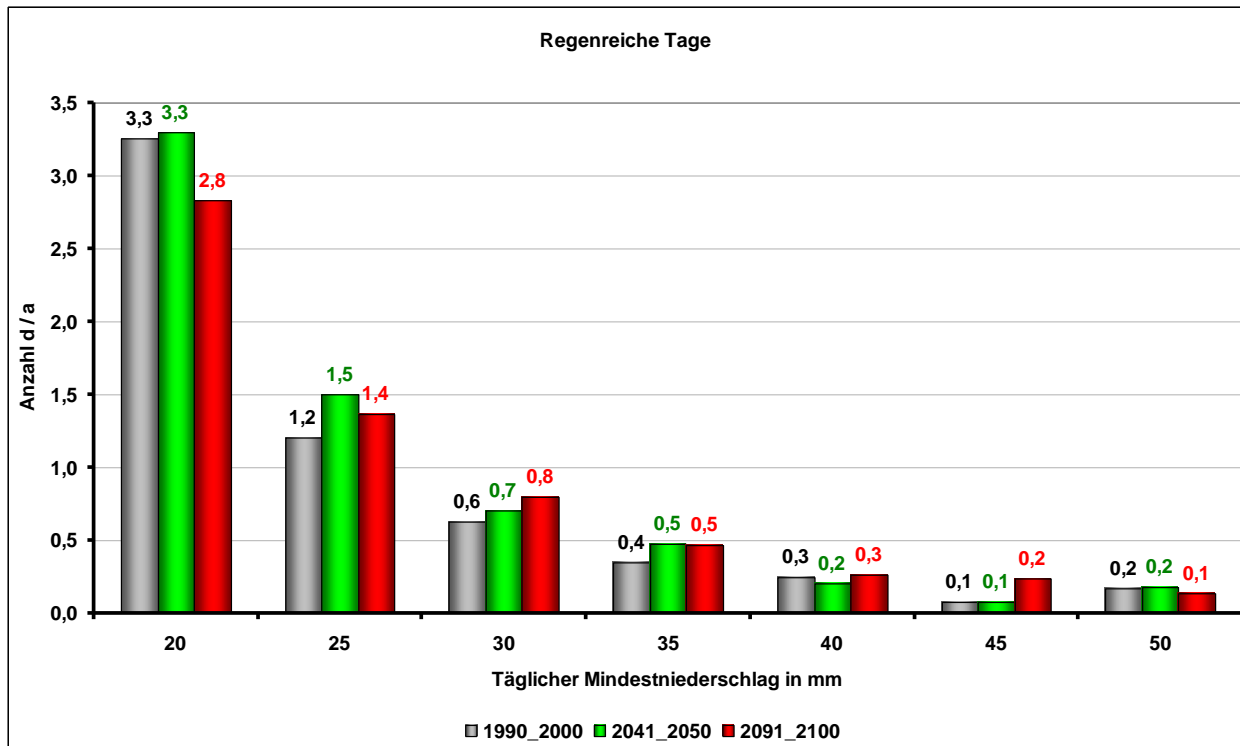


Abb. 7-5: Ensemblemittelwertprojektionen der mittleren jährlichen Anzahl von regenreichen Tagen mit Mindestniederschlagsmengen ab 20 mm/d für heute (1991–2000) sowie die nahe (2041–2050) und ferne (2091–2100) Zukunft für die Region Heilbronn (Daten: WERNER & GERSTENGARBE 2007; KREIENKAMP & SPEKAT 2008; UBA 2008; LAUTENSCHLAGER et al. 2009; SPEKAT et al. 2007).

Für **Extremregenereignisse** auf Stunden- oder Minutenbasis gibt es derzeit noch keine genauen Prognosen für Heilbronn. Schätzungen von DE GREEF (2009) für Mitteleuropa zeigen jedoch, dass Extremregenereignisse in ihrer Häufigkeit und Intensität zunehmen werden (**Tab. 7-2**).

Tab. 7-2: Projektion der geschätzten Periodizität und Intensität von Extremniederschlägen in Mitteleuropa von 2005 auf 2100 (nach DE GREEF 2009).

Periodizität (Wiederkehr)	2005	2100
3 Jahre	< 22 mm ½h ⁻¹	22 mm ½h ⁻¹
10 Jahre	22 mm ½h ⁻¹	33 mm ½h ⁻¹
100 Jahre	33 mm ½h ⁻¹	48 mm ½h ⁻¹

Auswirkungen:
 22 mm ½h⁻¹: Flutung von Gebäudekellern und Kanalisation
 33 mm ½h⁻¹: zusätzlich Teilüberschwemmungen im Außenbereich,
 48 mm ½h⁻¹: zusätzlich großräumige Überflutung

Wurden bisher (2005) Starkniederschläge mit dem Potenzial der Überflutung von Kellern und der Kanalisation ($> 22 \text{ mm } \frac{1}{2}\text{h}^{-1}$) als 10-jährige Ereignisse eingestuft, wird sich deren Auftretshäufigkeit bis Ende des Jahrhunderts auf ein alle drei Jahre wiederkehrendes Ereignis verdreifachen. Auch die bisher alle 100 Jahre durch Starkregen mit $> 33 \text{ mm } \frac{1}{2}\text{h}^{-1}$ erwarteten Überschwemmungen im Außenbereich werden sich in Ihrer Häufigkeit auf zehnjährige Ereignisse verzehnfachen. Zudem steigt die Gefahr auf Überflutung ganzer Landstriche durch Extremniederschläge von $> 48 \text{ mm } \frac{1}{2}\text{h}^{-1}$, die bisher statistisch nicht beobachtet wurden, jedoch als Jahrhundertereignis zukünftig auftreten könnten. Von derartigen Überflutungen könnte in Heilbronn z. B. die gesamte Neckaraue, welche insbesondere durch Gewerbe- bzw. Industriegebiete geprägt ist, betroffen sein.

Die Klimaprojektionen für die Region Heilbronn haben gezeigt, dass das thermische Niveau bis zum Ende dieses Jahrhundert um bis zu 3,3 K ansteigen und dabei insbesondere zu einer Verdoppelung bis Verdreifachung der Situationen mit hoher Wärmebelastung (Hitze stress) führen wird, welche mediterranen Verhältnissen bereits sehr nahekommt. Bei den Niederschlägen ist langfristig ein nur leichter Anstieg von ca. 4 % zu erwarten, jedoch wird sich die jährliche Niederschlagsverteilung hin zu trockeneren Sommern und niederschlagsreicheren, aber schneeärmeren Wintern verschieben. Mit einer Zunahme von Überflutungen durch Starkniederschläge muss gerechnet werden.

8 Planungsanwendung

Anwendungshinweis: Die nachfolgend beschriebene Klimaanalysekarte und die Planungshinweiskarte werden neben der Printausgabe **digital** als georeferenzierte Bilddateien bereitgestellt. Damit ist die Weitergabe an andere berechnigte Interessenten stadintern möglich. Hierzu wird die Weitergabe dieses Kapitels als **Handbuch** empfohlen.

An dieser Stelle werden die in den vorigen Kapiteln beschriebenen Heilbronner klimatischen Sachverhalte soweit aufbereitet, dass für jeden Punkt im Heilbronner Stadtgebiet die wichtigsten klimatischen Informationen und Planungshinweise auf einem Blick abgerufen werden können, ohne die Klimaanalyse separat auswerten zu müssen. Hierzu werden kartografische Darstellungen benutzt, da sie das Klima der Stadt in einer räumlich hoch differenzierten Gesamtheit darstellen und darüber hinaus das Wirkungsgefüge aus Flächennutzung, Relief und lokalem Klima aufzeigen, das vielerorts durch gegenseitige Wechselwirkungen geprägt ist.

Bei den Karten handelt es sich nicht um die amtlichen Festlegungskarten, sondern um thematische Fachkarten, deren Inhalte für die praktische Raumanalyse und sachgerechte Durchführung von Planungsprozessen entscheidend sind. Als Planungsgrundlagenkarten dienen sie der Visualisierung klimatischer Verhältnisse und bewertender Sachverhalte, aus denen Planungs- und Handlungsempfehlungen für die Planung abgeleitet werden können. Die Karten dienen somit als Werkzeug, das die heutige stadtklimatische Situation für das gesamte Stadtgebiet erfasst und bewertet und auf dieser Grundlage langfristig die Beurteilung zukünftiger Flächeneingriffe im Sinne einer Ersteinschätzung hinsichtlich ihrer klimaökologischen Relevanz erlaubt.

Die Aufbereitung der Klimainformationen zu Karten erfolgt auf Grundlage der VDI-Richtlinie 3787 Blatt 1 (VDI 2015), welche Empfehlungen für die Darstellung klimatischer Sachverhalte für die räumliche und städtische Planung aufzeigt und in Deutschland allgemein anerkannt ist. Hierbei wird in zwei Schritten vorgegangen:

- Die klimatischen Sachverhalte werden zunächst kartografisch in Form einer „**Klimaanalysekarte**“ abgebildet (s. **Abb. 8-1**). Diese beinhaltet die wissenschaftliche Darstellung des räumlichen klimatischen Wirkungsgefüges aus Flächennutzung, Relief und lokalem Klima sowie den dazwischen bestehenden räumlichen Klimafunktionen und Wechselbeziehungen.
- Aus der Klimaanalysekarte werden Handlungsempfehlungen erarbeitet, die in der „**Planungshinweiskarte**“ dargestellt werden (s. **Abb. 8-2**). Diese löst sich von der rein wissenschaftlichen Darstellung und konzentriert sich auf die klimaökologische Bewertung einzelner Gebietsbereiche. In Abhängigkeit der jeweiligen Klimaeigenschaften werden

Handlungsempfehlungen zur Verbesserung ungünstiger Gebiete und Flächen oder zum Schutz bzw. Erhalt günstiger Gebiete und Flächen aufgezeigt.

8.1 Klimaanalysekarte

Die Klimaanalysekarte stellt eine bewertende, flächenhafte Übersicht der klimatischen Verhältnisse im Stadtgebiet von Heilbronn dar und bildet die Grundlage zur Ableitung von Planungs- und Handlungsempfehlungen in der Planungshinweiskarte.

Dabei beruht die klimatische Differenzierung des Untersuchungsgebietes in erster Linie auf der Topographie und aktuellen Flächennutzung in Heilbronn unter Berücksichtigung der Ergebnisse der im Rahmen dieser Gesamtstädtischen Klimaanalyse Heilbronn im einjährigen Untersuchungszeitraum vom 01.04.2015 bis 31.03.2016 durchgeführten stationären und mobilen Messkampagnen sowie der verschiedenen Windfeldsimulationen. Als Kartengrundlage diente neben der Topografischen Karte TK10 und einem digitalen Geländehöhenmodell (DGM im 10-Meterraster) insbesondere die vom Grünflächenamt Heilbronn bereitgestellte Realnutzungskartierung im Maßstab 1:1.000 (SHAPE_LNP_RNK_OUTPUT_GESAMT mit Stand vom 07.11.2016). Die Erstellung der Klimaanalysekarte sowie der Planungshinweiskarte erfolgte basierend auf der beschriebenen Datengrundlage in einem Bearbeitungsmaßstab von 1:20.000.

Im Folgenden werden zunächst die unterschiedlichen Darstellungsebenen der Klimaanalysekarte näher erläutert und anschließend auf die klimatisch-lufthygienische Gliederung des Stadtgebietes von Heilbronn in der Klimaanalysekarte eingegangen.

8.1.1 Darstellungsebenen der Klimaanalysekarte

Die **erste Darstellungsebene** beinhaltet die flächenhafte klimatische und lufthygienische Differenzierung des Stadtgebietes von Heilbronn anhand verschiedener **Klimatope** (**Abb. 8-1**). Klimatope sind Raumeinheiten, die durch ähnliche Flächennutzung sowie ähnliche mikroklimatische und lufthygienische Bedingungen charakterisiert sind. Diese beinhalten vergleichbare Versiegelungsgrade, Bebauungsstrukturen, Grünflächenanteile, Vegetationsstrukturen und Emittentengruppen. Die Grenzen der in der Klimaanalysekarte ausgewiesenen Klimatope sind entgegen der Darstellung nicht als flächenscharf zu betrachten, sondern unterliegen vielmehr ineinandergreifenden, fließenden Übergängen der entsprechenden Klimatopcharakteristika. Die Ausweisung der Klimatope in der aktualisierten Klimaanalysekarte erfolgte auf Grundlage der VDI-Richtlinie 3787 Blatt 1 (VDI 2015).

In der **zweiten Darstellungsebene** werden nachgewiesene klimatische Funktionen untersuchter Flächen innerhalb des Stadtgebietes sowie ihre positiven oder negativen Wechselwirkungen aufgezeigt. Hierzu zählen insbesondere Kaltluftproduktions- und -sammelgebiete sowie Kaltluftflüsse und Luftleitbahnen, ferner Gebietsbereiche mit erhöhter Inversionshäufigkeit und Wärmeinselcharakter.

Im Folgenden werden die typischen Elemente der ersten und zweiten Darstellungsebene in der Klimaanalysekarte in Anlehnung an die VDI 3787 Blatt 1 (VDI 2015) näher erläutert.

8.1.1.1 Klimaanalysekarte – Inhalte der ersten Darstellungsebene (Klimatope)

Gewässer-, Seenklima

Charakteristika:

Aufgrund der hohen Wärmekapazität von Wasser kommt es an den Oberflächen von Gewässern zu nur schwachen tagesperiodischen Temperaturschwankungen, das heißt, Wasserflächen werden am Tag als relativ kühl und nachts als vergleichsweise warm empfunden. Sie können daher das lokale Klima stark beeinflussen. Jedoch bleibt ihr klimatischer Einfluss in der Regel, mit Ausnahme des Auftretens von Land-/Seewindsystemen infolge des eingebundenen Luftmassentransports, lediglich auf das Gewässer selbst und die unmittelbaren Randbereiche beschränkt. Abgeschwächt zeigt sich dieses Verhalten auch im jahreszeitlichen Rhythmus, wodurch z. B. Städte im Einflussbereich großer Gewässer eine geringere Anzahl von Frosttagen aufweisen können.

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

Hinweise für die Planung:

- Undurchlässige Strukturen (z. B. geschlossene Bebauung oder dichte Hecken bis hin zu Waldflächen) am Uferrand vermeiden.

Legende:

Flächenfarbe: Dunkelblau.

Freilandklima

Charakteristika:

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

Flächennutzung: Landwirtschaftliche Nutzfläche, Weide- oder Wiesengelände, Brachen o. Ä. mit Versiegelungsgrad < 10 %.

Vegetationsarten: Überwiegend niedrige Vegetation, einzelnstehende Bäume, kleine Strauchgruppen.

Lufthygiene: Im Allgemeinen geringere Belastung; durch Verdünnung und Deposition ein mögliches Luftregenerationsgebiet und dadurch Verbesserung der Luftqualität; im Sommer Gefahr erhöhter Ozonkonzentration.

Hinweise für die Planung

- Aufforstungs- und Siedlungsmöglichkeiten entsprechend den lokalklimatischen Verhältnissen, jedoch zudem Bedeutung der Flächen für den großräumigen Luftaustausch beachten (z. B. in Stadtrandlage); Erhaltung des Kaltluftentstehungspotenzials.

Legende

Flächenfarbe: Hellblau.

Waldklima

Charakteristika

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

Relief: Modifiziert das Waldklima zusätzlich.

Flächennutzung: Überwiegend durch Laub- oder Nadelwald bestimmt (≥ 90 %).

Oberflächenstruktur: Überwiegend hohe, geschlossene Struktur. Das Kronendach der Bäume ist die Hauptumsatzfläche für energetische Prozesse.

Vegetationsarten: Siehe Flächennutzung bzw. Karten der Forsteinrichtungswerke.

Lufthygiene: Im Allgemeinen geringere Belastung; Filterfunktion für Luftschadstoffe, aber dadurch auch Gefahr der Eigenschädigung der Bestände; im Sommer Gefahr erhöhter Ozonkonzentration.

Hinweise für die Planung

- Erhalten und ausbauen, soweit lokalklimatisch verträglich (siehe Hindernisse für den Kaltluftabfluss).
- Funktion bei benachbarten Gebieten mit höher belasteter Luft als Immissionsschutzwald (Luftregeneration).

Legende

Flächenfarbe: Dunkelgrün.

Klima innerstädtischer Grünflächen

Charakteristika

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

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

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

Relief: Tal- oder Kuppenlage kann die Wirkung von Grünflächen verändern.

Flächennutzung: Wiesenflächen, Kleingärten, Parks, Friedhöfe und Sportanlagen (nur, wenn begrünt); Versiegelungsgrad meist < 20 %.

Lufthygiene: In der Regel geringere Belastung als die umgebende Stadt. Filterfunktion der Grünanlagen ist abhängig von der räumlichen Ausdehnung und der Art der Vegetation.

Hinweise für die Planung

- Erhalten und möglichst vernetzen.

- Offene Randbebauung erhalten oder anstreben (zur Förderung des Luftaustauschs).

Legende

Flächenfarbe: Hellgrün.

Vorstadtklima

Charakteristika

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

Relief: Modifikationen durch Tal- oder Kuppenlagen überlagern häufig die kleinklimatischen Verhältnisse in der aufgelockerten Bebauung. Daher sind klimawirksame Reliefformen unbedingt mit zu berücksichtigen.

Flächennutzung: Einzel- und Doppelhäuser, zum Teil in Zeilenbauweise, geringe Bauhöhe (ein- bis dreigeschossig), Garten- und Freilandnutzung. Versiegelungsgrad im Allgemeinen 20 % bis 30 %.

Lufthygiene: In Abhängigkeit von der Umgebung geringere bis mäßigere Belastung.

Hinweise für die Planung

- Weitere Versiegelung vermeiden, Arrondierung möglich.
- Emissionsarme Energieversorgung anstreben.

Legende

Flächenfarbe: Hellgelb.

Stadtrandklima

Charakteristika

Das Stadtrandklima unterscheidet sich vom Vorstadtklima durch eine dichtere Bebauung und einen geringeren Grünflächenanteil. Dennoch handelt es sich um Bereiche mit einer lockeren Be-

bauung und einer relativ günstigen Durchgrünung. Hieraus resultiert eine nur schwache Ausprägung von Überwärmung, zumeist kann von einem ausreichenden Luftaustausch sowie eher günstigen bioklimatischen Bedingungen in diesen Gebieten ausgegangen werden.

Flächennutzung: Einzelhäuser, Wohnblocks bis Blockbebauung; im Allgemeinen niedrige Bauhöhen (ca. dreigeschossig, vereinzelt bis zu fünfgeschossig), zum Teil noch Garten und Freilandnutzung. Versiegelungsgrad ca. 30 % bis 50 %.

Relief: Auch im Stadtrandklimatop spielen Reliefunterschiede häufig eine wichtige mikroklimatische Rolle. Vorhandener Reliefeinfluss ist mit aufzunehmen.

Oberflächenstruktur: Vor allem durch Bebauung geprägt, teilweise Bildung von „Straßenschluchten“. Einzelbäume (z. B. im Straßenraum) und Baumgruppen vorhanden.

Lufthygiene: Etwas stärker als Vorstadtklima belastet.

Hinweise für die Planung

- Besonders in diesen Klimatopen ist die Grünflächenvernetzung zum Freiland zu erhalten oder zu schaffen.
- Hohe, geschlossene Bauformen und verriegelnde Bebauung zum Umland vermeiden.
- Emissionsarme Energieversorgung anstreben.

Legende

Flächenfarbe: hellorange

Stadtklima

Charakteristika

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

Flächennutzung: Wohnbebauung, Wohnblocks und Blockbebauung bis fünfgeschossig, vereinzelt höhere Bebauung; Garten- und Freilandnutzung gering; Versiegelungsgrad im Allgemeinen 50 % bis 70 %.

Relief: Nimmt bei diesem Klimatop im Allgemeinen eine untergeordnete Rolle bei den Klimafaktoren ein und ist nur in besonderen Fällen mit aufzunehmen.

Lufthygiene: Mäßig bis hoch belastet, schlechte Durchlüftung.

Hinweise für die Planung

- Entsiegelung, Blockentkernung und -begrünung, Fassaden-, Dachbegrünungen anstreben.
- Hohe Verkehrsdichte in engen Straßenschluchten vermeiden, Verkehrsberuhigung und emissionsarme Energieversorgung anstreben.

Legende

Flächenfarbe: Orange.

Innenstadtklima

Charakteristika

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

Flächennutzung: Verwaltungs-, Geschäfts- und Wohnbebauung; mehrgeschossige Baublöcke, in Altbauquartieren als geschlossene Blockbebauung realisiert, Hochhäuser; Vegetation überwiegend als Straßenbäume und Straßenbegleitgrün; Versiegelungsgrad meist > 70 %.

Relief: Bis auf wenige Ausnahmen vernachlässigbar Lufthygiene: mäßig bis hoch belastet.

Hinweise für die Planung

- Siehe Stadtklima, Vorrang für emissionsarme Energieversorgung.

Legende

Flächenfarbe: Rot.

Gewerbe-, Industrieklima

Charakteristika

Gewerbebetriebe mit den dazugehörigen Produktions-, Lager- und Umschlagstätten prägen das Mikroklima. Bedingt durch den hohen Versiegelungsgrad in Kombination mit erhöhten Emissionen an Produktionsstätten kommt es verstärkt zu lufthygienischen und human-bioklimatischen Belastungssituationen. Zu diesen Flächen zählen auch Sonderflächen wie militärisch genutzte Flächen usw. Eine weitere Untergliederung in die zwei Kategorien Gewerbe- und Industrieklima mit Logistik und Dienstleistungen einerseits und produzierendes Gewerbe andererseits bietet sich an, falls lufthygienische Fragestellungen wie Emissionshöhen und -verteilungen mit betrachtet werden sollen.

Relief: Kann zu Modifikationen des Mikroklimas führen. Wenn Reliefformen klimawirksam werden, sind besondere Signaturen wichtig (z. B. Industrieemittenten in Tallagen).

In Abhängigkeit vom Versiegelungsgrad lassen sich zwei Typisierungen unterscheiden:

Offeneres Gebiet (Gewerbe)

Flächennutzung: Halden, Industrie und Gewerbebrachen, Gleisanlagen; Versiegelungsgrad im Allgemeinen < 70 %.

Oberflächenstruktur: Vor allem Hallen (ein- bis dreigeschossig), kleinere Verwaltungsbauten und Produktionsanlagen, Lagerflächen.

Vegetationsarten: Wiesen- und Rasenflächen als Abstandsgrün, zum Teil auch Baum- und Strauchanpflanzungen, Brachflächen.

Lufthygiene: Belastung stark von der Nutzung und den Emissionsbedingungen abhängig.

Dichteres Gebiet (Industrie)

Flächennutzung: Halden, Gleisanlagen, Industriebrachen; Versiegelungsgrad im Allgemeinen > 70 %.

Oberflächenstruktur: Stark differierende Bauwerkshöhen; Hallen (ein- bis fünfgeschossig), Verwaltungsbauten, alte Industriebauten, Produktionsanlagen, große Lagerflächen.

Vegetationsarten: Besonders in den Randbereichen (z. B. als Immissionsschutzpflanzungen) auch dichte Baum- und Heckenstrukturen, Wiesen- und Rasenflächen, ansonsten Abstandsgrün oder Brachflächen.

Lufthygiene: Belastung stark von der Nutzung und den Emissionsbedingungen abhängig.

Hinweise für die Planung

- Dach- und Fassadenbegrünung.
- Begrünung von Parkplätzen.
- Flächenbegrünung, Grünvernetzung.
- Entsiegelung.
- Durchgängige Belüftungsstrukturen erhalten/schaffen.
- Beschränkung auf emissionsarme Betriebe.
- Emissionsarme Energieversorgung, z. B. Fernwärme.

Legende

Flächenfarbe: Hellgrau.

Straßenraum etc.

Ohne Bewertung

Legende

Flächenfarbe: Weiß.

Gleisanlage

Charakteristika

Extremer Lufttemperaturtagesgang, trocken, nachts mögliche Kaltluftleitbahnen, geringe Strömungshindernisse.

Hinweise für die Planung

- Von Emittenten und bei Umnutzung von erhöhter Rauigkeit freihalten.

Legende

Flächenmuster Rot punktiert auf weißem Grund.

8.1.1.2 Klimaanalysekarte – Inhalte der zweiten Darstellungsebene (Klimatische Funktionen)

Über die Klimatopeigenschaften hinaus weisen einige Flächen besondere klimatische Funktionen und Wechselwirkungen auf, deren Wirkung auf die lokalen Verhältnisse und eine potentielle Fernwirkung auf angrenzende Flächennutzungen durch verschiedene Messkampagnen untersucht und nachgewiesen werden konnten. Diese Funktionen sollen nachstehend kurz erläutert werden.

Luftleitbahn (Ventilationsbahn)

Zusammenhängende Flächen mit geringer Rauigkeit, einer weitgehend linienhaften Ausrichtung und breitem Querschnitt (Längen-/Breitenverhältnis von mindestens 20:1 (nach Mayer et al. 1994)) können in Städten insbesondere während schwachwindiger, autochthoner Wetterlagen die Funktion als Luftleitbahn einnehmen und über den Transport kühler sowie lufthygienisch unbelasteter Luft der Belüftung von Siedlungsgebieten dienen. Breite, geradlinige Flussauen und Kanäle stellen besonders geeignete Flächennutzungen für Luftleitbahnen dar. Es gilt zu beachten, dass Luftleitbahnen ggfs. auch klimatisch und/oder lufthygienisch belastet sein können.

Legende

Darstellung der Luftleitbahnen über nicht gefüllte (geränderte) Pfeile. Blau -> Lufthygienisch unbelastet; rot -> lufthygienisch belastet.

Hindernis für den Kaltluftabfluss (Barrieren, Strömungsriegel)

Natürliche und anthropogene Hindernisse, die den Kaltluftabfluss beeinflussen, z. B. Bäume, Wälder, Hecken, größere Bauwerke, Aufschüttungen, natürliche (z. B. Wälder) oder künstliche (z. B. Dämme) Verriegelungen bilden ein Hindernis für den Kaltluftabfluss (Strömungsriegel). Vor dem Hindernis entsteht ein Kaltluftstau (Kaltluftstau, -see).

Legende

Darstellung über eine markierte blaue Zackensignatur.

Kaltluftabfluss

Die Dynamik lokal gebildeter Kaltluft wird entweder durch einen gravitativen Antrieb infolge der Geländeausrichtung, durch Temperaturgegensätze verschiedener Flächennutzungsstrukturen oder einen schwachen Gradientenwind induziert. In der vorliegenden Klimaanalysekarte werden lediglich Kaltluftabflüsse dargestellt, die im Rahmen der Klimaanalyse während autochthoner Strahlungsnächte nachgewiesen bzw. modelltechnisch erfasst wurden.

Legende

Darstellung der Kaltluftabflüsse (Hangabwinde) über gefüllte Pfeile in Blau für unbelasteten Kaltluftabfluss und in Rot für lufthygienisch belasteten Kaltluftabfluss.

Eindringtiefe

Die Eindringtiefe umfasst denjenigen Flächensaum des Bebauungsrandes, in dem von außen einfließende bodennahe Kaltluft maximal vordringen kann. Die in der Bebauung liegende Grenze der Eindringtiefe verläuft dort, wo entweder der Kaltlufttransport aufgrund Strömungsriegel bildender Hindernisse (Gebäude, Hecken, Wälder, Wälle, Dämme, etc.) zum Erliegen kommt oder die Kaltluft durch die vorhandene wärmere Flächennutzung soweit erwärmt wurde, dass keine weitere Abkühlung mehr möglich ist.

Legende

Darstellung über schwarze Schrägschraffur.

Kaltluftstau, -see oder Talnebel (Niederungsbereiche)

Durch Hindernisse ganz oder teilweise gestörter Kaltluftabfluss lässt im Staubereich niedrigere Lufttemperaturen entstehen. Für die Ausdehnung des Kaltluftstaus/-sees sind das Relief, morphologische Senken, die Größe des zugehörigen Kaltlufteinzugsgebiets und die Hindernishöhe entscheidend. In orografischen Niederungsbereichen können Bodeninversionen entstehen und zu gehäufte Nebelbildung führen.

Legende

Darstellung über blaue Punktierung.

Kaltluftsammlgebiet

Eine hohe Kaltluftproduktion, fehlende Kaltluftdynamik oder Stausituationen an Strömungshindernissen (z. B. Gebäudekomplexe, Dämme und Waldriegel) sowie bestimmte Reliefformen (z. B. Mulden, Senken) können zur Akkumulation lokal gebildeter Kaltluft führen. Bei stehender Kaltluft kommen die Kühl- und Ventilationseigenschaften zum Erliegen. Zudem können bodennahe Emissionen, wie etwa durch den Verkehr verursacht, zur Anreicherung von Spurenstoffen in diesen Bereichen führen.

Legende

Darstellung analog zum Kaltluftstau, -see oder Talnebel (Niederungsbereiche).

Potenzielle Kaltluftproduktionsfläche

Weitgehend unversiegelte Oberflächen, wie Äcker, Wiesen und Weiden oder Brachflächen zeichnen sich während autochthoner Wetterlagen durch eine negative nächtliche Ausstrahlung aus. Dies führt im Vergleich zu den urban überprägten Gebieten zur Bildung bodennah kühlerer Luftschichten. Diese Kaltluft kann bei entsprechender Dynamik (s. Kaltluftabfluss) in angrenzende Siedlungskörper eindringen und zur Belüftung und Abkühlung dieser städtisch geprägten Bereiche beitragen.

Legende

Darstellung mit blauer waagerechter Schraffur.

Wärmeinsel

Positive Luft- und Strahlungstemperaturdifferenz zwischen Stadt und Umland, die u. a. auf die Oberflächenstruktur und somit auf die fehlende geringere nächtliche Abkühlung der versiegelten (Innenstadt-) Bereiche zurückgeführt werden kann.

Legende

Darstellung analog zur Farbgebung von Stadt- und Innenstadtklimatope sowie auch Gewerbe-/Industrieklima.

8.1.2 Räumliche Genauigkeit der Klimaanalysekarte in Abhängigkeit des Maßstabes

Die Ausweisung der Klimatope in Heilbronn in **Abb. 8-1** erfolgte auf Grundlage der großmaßstäblichen Realnutzungskartierung. Dies hat den Vorteil, dass Klimatope parzellenscharf ausgewiesen werden können, was für das Klimamanagementsystem zur quantitativen Flächenanalyse von Bedeutung ist.

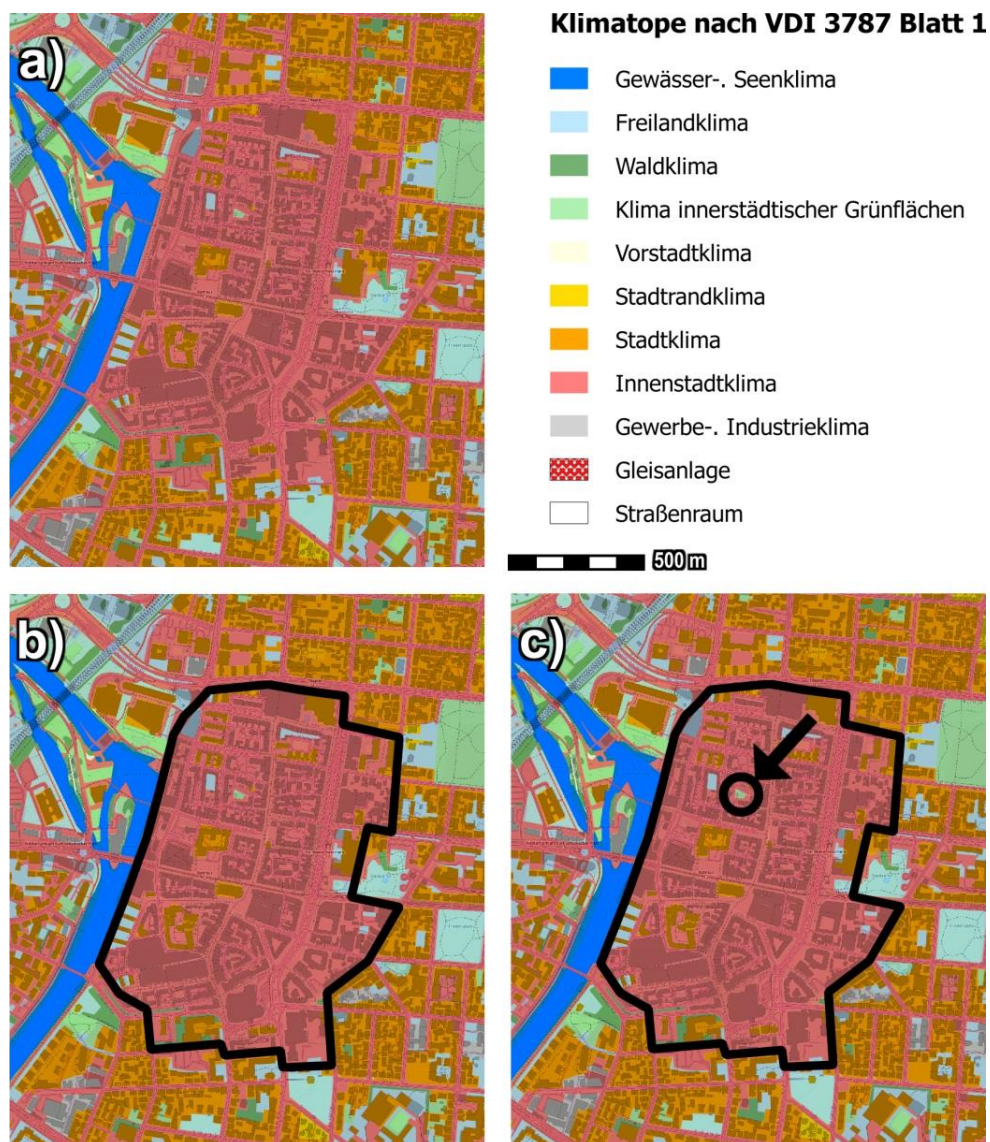
Als Resultat dieser räumlich hochauflösenden Differenzierungen entsteht insbesondere in den versiegelten und überbauten Gebietsbereichen auf engem Raum ein Mosaik von unterschiedlichen Klimatopen. Hierbei ist zu beachten, dass die einzelnen Klimatopparzellen per Definition eigene Klimamerkmale aufweisen. Allerdings stehen diese Klimamerkmale mit benachbarten Klimatopparzellen in Wechselwirkung, da sich die Übergänge der Klimamerkmale zwischen den Parzellen aus physikalischen Gründen kontinuierlich vollziehen. Die Parzellengrenzen stellen somit keine flächenscharfen Grenzen von Klimamerkmale, sondern einen Übergangsbereich von einem Klimatop zum nächsten dar.

Das Ausmaß der gegenseitigen Beeinflussung von unterschiedlichen Klimatopflächen ist von der Flächengröße abhängig. Große Klimatopflächen haben einen hohen Einfluss auf benachbarte kleinere Klimatope. Sofern die Flächengröße von Klimatopen im Bereich von mehreren Hektar liegt, beträgt deren Fernwirkung auf die Nachbarschaft je nach Flächengröße einige Dekameter bis wenige hundert Meter. Daher können solitär gelegene kleinere Klimatope innerhalb eines Flächenverbundes eines anderen, größeren Klimatops durch dessen Merkmale vollständig überlagert werden.

Für eine Betrachtung der klimatischen Situation Heilbronn im **gesamtstädtischen Überblick** ist es daher sinnvoll, eine **kleinere Maßstabsebene** zu wählen und dabei die Klimatope gemäß ihrer räumlichen Lagedichte zu **generalisieren**. Dazu wird ein Klimatopflächenverbund nach dem am häufigsten (> 50 %, d. h. Klimatop-Cluster) vorkommenden Klimatop benannt. Die Grenze dieses räumlich generalisierten Klimatops zu Nachbarklimatopen wird dort gezogen, wo die benachbarten Klimatope überwiegend (> 50 %) einem anderen Klimatop zuzuordnen sind. Ein Beispiel für eine Klimatopgeneralisierung wird in der nachfolgenden Infobox vorgestellt.

Infobox: Räumliche Generalisierung von Klimatopen am Beispiel der Heilbronner Innenstadt

Die Heilbronner Innenstadt wird in weiten Teilen durch Innenstadtklimatopparzellen geprägt a). Diese treten in einer Geschlossenheit auf, die es erlaubt, praktisch das gesamte Innenstadtquartier als Innenstadtklimatop auszuweisen. Die Abgrenzung zur Umgebung erfolgt an denjenigen Stellen, wo die benachbarten Klimatope überwiegend (> 50 %) nicht mehr zum Innenstadtklimatop zählen b). Der Bereich des Innenstadtklimatops ist jedoch auch mit wenigen anderen Klimatopparzellen durchsetzt. Dazu zählen einige Stadtklimatopparzellen sowie vereinzelte Freiland- und innerstädtische Grünflächenklimatopparzellen c). Der Anteil dieser Parzellen am Innenstadtklimatopbereich ist jedoch derart gering, dass deren klimatischen Merkmale durch die umliegenden dominierenden Innenstadtklimatopflächen überlagert werden. Diese einzelnen „Fremdklimatopparzellen“ können daher bei der Ausweisung des Innenstadtklimatops ignoriert werden.



Generalisierung von Klimatopen auf Quartiersebene am Beispiel des Heilbronner Innenstadtklimatops.

8.1.3 Klimatisch-lufthygienische Gliederung des Stadtgebietes von Heilbronn in der Klimaanalysekarte

Die klimatische Gliederung des Stadtgebietes von Heilbronn wird in der Klimaanalysekarte (s. **Abb. 8-1**) auf Grundlage der Realnutzungskartierung im Maßstab 1:1.000 dargestellt.

Bei einer Betrachtung im kleineren Maßstab von ca. 1:20.000 ergibt sich in Grundzügen folgendes Bild:

Neben vereinzelt im gesamten Stadtgebiet auftretenden, kleineren Industrie- und Gewerbegebieten sind große und zum Teil zusammenhängende **Gewerbe-, Industrieklimatope** hauptsächlich nördlich der Innenstadt vorzufinden. Hierzu zählen die Industriegebiet Kanalhafen, Neckar und Osthafen. Daneben gibt es westlich und südlich der Innenstadt die kleineren Gewerbeclimatope Böckingen Nord, Knorrstraße, Sontheim und Schwabenhof. Da diese Komplexe weitestgehend (mit Ausnahme Schwabenhof) innerhalb des Neckartals liegen, ist während windschwacher Inversionswetterlagen potenziell von einer Gefahr der Spurenstoffakkumulation auszugehen. Neben diesen städtischen oder stadtnahen Industriegebieten befinden sich auf den Freiflächen der westlichen Anhöhen die solitär gelegenen Gebiete Industriepark Böllinger Höfe in Neckargartach sowie das Gewerbegebiet Böckingen West.

Der Innenstadtbereich weist infolge der hochverdichteten Bebauung mit geringem Grünanteil das höchste thermische Niveau im Stadtgebiet auf, das aufgrund stark eingeschränkter Durchlüftung an heißen Tagen zu Hitzestau führen kann. Auch in Sommernächten kommt es aufgrund mangelnder Abkühlung zu hoher Wärmebelastung. Die Ausdehnung dieses am stärksten urban geprägten **Innenstadtklimatops** umfasst grob den Bereich zwischen oberer und unterer Neckarstraße im Westen, der Mannheimer Straße im Norden, der Gartenstraße und Gymnasiumstraße im Osten sowie Am Wolllhaus und Rollwagstraße im Süden.

Die **Stadtklimatope**, die bei kompakter, mehrgeschossiger Bauweise einen höheren Grünflächenanteil als die Innenstadt aufweisen, schließen primär an die Innenstadt an. Auch in diesen Klimatopen kann die Wärmebelastung zeitweise sehr hoch sein. Sie befinden sich hauptsächlich auf der Neckarinsel zwischen den Bahnlagen und Karlsruher Straße bzw. Südstraße, ferner im Bereich südlich der Innenstadt bis zur Südstraße und Werderstraße sowie im Gebiet nördlich der Innenstadt bis zur bogenförmigen S-Bahntrasse der Line S4. Auch der östliche Bereich zwischen Innenstadt und Oststraße ist überwiegend dem Stadtklimatop zuzuordnen, wenngleich sich hier die großen innerstädtischen Grünflächen Alter Friedhof, Stadtgarten und Friedensplatz befinden, die eigene Klimatope darstellen (Erläuterung siehe Absatz zu innerstädtischen Grünflächen). Ein weiteres Stadtklimatopcluster liegt in Böckingen im nördlichen Bereich der Ludwigsburger Straße.

Die **Stadtrandklimatope** liegen in der städtischen Peripherie im Übergangsbereich zum Umland und sind durch eine überwiegend aufgelockerte und geringgeschossige Wohnbebauung gekennzeichnet, in der aufgrund des höheren Grünflächenanteils die Durchlüftung besser sowie die thermische Belastung geringer als in der übrigen Bebauung ist. Auch die solitär im Umland gelegenen Vororte Biberach, Kirchhausen, Frankenbach und Klingenberg sind in weiten Teilen diesem Klimatotyp zuzuordnen. In Biberach, Kirchhausen, Frankenbach sowie kleineren Teilen Neckargartachs und in Südost-Böckingen nimmt die Durchgrünung weiter zu, sodass fast dorfähnliche Strukturen vorherrschen. Die Areale sind als **Vorstadtklimatope** einzustufen.

Großflächige Durchbegrünungen innerhalb der Bebauung, die aufgrund ihrer Größe ein spürbares und zudem günstiges Eigenklima gegenüber der bebauten Umgebung entwickeln können, sind nur sporadisch vorhanden und fehlen in der Innenstadt völlig. Zu diesen Klimatopen der **innerstädtischen Grünflächen** zählen im Stadtklimatopbereich der alte Friedhof, der Stadtgarten und der Friedensplatz. Bereits im Stadtrandbereich liegen zudem Pfühlpark, Hauptfriedhof und Landwehr. Nordwestlich der Innenstadt entsteht in einem Umfeld aus Gewerbegebieten auf der Neckarinsel das BUGA-Gelände sowie die Bebauung Neckarbogen. Südlich davon liegt beiderseits des Neckars der Grünflächenkomplex aus Wertwiesen und den Böckinger Seewiesen. Auffällig ist, dass bis auf diesen Grünflächenkomplex, die Klimatope der innerstädtischen Grünflächen untereinander nicht durch Grünzüge miteinander vernetzt sind.

Jenseits der Siedlungsgebiete, mithin im Umland, nehmen die Frei- und Waldflächen mit ihren positiven klimatischen und lufthygienischen Verhältnissen weite Teile des Heilbronner Stadtgebietes ein.

Größere zusammenhängende Wälder befinden sich in den höheren Relieflagen beiderseits des Neckars. Das größte **Waldklimatop** liegt auf den südöstlichen Anhöhen oberhalb der Weinberge. Weitere, wenn auch kleinere Waldgebiete befinden sich in Kirchhausen, Biberach, Neckargartach und Frankenbach.

Der übrige, nichtbebaute Umlandbereich ist den **Freilandklimatopen** mit ihren positiven klimatischen und lufthygienischen Eigenschaften zuzuordnen und umfasst den größten Teil des Heilbronner Stadtgebietes. Die Freilandklimatope bestehen hauptsächlich aus Acker- und Wiesenflächen, aber auch aus Weinbergen sowie Brachflächen. Die Freilandklimatope liegen hauptsächlich auf den westlichen Anhöhen sowie südlich von Horkheim und Sontheim, wobei Acker- und Wiesenflächen dominieren. In den steileren Hanglagen von Klingenberg und Horkheim sowie insbesondere der Höhenzüge östlich des Neckars findet der **Weinanbau** statt. Insbesondere zwischen östlichem Bauungsrand und den Weinhanglagen befinden sich nur wenige Acker- und Wiesenflächen. Mit Ausnahme der Weinbauflächen mit ihrem mildwarmen Mikroklima stellen die Freilandklimatope potenzielle Produzenten für lokale **Kaltluft** dar, die weitgehend in die niedri-

gere Neckartalung und damit der Bebauung zufließt. Ein tiefes Eindringen der Kaltluft in die Bebauung findet jedoch aufgrund weitreichender Strömungsriegel entlang der Bebauungsränder sowie fehlender in die Stadt gerichteter Ventilationsbahnen nicht statt.

Eine Sonderstellung nehmen die **Gewässerklimatope** ein, die sich entlang der Gewässerläufe von Neckar, Kanalhafen, Osthafen, der Lein und dem Böllinger Bach ausdehnen.

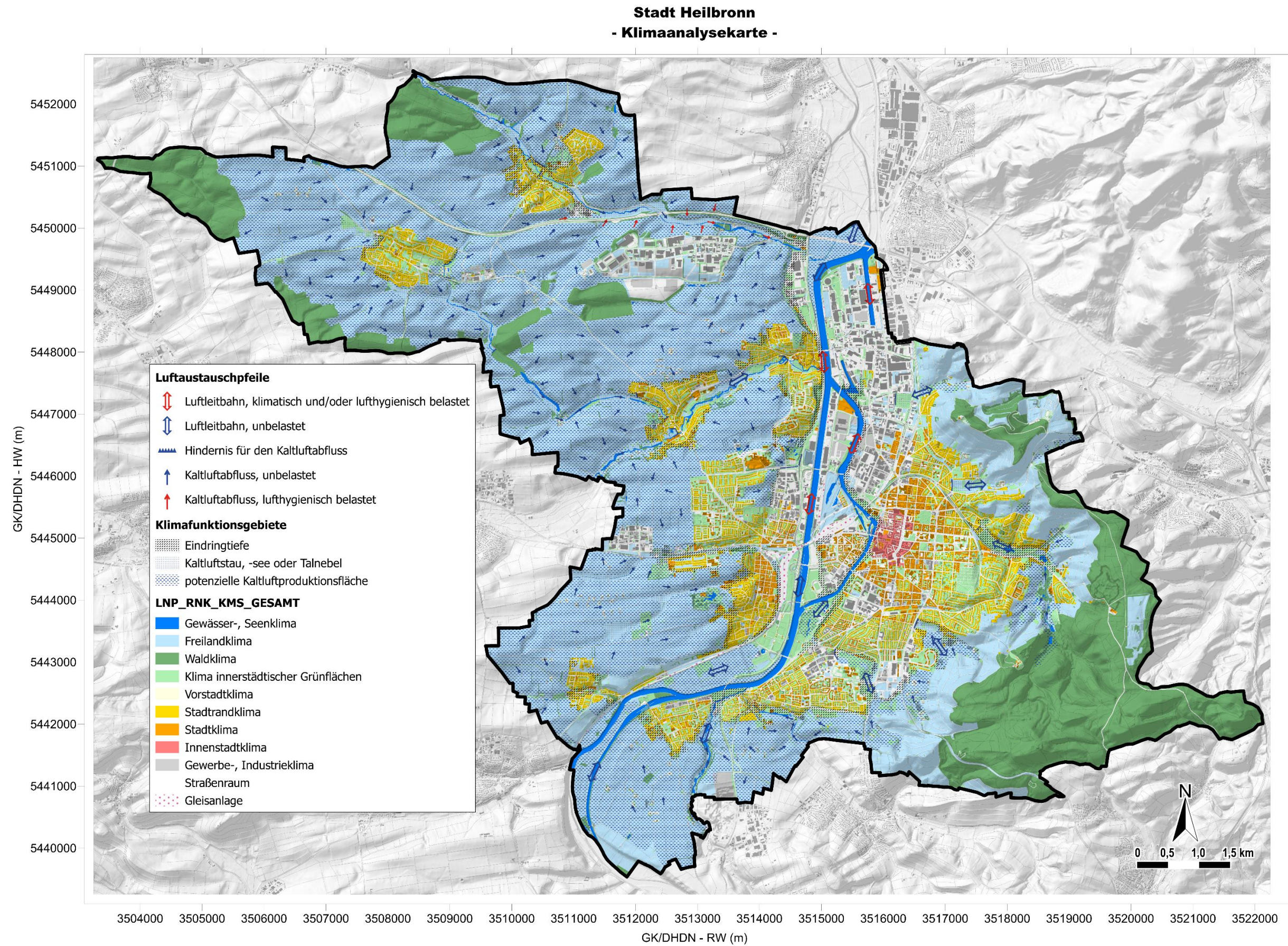


Abb. 8-1: Klimaanalysekarte der Stadt Heilbronn

(Quelle: Kartengrundlage aus RK10, DGM10 ©Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg www.lgl-bw.de, Az.: 2851.9-1/19).

8.2 Planungshinweiskarte

Die Erstellung der Planungshinweiskarte der Stadt Heilbronn erfolgte auf Grundlage der Klimaanalysekarte (**Abb. 8-1**). Somit beruht die Ableitung von Planungshinweisen zur Verbesserung bzw. Sicherung der klimatischen und lufthygienischen Verhältnisse ebenfalls auf der Topographie und aktuellen Flächennutzung im Stadtgebiet von Heilbronn sowie den Ergebnissen der im Rahmen der Gesamtstädtischen Klimaanalyse Heilbronn durchgeführten Untersuchungen.

Im Folgenden werden analog zur Beschreibung der Klimaanalysekarte zunächst die verschiedenen Darstellungsebenen der Planungshinweiskarte vorgestellt und anschließend auf die Gliederung des Untersuchungsgebietes Heilbronn in der Planungshinweiskarte eingegangen.

8.2.1 Darstellungsebenen der Planungshinweiskarte

Die Planungshinweiskarte (**Abb. 8-2**) der Stadt Heilbronn setzt sich aus zwei Ebenen zusammen. In der **ersten Darstellungsebene** werden anhand von **Planräumen** (ähnlich den Klimatopen) Bereiche innerhalb des Stadtgebietes wiedergegeben, für die Planungshinweise aufgrund der weitestgehend einheitlichen Strukturen eine flächenhafte Gültigkeit aufweisen. Hierbei werden unter anderem klimatische Last-, Ungunst- und Ausgleichsräume voneinander abgegrenzt. Die klimatischen **Lasträume** umfassen dabei einerseits die Bereiche, welche in der Klimaanalysekarte als Stadtkernklima und Klima der verdichteten Bebauung ausgewiesen sind. Zum anderen sind auch die Industrie- und Gewerbegebiete den klimatischen Lasträumen zuzuordnen. Des Weiteren werden stärker versiegelte Bereiche innerhalb der Stadtrandklimatope, wie beispielsweise Areale angrenzend an die Innenstadt, als klimatische **Ungunsträume** zusammengefasst, während die locker bebauten Randbereiche der Siedlungskörper und Gebiete mit vergleichsweise günstigen klimatischen und lufthygienischen Verhältnissen als **Übergangsbereich** zwischen Last- und Ausgleichsraum bezeichnet werden. Die klimatischen **Ausgleichsräume** umfassen neben den größeren innerstädtischen Freiflächen und den hauptsächlich landwirtschaftlich genutzten Freiräumen im Umland zudem die ebenfalls gesondert ausgewiesenen innerstädtischen Grünflächen, Gewässer sowie Wald- und Forstgebiete. Da die den Planräumen zugrundeliegenden Klimatope Gebietsgrenzen aufweisen, deren Verlauf i.d.R. nicht gleichmäßig, sondern vielfach geknickt ist, sind die begrabigten Grenzen der Planräume ebenfalls nicht flächenscharf, sondern markieren einen Übergangsbereich von einem Planraum zum nächsten.

In der **zweiten Darstellungsebene** werden hingegen eine Reihe spezifischer Planungshinweise von zumeist lokaler Relevanz ausgewiesen, wie etwa die Erhaltung von Luftleitbahnen, die Vermeidung weiterer Bebauung oder Ansiedlung von Emittenten in Kaltluftammelgebieten. Ferner werden jedoch auch Bereiche ausgewiesen, in denen eine maßvolle Verdichtung der Bebauung unter klimatisch-lufthygienischen Aspekten möglich ist.

Alle in der Karte dargestellten Hinweise beinhalten jeweils mehrere **Handlungsempfehlungen** zur Verbesserung des Klimas. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Anwendung einzelner Maßnahmen i.d.R. nur geringe bis keine Effekte hervorruft. Die Verbesserung des Klimas wird umso effektiver, je mehr Maßnahmen gebündelt angewendet werden können.

8.2.1.1 Planungshinweiskarte – Inhalte der ersten Darstellungsebene (Planräume)

Industrieklimatischer und gewerblicher Lastraum

In Industrie- und Gewerbegebieten ist, insbesondere wenn sich diese in unmittelbarer Umgebung und im Luv von Wohnsiedlungen befinden, auf eine Ansiedlung möglichst emissionsarmer Betriebe zu achten. Zudem sollten die Emissionen aus dem Schwerlastverkehr und der Abwärme reduziert werden. Eine Erhöhung des Grünflächenanteils, auch in Form von Dach- und Fassadenbegrünungen, ist ebenso erstrebenswert wie die Entsiegelung und Begrünung großflächiger Industrie- und Gewerbebrachen.

Legende

Flächenfarbe: Grau.

Klimatischer Lastraum

In den klimatischen Lasträumen treten die negativen Ausprägungen des Stadtklimas am deutlichsten hervor. Diese Planräume beschränken sich im Wesentlichen auf den Innenstadtbereich. Zur Verbesserung der klimatischen und lufthygienischen Situation in diesen stark urban geprägten Siedlungsgebieten sollte der Anteil verdunstungsaktiver Flächen, dazu gehören Grün-, Frei- und Wasserflächen, erhöht werden. Von einer weiteren Verdichtung der Bebauung innerhalb der klimatischen Lasträume ist abzusehen. Hingegen sollten nach Möglichkeit Entsiegelungs- und Begrünungsmaßnahmen (z. B. von Innenhöfen) erfolgen. Bei fehlender Entsiegelungs- und Rückbaumöglichkeiten können Dach- und Fassadenbegrünungen als Alternative zur Steigerung des Grünflächenanteils dienen. Insbesondere in stark frequentierten Straßen mit eingeschränkten atmosphärischen Austauschbedingungen sind zudem eine Emissionsminderung sowie die Auflockerung der Randstrukturen zu forcieren, um der Spurenstoffanreicherung in diesen Bereichen entgegen zu wirken. Zur weiteren Verbesserung der klimatischen und lufthygienischen Situation sollte die Be- und Entlüftung durch Verbindung mit klimatischen Ausgleichsräumen im Umland in Form von Luftleitbahnen und Grünflächenvernetzungen gefördert werden.

Legende

Flächenfarbe: Rot.

Klimatischer Ungunstraum

Als klimatische Ungunsträume sind neben den an den Lastraum der Innenstadt angrenzenden Bereichen in unterschiedlichem Ausmaß auch Teile des Siedlungsgebietes Böckingen zu bezeichnen. Eine zunehmende Verdichtung der vorhandenen Bebauungsstruktur ist generell zu vermeiden. Bei unabwendbaren Bebauungsmaßnahmen sollten jedoch bestehende Luftleitbahnen und Grünflächenvernetzungen erhalten bleiben und ein Frei- und Grünflächenausgleich unter Einsatz von Dach-, Fassaden- und Straßenraumbegrünungen geschaffen werden. Des Weiteren sind in diesen Bereichen ebenfalls die Entsiegelung und Begrünung von Innenhöfen sowie die Auflockerung von Randstrukturen und eine Emissionsminderung in Straßen mit erhöhtem Verkehrsaufkommen und/oder eingeschränkten atmosphärischen Austauschbedingungen anzustreben. Die Vernetzung mit Freiflächen im städtischen Umland ist auch für die Be- und Entlüftung der klimatischen Ungunsträume von großer Bedeutung, da diese insbesondere auch das Bindeglied zwischen den Last- und Ausgleichsräumen darstellen.

Legende

Flächenfarbe: Orange.

Übergangsbereich zwischen Last- und Ausgleichsraum

Als Übergangsbereiche mit sowohl positiven als auch negativen klimatisch-lufthygienischen Ausprägungen sind weiträumig die zumeist locker bebauten und mit erhöhtem Grün- und Freiflächenanteil versehenen Siedlungsbereiche anzusehen, welche sich um die klimatischen Last- und Ungunsträume erstrecken. Insbesondere am Siedlungsrand ist zur Erhaltung und Verbesserung des Austauschs zwischen den Last- und Ausgleichsräumen eine Riegelbebauung zu vermeiden. Bei weiteren Bebauungsmaßnahmen ist unbedingt die Vernetzungsfunktion der Grünflächen zu beachten und zu bewahren. Insgesamt sollte der vorhandene Grün- und Freiflächenanteil sowie deren Vernetzung in Richtung Siedlungskerne erhalten bleiben bzw. ausgebaut werden.

Legende

Flächenfarbe: Gelb.

Klimatischer Ausgleichsraum

Die klimatischen Ausgleichsräume umfassen die hauptsächlich landwirtschaftlich genutzten Freiräume im Umland der urban geprägten Siedlungskörper. Sie stellen wichtige klimatische und lufthygienische Ausgleichspotentiale dar und sollten daher möglichst erhalten bleiben und ausgebaut werden. Von entscheidender Bedeutung ist jedoch die Vernetzung dieser Ausgleichsräume mit den klimatischen Last- und Ungunsträumen innerhalb des Stadtgebietes. Hierzu ist die Erhaltung

bestehender Luftleitbahnen, die Schaffung neuer Be- und Entlüftungsschneisen sowie die Auflockerung und Beseitigung von Strömungshindernissen erforderlich. Zudem sollte die Ansiedlung weiterer Emittenten in diesen Bereichen verhindert werden.

Legende

Flächenfarbe: Hellblau.

Innerstädtische Grünflächen

Innerstädtische Grünflächen, wie z. B. Alter Friedhof, Stadtgarten und Friedensplatz stellen lokalklimatische Ausgleichsflächen innerhalb der Siedlungsstrukturen dar. Zur Förderung der ausgleichenden Wirkung ist eine Vernetzung von Grünflächen sowohl untereinander als auch mit dem Freiland erforderlich. Hierzu sollten bestehende Grünflächen erweitert und wo möglich auch die Neuanlage von Parks, beispielsweise auf alten Industrie- und Gewerbebrachen, als Ziel gesetzt werden. Im Stadtrandbereich bieten sich hierzu die Grünflächen Pfühlpark, Hauptfriedhof, Cäcilienbrunnen und Stahlbühlwiesen, Landwehr, der Neckarbogen sowie der Grünflächenkomplex beiderseits des Neckars (Wertwiesen und Böckinger Seewiesen) an. Dichte, geschlossene Randstrukturen sollten vermieden bzw. aufgelockert werden, um die Verzahnung mit der angrenzenden Bebauung zu fördern bzw. herzustellen. Auf eine Versiegelung und Ansiedlung von Emittenten in diesen Bereichen sollte verzichtet werden.

Legende

Flächenfarbe: Hellgrün.

Wald- und Forstgebiete

Größere geschlossene Wald- und Forstgebiete, wie z. B. die östlichen Heilbronner Berge dienen als Frischluftproduzenten und mit Einschränkung auch als Kaltluftproduzenten (s. Kap. 8.1.1.1 *Klimatop „Waldklima“*). Sie können bei entsprechender Vernetzung mit den klimatischen Last- und Ungunsträumen daher ebenfalls als klimatische Ausgleichsräume fungieren. Eine Ansiedlung von Emittenten kann die Funktion der Frischluftproduktion beeinträchtigen und ist daher zu vermeiden.

Legende

Flächenfarbe: Dunkelgrün.

Gewässer

Wasserkörper haben insbesondere eine thermisch ausgleichende Wirkung. Diese gilt es durch die Vernetzung mit angrenzenden Bebauungsstrukturen zu nutzen. Hierzu sollte insbesondere entlang des Neckarufers im Innenstadtbereich auf eine weitere Riegelbebauung verzichtet und bestehende Strömungshindernisse beseitigt oder aufgelockert werden. Zudem sollte die Neuanlage offener Wasserflächen in hochversiegelten Bereichen zur Verbesserung der mikroklimatischen Verhältnisse angestrebt werden.

Legende

Flächenfarbe: Blau.

8.2.1.2 Planungshinweiskarte – Inhalte der zweiten Darstellungsebene (Planungshinweise)

Luftaustausch

Luftleitbahn erhalten

Bei Luftleitbahnen, auch als Ventilations- oder Durchlüftungsbahnen bezeichnet, handelt es sich um Flächen, die aufgrund geringer Rauigkeit (keine hohen Gebäude, nur einzelnstehende Bäume oder Gewässerflächen), größerer Breite und nur leicht gekrümmte Ausrichtung den bodennahen Luftmassenaustausch zwischen Umland und Stadt ermöglichen. Vor allem bei Schwachwindlagen können Luftleitbahnen von großer Bedeutung für die klimatische Entlastung innerstädtischer Gebiete sein. Das Relief kann die Funktion als Luftleitbahn unterstützen. Breite, geradlinige Straßen oder Bahnanlagen können Luftleitbahnen darstellen. Luftleitbahnen können je nach Nutzung und Emissionen lufthygienisch beeinträchtigt sein. In Heilbronn stellen der Neckar und die Kanäle bzw. Hafenbecken sowie die vielgleisigen Bahnanlagen im Umfeld des Hauptbahnhofes effiziente Luftleitbahnen dar. Von einer Riegelbebauung in den Luftleitbahnen sowie einer Ansiedlung weiterer Emittenten sollte abgesehen werden. Hingegen ist eine Förderung bzw. Herstellung der Vernetzung mit den angrenzenden Siedlungsgebieten zu realisieren.

Legende

Schwarzer geränderter Doppelpfeil, wenn lufthygienisch belastet: Rot.

Belüftungsbahnen, Kaltluftströmungen

Hierbei handelt es sich um weite, rauigkeitsarme Flächen im Freilandbereich, die während strahlungsnightlicher Kaltluftbildung aufgrund der Reliefgestalt einen weiträumigen, gerichteten Kaltluftabfluss in Richtung Bebauung begünstigen. Unter normalen Witterungsbedingungen haben

diese Flächen jedoch keine Bedeutung für den Luftaustausch. Um einen ungestörten Kaltlufttransport zu gewährleisten, sind die Senken und ihrer Hänge von Strömungshindernissen (höhere oder riegelbildende Bebauung, Baumhecken Gehölzen) freizuhalten. Die (weitere) Ansiedlung von Emittenten (auch Massentierhaltung) ist zu vermeiden.

Legende

Blauer gefüllter Pfeil.

Austausch und Vernetzung fördern bzw. herstellen

Hierdurch werden Bereiche innerhalb des Stadtgebietes von Heilbronn gekennzeichnet, in denen durch gezielte Maßnahmen, wie der Schaffung und Freihaltung von Luftleitbahnen oder der Auflockerung und Vermeidung von Strömungshindernissen, der Austausch und die Vernetzungsfunktion zwischen den klimatischen Last- bzw. Ungunsträumen und klimatischen Ausgleichsräumen gefördert bzw. hergestellt werden kann.

Legende

Einfacher schwarzer Doppelpfeil.

Lokale Hinweise

Vernetzung städtischer Grünzüge

Die Wirkung der innerstädtischen Grünflächen kann durch Vernetzung untereinander gestärkt werden, da sich ihre Wirkung dann auf größere Gebietsbereiche ausdehnt. Wenn die Grünflächen zusätzlich an das Freiland angebunden werden können (z. B. über Ventilationsbahnen), ist durch den Zufluss positiv wirkender Freilandluft eine weitere Verbesserung des Klimas in der Bebauung möglich. In den markierten Gebietsbereichen ist aufgrund der bereits relativ lockeren Bebauung und des hohen Grünflächenanteils das Vernetzungspotenzial besonders groß. Zur Umsetzung der Vernetzung sollten die auf engem Raum, aber verstreut liegenden Grünflächen zu parkähnlichen Freiflächen mit hohem Wiesen- und geringem Gehölzanteil ausgebaut werden. Dabei sollten Hausgärten und Innenhöfe mit einbezogen werden. Weitere Bebauung und Ansiedlung Emittenten sind zu vermeiden. Für den Baubestand sind Dach- und Fassadenbegrünung anstreben. Für die weitere Vernetzung untereinander und zur Anbindung an Luftleitbahnen sind ggf. Bauungsriegel aufzubrechen.

Legende

Dunkelgrüne Schrägschraffur.

Keine weitere Bebauung oder Emittenten

In besiedelten Tälern und Senken (z. B. Biberach und Kirchhausen), und insbesondere in nachgewiesenen Kaltluftammelgebieten (z. B. Westrand von Frankenbach), ist aufgrund möglicher Strömungsriegelbildung und einer potentiellen Spurenstoffanreicherung von einer weiteren Ausweisung und Ausweitung von Wohngebieten sowie der Ansiedlung von Emittenten abzusehen.

Legende

Weißes Gebäudesymbol auf schwarzem Grund.

Maßvolle Verdichtung möglich

In locker bebauten Siedlungsgebieten mit vergleichsweise günstigen klimatischen und lufthygienischen Verhältnissen (geringe nächtliche Überwärmung; keine größeren Emissionsquellen) ist eine weitere maßvolle Verdichtung möglich. Dies gilt insbesondere für die oberen Hang- und Kuppenlagen der westlichen Vororte. Derartige Strukturen lassen sich beispielsweise in Biberach, Kirchhausen, Frankenbach oder Klingenberg vorfinden.

Legende

Schwarzes Gebäudesymbol auf weißem Grund

8.3 Flächenänderungen, die nicht in der Realnutzungskartierung (Basis für Klimaanalysekarte und Planungshinweiskarte) enthalten sind

Die Klimaanalysekarte und die Planungshinweiskarte basieren auf der Realnutzungskartierung, die am 07.11.2016 vom Grünflächenamt der Stadt Heilbronn bereitgestellt wurde. Dieses Datum entspricht dem Arbeitsstand der Realnutzungskartierung, enthält jedoch nicht alle aktuellen Flächenplanungen im Stadtgebiet Heilbronn. Die Realnutzungskartierung diene als **verbindliche** Arbeitsgrundlage für diese Stadtklimaanalyse. Flächenplanungen, die nach dem Arbeitsstand der Realnutzungskartierung eingeleitet wurden bzw. in der Realnutzungskartierung nicht berücksichtigt sind, sind somit auch nicht in der Stadtklimaanalyse bzw. der Planungshinweiskarte berücksichtigt.

Auf Wunsch des Auftraggebers werden an dieser Stelle laufende Planungen auf ihre Berücksichtigung in der Klimaanalysekarte und der Planungshinweiskarte überprüft. Sofern keine Übereinstimmungen der Planungen mit den beiden Karten gegeben sind, werden diese tabellarisch für die beiden Karten klassifiziert und stichpunktartige Hinweise auf besondere Auffälligkeiten gegeben, siehe **Tab. 8-1**. Zur räumlichen Lage der Plangebiete siehe die Ausschnittvergrößerungen der Planungshinweiskarte in den **Abb. 8-3** bis **Abb. 8-6**.

Tab. 8-1: Hinweise und Nachträge zu Flächenänderungen, die nicht in der RNK dargestellt sind.

Nr.	Plan-Art	Plan-Datum	Plan-Name	Flächennutzung	Klimaanalysekarte		Planungshinweiskarte		Anmerkungen / Hinweise
					Klimatop Bestand	Klimatop neu	Klimaraum Bestand	Klimaraum neu	
1	Bebauungsplan 34/24	23.11.1989 - Rechtskraft	Ehem. Sportplatz Grunewaldstrasse Heilbronn-Böckingen - M1: 500	Wohngebiet	Innerstädtische Grünfläche	Stadtrand	Innerstädtische Grünfläche	Übergangsbereich	unbedenkliche Nachverdichtung
2	Anpassung des FNP 2003	08.12.2005 - Rechtskraft	Bei dem Schloss Horkheim - M 1:10 000	Wohnbaufläche stark durchgrünt	Freiland	Stadtrand	Übergangsbereich	←	unbedenkliche Nachverdichtung
3	Bebauungsplan 37/25	14.02.2008 - Rechtskraft	Südlich Limesstrasse Heilbronn-Böckingen - M 1:500	Wohngebiet	Gewerbe, Innerstädtische Grünfläche	Stadtrand	Gewerbe	Übergangsbereich	Klimatische Verbesserung
4	Bebauungsplan 123/16	01.06.2011 - Rechtskraft	Wittmäcker-West Heilbronn-Kirchhausen - M 1: 500	Wohngebiet	Freiland	Stadtrand	Übergangsbereich	←	unbedenkliche Nachverdichtung
5	Anpassung des FNP 2003	29.12.2011 - Rechtskraft	Heisenbergstr. Biberach - M 1:10 000	Gewerbliche Baufläche	Verkehrsfläche, Freiland	Gewerbe	Gewerbe	←	unbedenkliche Nachverdichtung
6	Anpassung des FNP 2003	11.07.2013 - Rechtskraft	Endberger Weg Horkheim - M 1:10 000	Sonderbaufläche (Reitanlage)	Freiland	Gewerbe	Ausgleichsraum	Gewerblicher Lastraum	unbedenklich, wenn immissionsfrei
7	Bebauungsplan 09B/21	08.08.2013 - Rechtskraft	Bildungscampus II Heilbronn - M 1:500	Sonderbaufläche (Hochschule)	Innerstädtische Grünfläche	Stadt	Gewerbe	←	unbedenkliche Nachverdichtung
8	Anpassung des FNP 2003	28.11.2013 - Rechtskraft	Sonnenbrunnen Böckingen - M 1:10 000	Gemischte Baufläche (Kerngebietsorientiert)	Freiland, Stadt	Gewerbe	Klimatischer Ungunstraum	Gewerblicher Lastraum	unbedenkliche Nachverdichtung
9	Anpassung des FNP 2003	17.04.2014 - Rechtskraft	Bernhäusle Neckargartach - M 1:10 000	Wohnbaufläche stark durchgrünt	Freiland	Stadtrand	Ausgleichsraum	Übergangsbereich	Beachte: Gebäudeausrichtung möglichst längs zu Kaltluftströmen zur Vermeidung von Strömungsriegeln
10	Bebauungsplan 43/7	17.04.2014 - Rechtskraft	Bernhäusle Neckargartach - M 1:2 000	Wohnbaufläche stark durchgrünt	Freiland	Stadtrand	Ausgleichsraum	Übergangsbereich	Beachte: Gebäudeausrichtung möglichst längs zu Kaltluftströmen zur Vermeidung von Strömungsriegeln
11	Anpassung des FNP 2003	07.08.2014 - Rechtskraft	Riedpfad Heilbronn-Frankenbach - M 1:10 000	Sonderbaufläche (Reitanlage)	Freiland	←	Ausgleichsraum	Ausgleichsraum	Klimatisch unbedenklich
12	Anpassung des FNP 2003	24.12.2014 - Rechtskraft	Hochschulcampus Heilbronn - M 1:10 000	Sonderbaufläche (Hochschule)	Verkehrsfläche, Gewerbe	Gewerbe	Gewerbe	←	unbedenkliche Nachverdichtung
13	Anpassung des FNP 2003	24.12.2014 - Rechtskraft	Südl. Sinsheimer Str. Böckingen - M 1:10 000	Sonderbaufläche (Sportvereinszentrum)	Innerstädtische Grünfläche	Stadtrand	Übergangsbereich	←	Klimatisch unbedenklich
14	Rahmenplan Neckarbogen	02.05.2016 - Entwurf	Rahmenplan Neckarbogen - M 1: 1000	Diverse	Überwiegend Freiland (Brache) und Gewerbe	Stadt	Überwiegend Innerstädtische Grünfläche und Gewerbe	Klimatischer Ungunstraum	Details siehe sep. Gutachten: IBR, 2014: Klimauntersuchung §"Heilbronn-Neckarbogen" für den Planungsstand 03/2014.
15	Bebauungsplan 46/15	06.09.2016 - Gefertigt	Klingenäcker Heilbronn - Sontheim - M 1: 500	Wohngebiet	Freiland, Innerstädtische Grünfläche	Stadtrand	Ausgleichsraum	Übergangsbereich	Details siehe sep. Gutachten: IBR, 2012: Aktualisierung des klimatologischen Gutachtens zur Beurteilung der stadtklimat. Auswirkung im Bereich Klingenäcker.
16	Bebauungsplan 03/28	21.11.2016 - Gefertigt	Hotel Stadtgarten Heilbronn - M 1: 500	Sonderbaufläche (kulturelle Einrichtung+Hotel+Boardinghaus)	Überwiegend Innerstädtische Grünfläche	←	Überwiegend Innerstädtische Grünfläche	←	Details siehe sep. Gutachten: IBR 2017: Numerische mikroklimatische Simulation Hotel Stadtgarten Heilbronn
17	Bebauungsplan 113/6	24.01.2017 - Gefertigt	Mühlberg/Finkenberg Heilbronn-Biberach - M 1: 1000	Wohngebiet+Grünfläche	Freiland, Innerstädtische Grünfläche	Stadtrand	Ausgleichsraum	Übergangsbereich	Beachte: Gebäudeausrichtung möglichst längs zu Kaltluftströmen zur Vermeidung von Strömungsriegeln

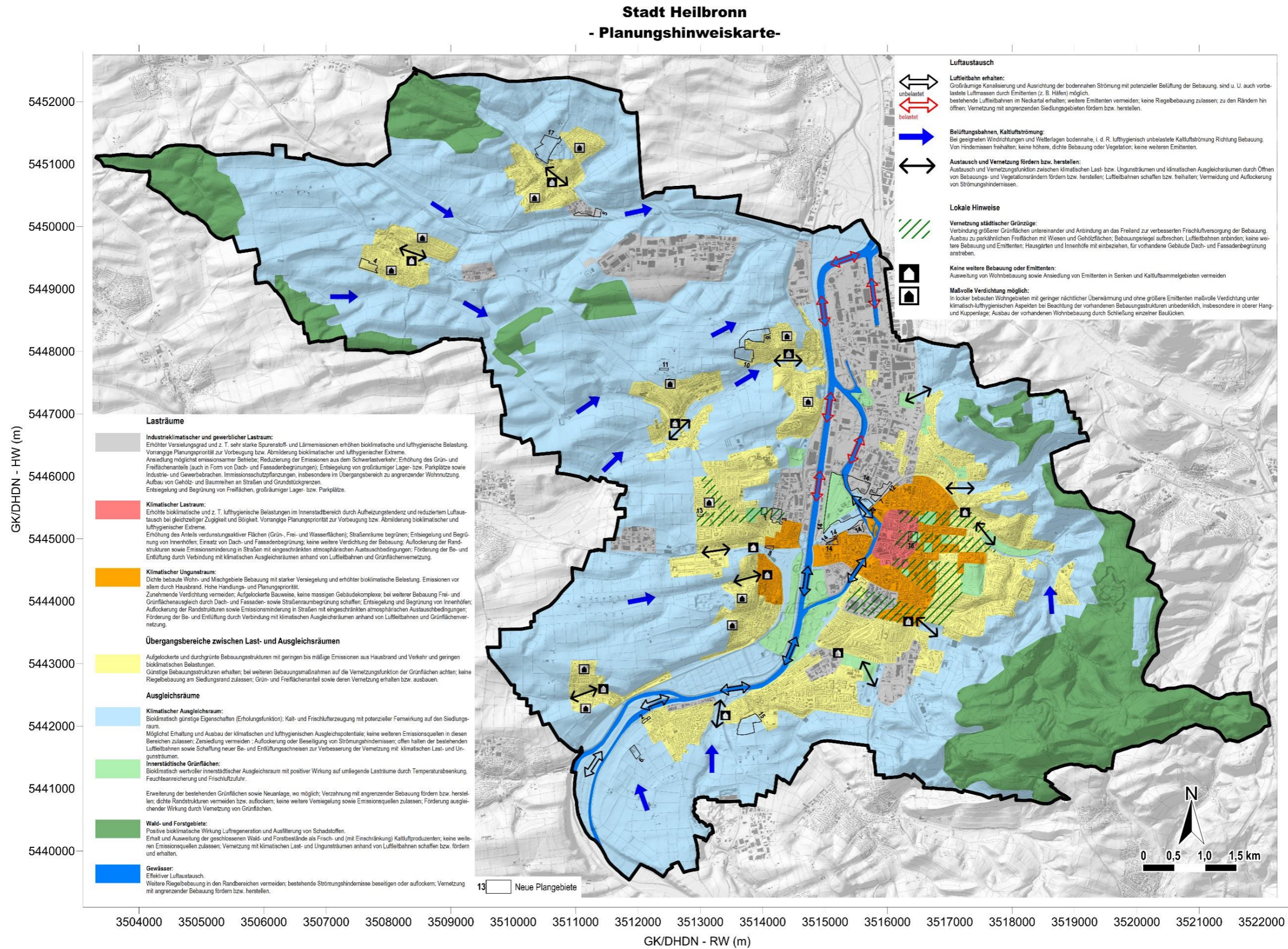


Abb. 8-2: Planungshinweiskarte der Stadt Heilbronn
(Quelle: Kartengrundlage aus RK10, DGM10 ©Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg www.lgl-bw.de, Az.: 2851.9-1/19).

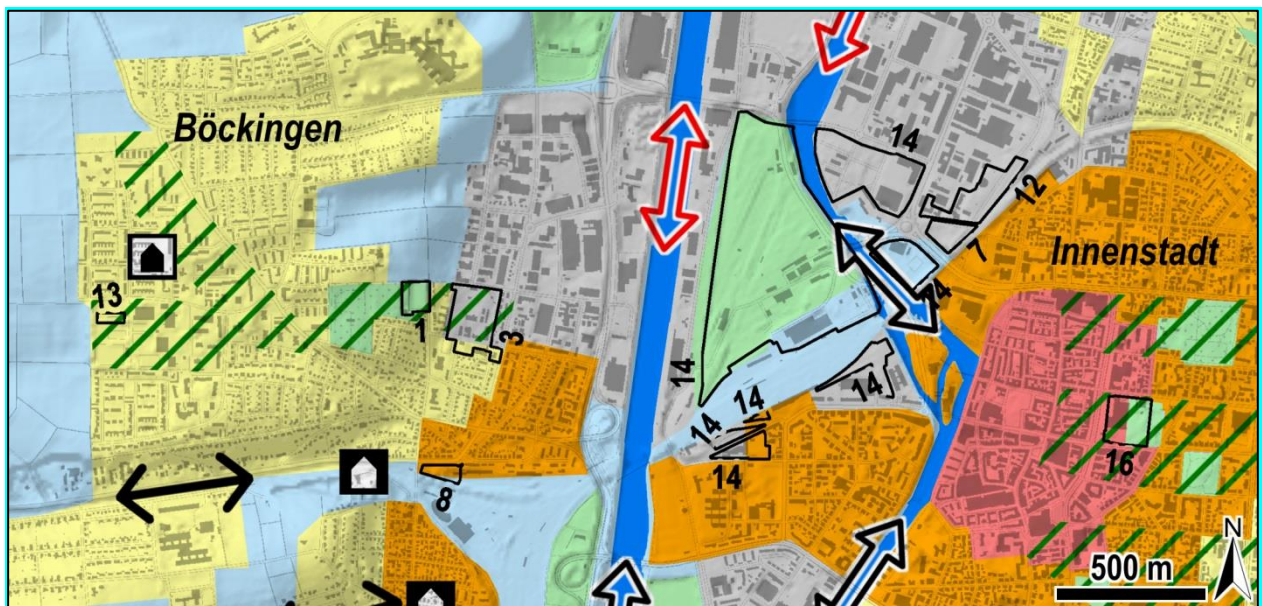


Abb. 8-3: Ausschnittvergrößerungen der Planungshinweiskarte zur Lage der Plangebiete (Plangebiete 1, 3, 7, 8, 12, 14, 16).

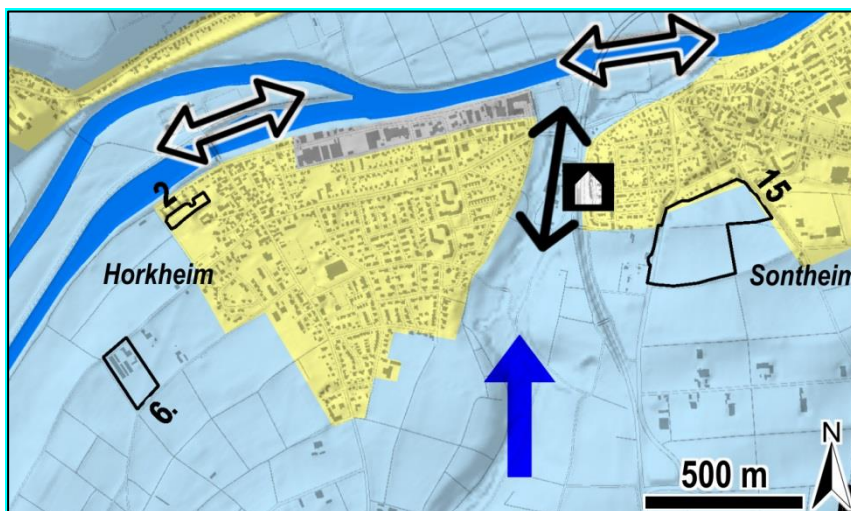


Abb. 8-4: Ausschnittvergrößerungen der Planungshinweiskarte zur Lage der Plangebiete (Plangebiete 2, 6, 15).

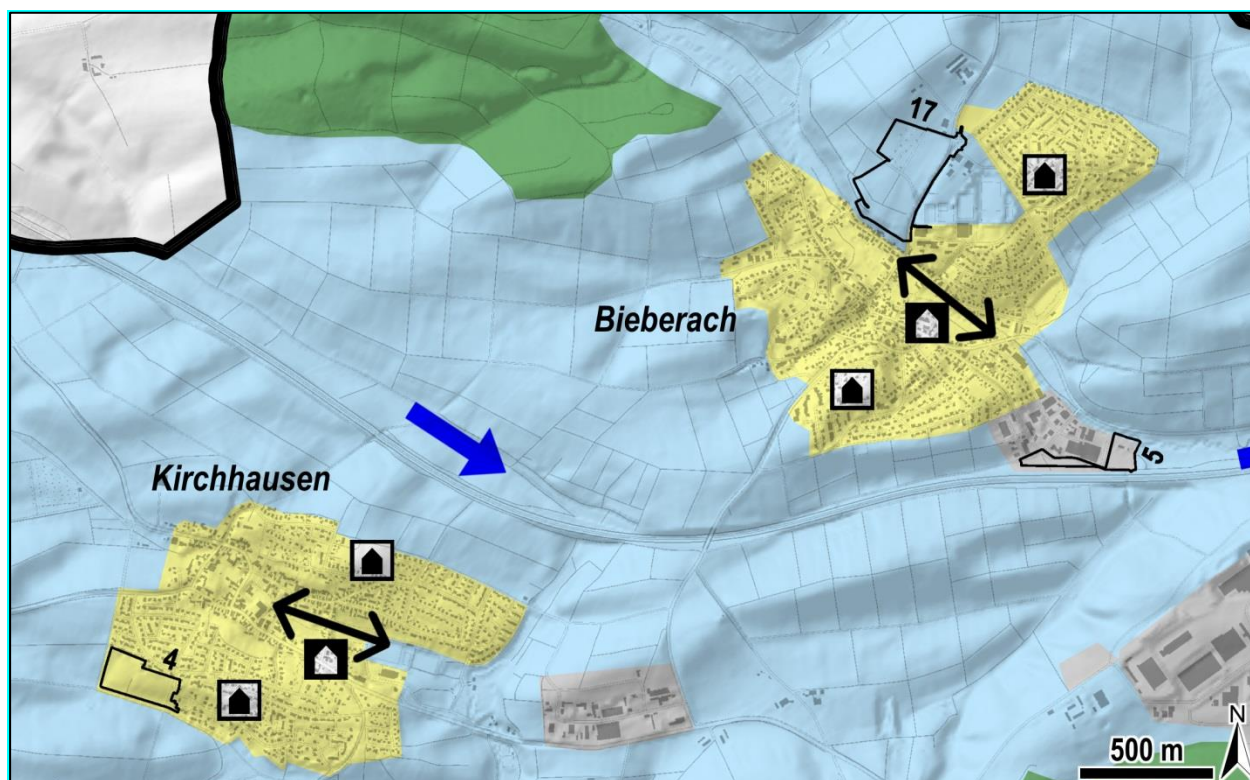


Abb. 8-5: Ausschnittvergrößerungen der Planungshinweiskarte zur Lage der Plangebiete (Plangebiete 4, 5, 17)

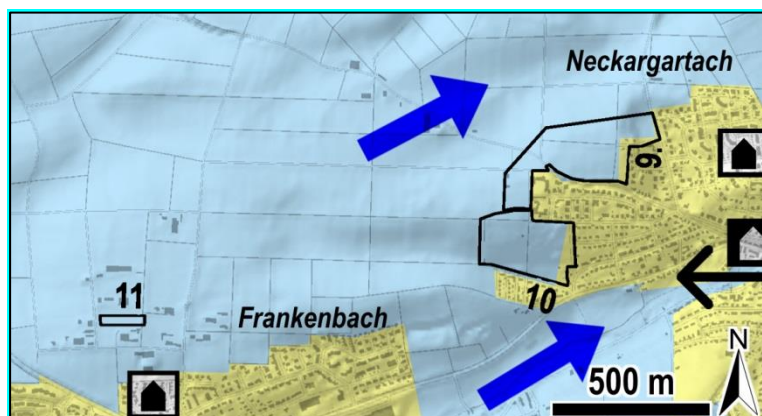


Abb. 8-6: Ausschnittvergrößerungen der Planungshinweiskarte zur Lage der Plangebiete (Plangebiete 9, 10, 11)

9 Fazit und Ausblick

Mit der vorliegenden Klimaanalyse und der darin enthaltenen **Klimaanalysekarte** und **Planungshinweiskarte** wurde ein Planungswerkzeug geschaffen, das die heutige klimatische Situation für das gesamte Heilbronner Stadtgebiet beschreibt und bewertet. Um die Aussagen und Erkenntnisse dieser Klimaanalyse in der Planungspraxis effizient anwenden zu können, wurde ergänzend als Flächenbewertungskonzept ein **Klimamanagementsystem** erstellt. Dieses im Geoinformationssystem (GIS) der Heilbronner Stadtverwaltung bereitgestellte Werkzeug ermöglicht auf Basis objektiver, maßzahlenbasierter Indikatoren die objektive und quantitative Ersteinschätzung der klimatisch-lufthygienischen Situation kommunaler Flächen auf der großmaßstäbigen Ebene der Realnutzungskartierung. Das Klimamanagementsystem dient dazu, im Planungsprozess Flächen und Quartiere als Last- oder Ungunsträume mit Handlungsbedarf oder als Ausgleichsraume mit Schutzbedarf zu identifizieren. Mit den drei Werkzeugen Klimaanalysekarte, Planungshinweiskarte und Klimamanagementsystem ist es somit in der Umweltplanung möglich, zukünftige Flächeneingriffe bezüglich der Schutzgüter „Klima“ und „Luft“ im Rahmen der Ersteinschätzung zu beurteilen und deren klimaökologische Relevanz zu ermessen, um ggf. mit erforderlichen Verbesserung- oder Schutzmaßnahmen reagieren zu können.

Diese Klimaanalyse kann auch als Datenbasis zur Abschätzung möglicher Folgen des **Klimawandels** dienen. Auf Grundlage der nun vorliegenden klimatischen Gliederung Heilbronns mit seinen klimatischen Gunst-, Ungunst- und Lasträumen und den beschriebenen zukünftigen Heilbronner Klimaverhältnissen wird empfohlen, im Sinne der Umweltvorsorge im nächsten Schritt die Klimawandelbetroffenheit Heilbronns zu ermitteln und darauf aufbauend geeignete **Anpassungskonzepte** zu entwickeln. Wie die Klimawandelprojektionen gezeigt haben, scheint in den Themenfeldern der sommerlichen **Hitzebelastung** und der **Starkregenschäden** ein Handlungsschwerpunkt zu liegen. Da derzeit (Stand 2017) für die Erstellung von kommunalen Klimawandelanpassungskonzepten öffentliche Fördermittel aus dem Bundeshaushalt zur Verfügung stehen, bietet sich die zeitnahe Bearbeitung dieses Themas an.

10 Literatur

- BauGB (2015): Baugesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 23. September 2004 (BGBl. I S. 2414), das zuletzt durch Artikel 6 des Gesetzes vom 20. Oktober 2015 (BGBl. I S. 1722) geändert worden ist.
- BAUMÜLLER, J. & U. REUTER (2003): Umweltmeteorologie und Planung. – promet 30, Nr. 1/2, 48 – 56.
- BIGALKE, K., AHRENS, D., RAU, M. (2008): Synthetische Ausbreitungsklassenstatistiken zur Verwendung in Immissionsprognosen - Eine Alternative zu "klassischen" Übertragungsverfahren. Gefahrstoffe - Reinhalt. Luft, 68, 326-333.
- BIGALKE, K., RAU, M. et al. (2013): Dokumentation - Synthetische Ausbreitungsklassenstatistiken - SynAKS für Deutschland - Berechnung - Qualitätssicherung - Anwendung (Version 1.1), Pinneberg, Heilbronn. Download unter www.metsoft.de.
- BONGARDT, B. (2006): Stadtklimatische Bedeutung kleiner Parkanlagen - dargestellt am Beispiel des Dortmunder Westparks. = Essener Ökologische Schriften, Band 24 (2006), 228 S., Westarp-Wissenschaften, ISBN 389432 1105.
- BRANDT, K.: Die ökonomische Bewertung des Stadtklimas am Beispiel der Stadt Essen. = Essener Ökologische Schriften, Band 25, 112 S., Westarp-Wissenschaften, ISBN 389432 1116.
- DANZEISEN, H. (1983): Experimentelle Untersuchung bodennaher Lufttemperatur- und Feuchteverteilungen in Stadtgebieten mit Hilfe eines Meßwagens. – In: Beitr. Landespf. Rheinland-Pfalz, 9, 7 - 34.
- DE GREF, P. (2009): Rotterdam Watercity 2030. The Flood: an opportunity for an attractive city. <http://www.rotterdamclimateinitiative.nl>.
- DIERER, S.(1997): Die Validierung des mesoskaligen Transport- und Strömungsmodells MET-RAS. Diplomarbeit, Meteorologisches Institut, Universität Hamburg.
- DÜTEMEYER, D. (2000): Urban-orographische Bodenwindssysteme in der städtischen Peripherie Kölns. – Essener Ökologische Schriften, 12. 171 S. Hohenwarsleben, zgl. Diss. Univ. Essen 1999.
- DÜTEMEYER, D., BARLAG, A.-B., KUTTLER, W., AXT-KITTNER, U. (2013): Stadtklimatisches Flächenmanagement in der kommunalen Umweltplanung. – UVP-Report 27, Heft 3/13, 173 -179.
- DWD (2003): Der Rekordsommer 2003. – Pressemitteilung vom 28.08.2003. Deutscher Wetterdienst, Offenbach

- DWD (2016a): CDC (Climate Data Center) - Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes – Multi-annuelle Beobachtungsdaten. Deutscher Wetterdienst, Offenbach
ftp://ftpcdc.dwd.de/pub/CDC/observations_germany/climate/multi_annual/mean_61-90.
- DWD (2016b): Monatliche Großwetterlagenklassifikation sowie die objektive Wetterlagenzuordnung. Deutscher Wetterdienst, Offenbach <https://www.dwd.de/DE/leistungen/grosswetterlage/grosswetterlage.html>.
- EnEV (2015): Energieeinsparverordnung vom 24. Juli 2007 (BGBl. I S. 1519), die zuletzt durch Artikel 3 der Verordnung vom 24. Oktober 2015 (BGBl. I S. 1789) geändert worden ist.
- GERSTENGARBE, F.-W. U. WERNER, P.C. (2010): Katalog der Großwetterlagen Europas (1881 – 2009) nach Paul Hess und Helmut Brezowsky, 7. verbesserte und ergänzte Auflage. PIK Report, 119, 146 S.
- GORCZINSKI, w. (1920): Sur le calcul du degré de continentalisme et son application dans la climatologie. In: Geografiska Annaler 2, pp. 324–331.
- HANSCH ET AL (2006): Frankenbacher Schotter; Die Kiesgrube Ingelfinger als Geotop und Biotop – ein geplantes Naturschutzgebiet bei Heilbronn, 46 S., Stuttgart.
- HANSCH, W. & ROSENDAHL, W. (Hrsg) (2008): museo 24, 600.000 Jahre Zeitgeschichte am Neckar. Das Naturschutzgebiet "Frankenbacher Schotter" bei Heilbronn, Heilbronn.
- HUPFER, P. & W. KUTTLER (Hrsg.) (2006): Witterung und Klima. Eine Einführung in die Meteorologie und Klimatologie. 12., überarbeitete Auflage. 554 S. Teubner Verlag, Wiesbaden.
- IPCC (2007): Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. In: Klimaänderung 2007: Wissenschaftliche Grundlagen. Beitrag der Arbeitsgruppe I zum Vierten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderung (IPCC), Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor und H.L. Miller, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom und New York, NY, USA. Deutsche Übersetzung durch ProClim-, österreichisches Umweltbundesamt, deutsche IPCC-Koordinationsstelle, Bern/Wien/Berlin, 2007
- Gerstengarbe, F.W. & Werner, P.C. (2005): Das NRW-Klima im Jahr 2055. – In: LÖBF-Mitteilungen 5/05, 15 – 18
- JENDRITZKY, G., BRÖDE, P., FIALA, D., HAVENITH, G., WEIHS, P., BATCHVAROVA, E., DE DEAR, R. (2010): The Universal Thermal Climate Index UTCI. Berichte des Meteorologischen Instituts der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Nr. 20, April 2010 - Proceedings of the 7th Conference on Biometeorology, 184-188
- KÖPPEN, w. (1931): Grundriss der Klimakunde (Outline of climate science). Walter de Gruyter, Berlin, 388 pp.

- KREIENKAMP, F., SPEKAT, S. (2008): IDP – Ein Werkzeug zur explorativen Datenanalyse. Climate and Environment Consulting Potsdam GmbH, Potsdam.
- KUTTLER, W. (1993): Planungsorientierte Stadtklimatologie. Aufgaben, Methoden und Fallbeispiele. – Geogr. Rdsch., 45, 95 - 106.
- KUTTLER, W. (2004a): Stadtklima - Teil 1: Grundzüge und Ursachen. – In: UWSF – Z Umweltchem Ökotox 16 (4) 187 – 199.
- KUTTLER, W. (2004b): Stadtklima, Teil 2: Phänomene und Wirkungen. – In: UWSF – Zeitschrift Umweltchemie und Ökotoxikologie, Vol. 16, Nr. 4, S. 263-274.
- KUTTLER, W. (2008): The Urban Climate - Basic and Applied Aspects. Editors: Marzluff, J.M., E. Shulenberg, W. Endlicher, M. Alberti, G. Bradley, C. Ryan, U. Simon, C. Zumbrennen. Urban Ecology - An International Perspective on the Interaction between Humans and Nature, Springer, pp. 233-248.
- KUTTLER, W. (2009): Klimatologie. UTB 3099, Ferdinand Schöningh, Paderborn, München, Wien, Zürich, 260 S.
- KUTTLER, W., MIETHKE, A., DÜTEMEYER, D., BARLAG, A.-B. (2014): Das Klima von Essen. 258 S. Westarp, Hohenwarsleben.
- LAUTENSCHLAGER, M., KEULER, K., WUNRAM, C., KEUP-THIEL, E., SCHUBERT, M., WILL, A., ROCKEL, B. BOEHM, U. (2009): Climate Simulation with CLM, Scenario A1B run no. 1, Data Stream 3: European region MPI-M/MaD. World Data Center for Climate. [doi: 10.1594/WDCC/CLM_A1B_1_D3]
http://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/Entry.jsp?acronym=CLM_A1B_1_D3.
- LÜBKES, C., Schlünzen, K.H. (1996): Modelling the arctic convective boundary-layer with different turbulence parameterizations. Boundary-Layer Meteorol., 79, 107-130.
- MATZARAKIS, A. (2010): RayMan Pro 2.1 – Modelling of mean radiant temperature in urban structures. Calculation of thermal indices. Freiburg.
- MATZARAKIS, A. & MAYER, H. (1992): Mapping of urban air paths for planning in Munich. – In: Wiss. Ber. Inst. Meteorol. Klimaforsch. Univ. Karlsruhe, 16, 13 - 22.
- MATZARAKIS, A., RUTZ, F., MAYER, H. (2007): Modelling Radiation fluxes in simple and complex environments – Application of the RayMan model. International Journal of Biometeorology 51, 323-334.
- MAYER, H. (2006): Indizes zur human-biometeorologischen Bewertung der thermischen und luft-hygienischen Komponente des Klimas. Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft 66, 4, 165-174.

- MAYER, H., BECKRÖGE, W. & A. MATZARAKIS (1994): Bestimmung von stadtklimarelevanten Luftleitbahnen. – UVP-Report, 5, 265 -268.
- MONTEITH, J. L. (1978): Grundzüge der Umweltphysik. 183 S. Steinkopff, Darmstadt.
- MÜLLER, M. J. (1996): Handbuch ausgewählter Klimastationen der Erde. 5. Auflage. Forschungsstelle Bodenerosion der Universität Trier, 400 pp.
- MÜLLER, TH., OBERDORFER, E. (1974): Die potentielle natürliche Vegetation von Baden-Württemberg. Beih. Veröff. Naturschutz und Landschaftspflege Ba.-Wü., 6, 45 S., Ludwigsburg.
- MUNLV -Minist. f. Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW (Hrsg.) (2010): Handbuch Stadtklima - Maßnahmen und Handlungskonzepte für Städte und Ballungsräume zur Anpassung an den Klimawandel (Kurzfassung). Bearbeitet von M. Steinrücke (RVR), D. Dütemeyer (Univ. DU-E), J. Hasse (FiW) und C. Rösler (Difu). 66 S. Düsseldorf.
- MUNLV -Minist. f. Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW (Hrsg.) (2015): Kühlleistung von Böden - Leitfaden zur Einbindung in stadtklimatische Konzepte in NRW. LANUV Arbeitsblatt 29. 69 S. Düsseldorf.
- MW-BW (2012): Städtebauliche Klimafibel. Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg, Stuttgart. <http://www.staedtebauliche-klimafibel.de/>.
- OKE, T. R. (2004): Siting and exposure of meteorological instruments at urban sites. 27th NATO/CCMS International Technical Meeting on Air Pollution Modelling and its Application. Banff 25. - 29.Oktober 2004. <http://www.urban-climate.org/ITM04-Oke.pdf> (08.04.2013).
- OKE, T. R. (2006): Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. In: WMO/TD-No. 1250 - Instruments and observing methods, Report No. 81.
- SCHATZMANN, M., SCHLÜNZEN, K.H., DIERER, S., PANSKUS, H. (1998): Entwicklung einer allgemein verfügbaren PC-Version des mesoskaligen Modells METRAS. Bericht an das Umweltbundesamt. FuE Projekt 104 04 354.
- SCHLÜNZEN, K.H. (1988): Das mesoskalige Transport- und Strömungsmodell METRAS – Grundlagen, Validierung, Anwendung. Hamburger Geophysikalische Einzelschriften, A88.
- SCHLÜNZEN, K.H., BIGALKE, K. (1998): METRAS PC, Version 1.0. Benutzerhandbuch. Herausgeber: Meteorologisches Institut der Universität Hamburg.
- SCHREPFER, H. (1925): Die Kontinentalität des deutschen Klimas. Petermanns Geographische Mitteilungen 71, 49-51.
- SPEKAT, A., ENK, W., KREIENKAMP, F. (2007): Neuentwicklung von regional hoch aufgelösten Wetterlagen für Deutschland und Bereitstellung regionaler Klimaszenarios auf der Basis

- von globalen Klimasimulationen mit dem Regionalisierungsmodell WETTREG auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit ECHAM5/MPI-OM T63L31 2010 bis 2100 für die SRES-Szenarios B1, A1B und A2. – Forschungsprojekt im Auftrag des Umweltbundesamtes FuE-Vorhaben Förderkennzeichen 204 41 138, Januar 2007, 112 pp.
- STULL, R. B. (1995): Meteorology today for scientists and engineers - A technical companion book. West Publishing Company, Minneapolis/St. Paul, New York, Los Angeles, San Francisco, 385 S.
- TIETZE, W., K.-A. BOESLER, H.-J. KLINK & G. VOPPEL (Hrsg.) (1990): Geographie Deutschlands: Staat - Natur - Wirtschaft. Borntraeger, Berlin, Stuttgart, 687 S.
- VDI - Verein Deutscher Ingenieure (2003) – VDI-Richtlinie 3787, Blatt 5, Umweltmeteorologie - Lokale Kaltluft. Düsseldorf.
- VDI - Verein Deutscher Ingenieure (2008): VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 - Umweltmeteorologie - Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung, Teil I : Klima. Düsseldorf.
- VDI - Verein Deutscher Ingenieure (2009) – VDI-Richtlinie 3782 Blatt 1: Umweltmeteorologie – Atmosphärische Ausbreitungsmodelle Gauß'sches Fahnenmodell zur Bestimmung von Immissionsgrößen. 39 S. Düsseldorf.
- VDI - Verein Deutscher Ingenieure (2013): VDI-Richtlinie 3786 Blatt 1 und ff.: Umweltmeteorologie – Meteorologische Messungen. Düsseldorf.
- VDI - Verein Deutscher Ingenieure (2015): VDI-Richtlinie 3787 Blatt 1 - Umweltmeteorologie - Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen. Düsseldorf.
- VDI - Verein Deutscher Ingenieure (2015): VDI-Richtlinie 3783 Blatt 7 - Umweltmeteorologie. - Prognostische mesoskalige Windfeldmodelle. Evaluierung für dynamisch und thermisch bedingte Strömungsfelder., Berlin.
- VM-BW Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg (2012): Städtebauliche Klimafibel – Hinweise für die Bauleitplanung. 274 S. <https://www.staedtebauliche-klimafibel.de>
- WALTER, H. (1984): Vegetation und Klimazonen. Fünfte Auflage, 382 S. Eugen Ulmer, Stuttgart.
- WERNER, P.C. & F.W. GERSTENGARBE (2007): Welche Klimaänderungen sind in Deutschland zu erwarten? – In: Endlicher, W. & Gerstengarbe, F.W. (Hrsg.): 2007. Der Klimawandel - Einblicke, Rückblicke und Ausblicke. Potsdam Institut für Klimafolgenforschung, Potsdam, 56 - 59.
- VDI - Verein Deutscher Ingenieure (1986): VDI-Richtlinie 3786 Blatt 5 Meteorologische Messungen für Fragen der Luftreinhaltung – Globalstrahlung, direkte Sonnenstrahlung und Strahlungsbilanz. Düsseldorf.

JAHNSEN, J. & DANZEISEN, H. (1989): Stadtklima Mainz - Bd. 1 Texte und Tabellen: Das Stadtklima von Mainz – Temperatur, Feuchte, Wind. Stadt Mainz (Hrsg.), Amt für Umwelt und Stadtentwicklung. Mainz.

VDI - Verein Deutscher Ingenieure (2004) –: VDI-Richtlinie 3787, Blatt 9, Umweltmeteorologie - Berücksichtigung von Klima und Lufthygiene in räumlichen Planungen. Düsseldorf.

VDI - Verein Deutscher Ingenieure (2016) –: VDI-Richtlinie 3787, Blatt 10, Umweltmeteorologie - Human-biometeorologische Anforderungen im Bereich Erholung, Prävention, Heilung und Rehabilitation

11 Anhang

Tab. A 1: Witterungskalender für die Messperiode 01.04.2015 – 31.03.2016 in Heilbronn.

Tab. A 2: Liste mit Namen der Großwetterlagen (GWL) (Gerstengarbe & Werner 2010).

Tab. A 3: Liste mit Namen der Großwettertypen (GWT) (Gerstengarbe & Werner 2010).

Abb. A 1: Fisheye-Aufnahmen zur Bestimmung des Sky-View-Faktors (SVF) an den Heilbronner Messstationen. Sommeraspekt im Juni 2016.

Tab. A 1: Witterungskalender für die Messperiode 01.04.2015 – 31.03.2016 in Heilbronn.

Legende:

T _L	Gebietsmittel der Lufttemperatur	Mittel von acht Messstationen
ST	Sommertag (T _{Lmax.} ≥ 25 °C)	gleichzeitig an allen acht Messstationen
HT	Heißer Tag (T _{Lmax.} ≥ 30 °C)	gleichzeitig an allen acht Messstationen
FT	Frosttag (T _{Lmin.} ≤ 0 °C)	gleichzeitig an allen acht Messstationen
ET	Eistag (T _{Lmax.} ≤ 0 °C)	gleichzeitig an allen acht Messstationen
GS	Tägliche Globalstrahlungssumme	gemittelt aus zwei Stationen
RT	Regentag	gleichzeitig an allen vier Messstationen
NS	Tägliche Niederschlagssumme	Mittel von vier Messstationen
Str.Tag	Strahlungstag	
GWL	Großwetterlage	Erklärung siehe übernächste Tabelle weiter unten
GWT	Großwettertyp	Erklärung siehe übernächste Tabelle weiter unten
ZF	Zirkulationsform	G = gemischt, M = meridional, Z = zonal
WC	Witterungscharakter	A = antizyklonal, U = unbestimmt, Z = zyklonal
TMF	Temperaturmessfahrt	

Datum	T _L in °C	ST	HT	FT	ET	GS in kWh/m ²	RT	NS in mm	Str.Tag	GWL	GWT	ZF	WC	TMF
01.04.2015	5,7					2,976	RT	4,8		NWz	NW	G	Z	
02.04.2015	6,3					1,997	RT	9,1		NWz	NW	G	Z	
03.04.2015	5,8			FT		4,852		0,0		Na	N	M	A	
04.04.2015	6,0					1,328	RT	4,0		Na	N	M	A	
05.04.2015	5,6					4,514		0,0		Na	N	M	A	
06.04.2015	4,5			FT		2,750		0,0		HM	HM	G	U	
07.04.2015	5,5			FT		5,146		0,0	Str.Tag	HM	HM	G	U	
08.04.2015	8,0					4,970		0,0	Str.Tag	HM	HM	G	U	
09.04.2015	11,1					5,016		0,0	Str.Tag	HM	HM	G	U	
10.04.2015	13,0					4,896		0,0	Str.Tag	HM	HM	G	U	
11.04.2015	13,1					3,012		0,0		Wa	W	Z	A	
12.04.2015	14,2					4,151	RT	0,2		Wa	W	Z	A	
13.04.2015	13,3					4,408		0,0		Wa	W	Z	A	
14.04.2015	14,1					5,205		0,0		Wa	W	Z	A	
15.04.2015	16,8	ST				5,507		0,0	Str.Tag	Wa	W	Z	A	
16.04.2015	17,1					3,873		0,0		HB	N	M	U	
17.04.2015	14,0					2,905	RT	0,2		HB	N	M	U	
18.04.2015	9,1					5,297		0,0		HB	N	M	U	
19.04.2015	10,0					5,850		0,0	Str.Tag	Na	N	M	A	
20.04.2015	12,1					5,886		0,0	Str.Tag	Na	N	M	A	
21.04.2015	13,7					5,974		0,0	Str.Tag	Na	N	M	A	
22.04.2015	12,0					5,852		0,0		Na	N	M	A	
23.04.2015	9,6					5,839		0,1	Str.Tag	Wa	W	Z	A	
24.04.2015	12,3					6,026		0,0	Str.Tag	Wa	W	Z	A	
25.04.2015	12,1					2,517	RT	3,8		Wa	W	Z	A	

Datum	T _L in °C	ST	HT	FT	ET	GS in kWh/m ²	RT	NS in mm	Str.Tag	GWL	GWT	ZF	WC	TMF
26.04.2015	16,6					5,050	RT	0,7		TrM	N	M	U	
27.04.2015	15,8					3,659	RT	2,7		TrM	N	M	U	
28.04.2015	10,2					3,381	RT	4,5		TrM	N	M	U	
29.04.2015	10,9					5,510		0,0		TrM	N	M	U	
30.04.2015	12,5					4,419	RT	0,2		TrM	N	M	U	
01.05.2015	9,6					1,676	RT	8,1		WW	W	Z	U	
02.05.2015	11,8					3,401	RT	0,9		WW	W	Z	U	
03.05.2015	14,6					1,739	RT	7,6		WW	W	Z	U	
04.05.2015	19,3					5,598	RT	0,2		SWz	SW	G	Z	
05.05.2015	19,8					2,050		0,0		SWz	SW	G	Z	
06.05.2015	16,2					4,619		0,0		SWz	SW	G	Z	
07.05.2015	14,0					5,785		0,0		WW	W	Z	U	
08.05.2015	15,8					5,763		0,0		WW	W	Z	U	
09.05.2015	17,3					4,113		0,0		WW	W	Z	U	
10.05.2015	16,7					5,922		0,2		Wa	W	Z	A	
11.05.2015	18,1	ST				5,567		0,0		Wa	W	Z	A	
12.05.2015	20,8	ST				5,646		0,0		Wa	W	Z	A	
13.05.2015	18,2					6,035		0,0	Str.Tag	HNa	N	M	A	
14.05.2015	16,3					4,952		0,1		HNa	N	M	A	
15.05.2015	14,8					3,763	RT	0,9		HNa	N	M	A	
16.05.2015	14,3					5,491		0,0		Wa	W	Z	A	
17.05.2015	14,9					5,202		0,1		Wa	W	Z	A	
18.05.2015	16,0					6,547		0,0	Str.Tag	Wa	W	Z	A	
19.05.2015	14,6					3,436		0,0		TrM	N	M	U	
20.05.2015	11,6					3,320	RT	2,0		TrM	N	M	U	
21.05.2015	12,1					5,575		0,3		TrM	N	M	U	
22.05.2015	12,8					6,519		0,0	Str.Tag	TrM	N	M	U	
23.05.2015	14,8					4,550		0,0		TrM	N	M	U	
24.05.2015	17,1					3,201		0,0		TrM	N	M	U	
25.05.2015	16,3					3,893	RT	0,4		TrM	N	M	U	
26.05.2015	13,1					2,525	RT	0,2		TrM	N	M	U	
27.05.2015	11,7					3,899		0,0		TrM	N	M	U	
28.05.2015	14,1					6,004		0,1		Wa	W	Z	A	
29.05.2015	15,5					3,354	RT	3,4		Wa	W	Z	A	
30.05.2015	14,3					4,300	RT	3,6		Wa	W	Z	A	
31.05.2015	16,2					5,331		0,0		Wa	W	Z	A	
01.06.2015	16,7					2,517		0,1		Wa	W	Z	A	
02.06.2015	19,5	ST				6,136		0,0		Wa	W	Z	A	
03.06.2015	21,2	ST				6,789		0,0		Wa	W	Z	A	
04.06.2015	20,9	ST				7,298		0,0	Str.Tag	Wa	W	Z	A	
05.06.2015	24,7	ST	HT			7,151		0,0	Str.Tag	SWa	SW	G	A	
06.06.2015	25,2	ST	HT			5,793	RT	1,1	Str.Tag	SWa	SW	G	A	
07.06.2015	23,3	ST				6,239		0,0		SWa	SW	G	A	

Datum	T _L in °C	ST	HT	FT	ET	GS in kWh/m ²	RT	NS in mm	Str.Tag	GWL	GWT	ZF	WC	TMF
08.06.2015	16,3					1,679	RT	20,4		NEa	NE	M	A	
09.06.2015	15,0					2,222		0,0		NEa	NE	M	A	
10.06.2015	16,6					2,958		0,0		NEa	NE	M	A	
11.06.2015	20,1					5,458		0,0		NEa	NE	M	A	
12.06.2015	22,1	ST				6,108		0,6		TrW	S	M	U	
13.06.2015	20,8					5,280	RT	2,0		TrW	S	M	U	
14.06.2015	21,0	ST				6,743		0,0	Str.Tag	TrW	S	M	U	
15.06.2015	20,4					4,608		0,0		NWa	NW	G	A	
16.06.2015	18,5					5,282		0,0		NWa	NW	G	A	
17.06.2015	16,9					7,182		0,0		NWa	NW	G	A	
18.06.2015	15,9					1,779	RT	8,0		NWa	NW	G	A	
19.06.2015	14,0					4,202		0,0		NWa	NW	G	A	
20.06.2015	13,6					3,266		0,3		NWa	NW	G	A	
21.06.2015	15,3					2,994	RT	1,6		NWa	NW	G	A	
22.06.2015	15,1					2,580	RT	10,2		NWa	NW	G	A	
23.06.2015	12,5					3,983	RT	10,7		NWa	NW	G	A	
24.06.2015	15,5					5,534		0,0		Wa	W	Z	A	
25.06.2015	17,8					6,580		0,0	Str.Tag	Wa	W	Z	A	
26.06.2015	20,2	ST				6,678		0,0		Wa	W	Z	A	
27.06.2015	19,6					3,894	RT	5,4		Wa	W	Z	A	
28.06.2015	19,6					6,970		0,0		Wa	W	Z	A	
29.06.2015	21,4	ST				5,866		0,0	Str.Tag	HM	HM	G	U	
30.06.2015	23,5	ST				7,278		0,0	Str.Tag	HM	HM	G	U	
01.07.2015	25,3	ST	HT			7,151		0,0	Str.Tag	HM	HM	G	U	TMF
02.07.2015	27,9	ST	HT			7,066		0,0	Str.Tag	HM	HM	G	U	TMF
03.07.2015	28,7	ST	HT			6,352		0,0	Str.Tag	HM	HM	G	U	TMF
04.07.2015	29,4	ST	HT			6,690		0,0	Str.Tag	HM	HM	G	U	
05.07.2015	30,4	ST	HT			6,807		0,0	Str.Tag	Wa	W	Z	A	
06.07.2015	25,1	ST				7,024		0,0		Wa	W	Z	A	
07.07.2015	26,4	ST	HT			6,618	RT	0,5		Wa	W	Z	A	
08.07.2015	21,1					5,014		0,1		NWa	NW	G	A	
09.07.2015	17,3					2,902	RT	2,4		NWa	NW	G	A	
10.07.2015	17,7					7,199		0,0	Str.Tag	NWa	NW	G	A	
11.07.2015	22,4	ST	HT			6,885		0,0	Str.Tag	Wa	W	Z	A	
12.07.2015	21,9	ST				5,520		0,0		Wa	W	Z	A	
13.07.2015	20,1					2,989		0,3		Wa	W	Z	A	
14.07.2015	22,4	ST				4,957		0,0		Wa	W	Z	A	
15.07.2015	23,7	ST				6,546		0,0	Str.Tag	Wa	W	Z	A	
16.07.2015	25,8	ST	HT			6,855		0,0	Str.Tag	Wa	W	Z	A	
17.07.2015	27,3	ST	HT			5,451		0,0		Wa	W	Z	A	
18.07.2015	24,8	ST				4,008	RT	1,3		Wa	W	Z	A	
19.07.2015	23,4	ST				3,935	RT	3,1		Wa	W	Z	A	
20.07.2015	24,4	ST				3,986		0,0		Wa	W	Z	A	

Datum	T _L in °C	ST	HT	FT	ET	GS in kWh/m ²	RT	NS in mm	Str.Tag	GWL	GWT	ZF	WC	TMF
21.07.2015	26,3	ST	HT			5,959		0,0	Str.Tag	Wa	W	Z	A	
22.07.2015	26,5	ST	HT			5,279		0,0		Wa	W	Z	A	
23.07.2015	24,2	ST				4,588		0,0		Wa	W	Z	A	
24.07.2015	25,7	ST	HT			6,623		0,0		Wz	W	Z	Z	
25.07.2015	20,6					5,394	RT	3,1		Wz	W	Z	Z	
26.07.2015	17,5					5,563	RT	0,9		Wz	W	Z	Z	
27.07.2015	19,1					3,459	RT	0,6		Wz	W	Z	Z	
28.07.2015	19,5					3,726		0,0		Wz	W	Z	Z	
29.07.2015	15,5					2,989	RT	1,1		Wz	W	Z	Z	
30.07.2015	16,3					4,271		0,0		Wa	W	Z	A	
31.07.2015	17,2					6,591		0,0		Wa	W	Z	A	
01.08.2015	19,8					3,943		0,0		WW	W	Z	U	
02.08.2015	22,0	ST				6,352		0,0	Str.Tag	WW	W	Z	U	TMF
03.08.2015	24,5	ST	HT			6,498		0,0	Str.Tag	WW	W	Z	U	TMF
04.08.2015	21,8	ST				4,054		1,2		SWz	SW	G	Z	TMF
05.08.2015	23,1	ST	HT			6,273		0,0	Str.Tag	SWz	SW	G	Z	
06.08.2015	26,7	ST	HT			5,558		0,0	Str.Tag	SWz	SW	G	Z	TMF
07.08.2015	29,4	ST	HT			6,111		0,0	Str.Tag	WW	W	Z	U	TMF
08.08.2015	28,2	ST	HT			5,561		0,0	Str.Tag	WW	W	Z	U	
09.08.2015	26,6	ST	HT			4,830	RT	2,8		WW	W	Z	U	
10.08.2015	24,3	ST				4,999		0,1		Wa	W	Z	A	
11.08.2015	24,5	ST	HT			5,476		0,0	Str.Tag	Wa	W	Z	A	
12.08.2015	26,2	ST	HT			5,477		0,0	Str.Tag	Wa	W	Z	A	
13.08.2015	28,1	ST	HT			5,409		0,0		HNa	N	M	A	
14.08.2015	23,0	ST				4,453	RT	12,7		HNa	N	M	A	
15.08.2015	20,3					3,466		1,2		HNa	N	M	A	
16.08.2015	16,9					2,088	RT	11,3		Wa	W	Z	A	
17.08.2015	16,2					1,408		0,1		Wa	W	Z	A	
18.08.2015	16,7					3,554		0,0		Wa	W	Z	A	
19.08.2015	16,3					2,627		0,0		TrM	N	M	U	
20.08.2015	17,5					3,191		0,1		TrM	N	M	U	
21.08.2015	18,1					5,062		0,0	Str.Tag	TrM	N	M	U	
22.08.2015	19,8	ST				5,496		0,0	Str.Tag	TrM	N	M	U	
23.08.2015	19,8	ST				4,600	RT	4,9		TrM	N	M	U	
24.08.2015	18,7					2,375	RT	17,8		TrM	N	M	U	
25.08.2015	17,6					5,176		0,0		TrM	N	M	U	
26.08.2015	19,6	ST				5,505		0,0	Str.Tag	TrM	N	M	U	
27.08.2015	23,9	ST	HT			4,776		0,0	Str.Tag	TrM	N	M	U	
28.08.2015	21,9					1,538	RT	2,3		Wa	W	Z	A	
29.08.2015	24,4	ST	HT			5,160		0,0	Str.Tag	Wa	W	Z	A	
30.08.2015	25,9	ST	HT			5,069		0,0	Str.Tag	Wa	W	Z	A	
31.08.2015	25,9	ST	HT			5,145		0,0	Str.Tag	Wa	W	Z	A	
01.09.2015	20,7					1,720	RT	0,8		TM	TM	G	U	

Datum	T _L in °C	ST	HT	FT	ET	GS in kWh/m ²	RT	NS in mm	Str.Tag	GWL	GWT	ZF	WC	TMF
02.09.2015	17,1					3,879		0,0		TM	TM	G	U	
03.09.2015	17,7					3,730		0,0		TM	TM	G	U	
04.09.2015	15,3					4,350		0,0		TM	TM	G	U	
05.09.2015	13,6					3,194		0,0		Nz	N	M	Z	
06.09.2015	13,0					3,224	RT	0,9		Nz	N	M	Z	
07.09.2015	12,7					1,548		0,0		Nz	N	M	Z	
08.09.2015	15,3					3,662		0,0		Nz	N	M	Z	
09.09.2015	14,9					4,432		0,0		HFa	E	M	A	
10.09.2015	14,3					4,417		0,0		HFa	E	M	A	
11.09.2015	14,5					4,594		0,0	Str.Tag	HFa	E	M	A	
12.09.2015	17,9	ST				3,964	RT	1,5		TrW	S	M	U	
13.09.2015	18,5					1,905	RT	0,3		TrW	S	M	U	
14.09.2015	17,0					2,799	RT	5,9		TrW	S	M	U	
15.09.2015	14,6					2,080	RT	0,7		TrW	S	M	U	
16.09.2015	15,2					0,734	RT	7,5		TrW	S	M	U	
17.09.2015	15,2					0,760	RT	5,6		TrW	S	M	U	
18.09.2015	14,5					1,928		1,0		TrM	N	M	U	
19.09.2015	14,3					2,877	RT	0,7		TrM	N	M	U	
20.09.2015	13,8					2,648		0,0		TrM	N	M	U	
21.09.2015	12,7					4,211		0,0	Str.Tag	TrM	N	M	U	
22.09.2015	13,8					1,089	RT	4,1		TrM	N	M	U	
23.09.2015	12,3					1,567	RT	3,1		TrM	N	M	U	
24.09.2015	13,8					3,392		0,1		TrM	N	M	U	
25.09.2015	13,1					2,406		0,0		Na	N	M	A	
26.09.2015	14,9					2,836		0,0		Na	N	M	A	
27.09.2015	14,4					3,367		0,0		Na	N	M	A	
28.09.2015	12,4					3,566		0,0		Na	N	M	A	
29.09.2015	12,9					3,726		0,0		NEa	NE	M	A	
30.09.2015	12,5					3,863		0,0		NEa	NE	M	A	
01.10.2015	11,0					3,762		0,0	Str.Tag	NEa	NE	M	A	
02.10.2015	12,6					3,642		0,0	Str.Tag	NEa	NE	M	A	
03.10.2015	13,6					3,207		0,0	Str.Tag	NEa	NE	M	A	
04.10.2015	11,9					0,616	RT	14,4		NEa	NE	M	A	
05.10.2015	13,0					2,175	RT	1,1		TB	S	M	U	
06.10.2015	15,8					1,225	RT	5,8		TB	S	M	U	
07.10.2015	15,4					1,719	RT	0,2		TB	S	M	U	
08.10.2015	12,9					2,906		0,0		TB	S	M	U	
09.10.2015	13,3					2,452		0,0		HFa	E	M	A	
10.10.2015	12,2					0,912		0,0		HFa	E	M	A	
11.10.2015	10,2					2,625		0,0		HFa	E	M	A	
12.10.2015	8,1					2,927		0,0		SEz	SE	M	Z	
13.10.2015	8,0					2,071		0,0		SEz	SE	M	Z	
14.10.2015	5,5					0,917	RT	3,8		SEz	SE	M	Z	

Datum	T _L in °C	ST	HT	FT	ET	GS in kWh/m ²	RT	NS in mm	Str.Tag	GWL	GWT	ZF	WC	TMF
15.10.2015	5,2					0,430	RT	0,4		SEz	SE	M	Z	
16.10.2015	5,9					0,451	RT	0,3		SEz	SE	M	Z	
17.10.2015	6,3					0,900		0,1		NEz	NE	M	Z	
18.10.2015	7,4					0,838	RT	1,2		NEz	NE	M	Z	
19.10.2015	8,1					1,787		0,0		NEz	NE	M	Z	
20.10.2015	8,2					0,359	RT	1,2		BM	HM	G	U	
21.10.2015	7,6					1,081		0,0		BM	HM	G	U	
22.10.2015	8,3					0,996		0,1		BM	HM	G	U	
23.10.2015	11,6					1,090	RT	0,3		Wa	W	Z	A	
24.10.2015	10,9					1,932		0,0		Wa	W	Z	A	
25.10.2015	11,2					0,593	RT	0,2		Wa	W	Z	A	
26.10.2015	10,5					2,158		0,0		HM	HM	G	U	
27.10.2015	7,9					0,400		0,0		HM	HM	G	U	
28.10.2015	7,9					1,221		0,0		HM	HM	G	U	
29.10.2015	10,7					0,500		0,0		SEa	SE	M	A	
30.10.2015	10,4					0,607		0,0		SEa	SE	M	A	
31.10.2015	9,6					0,585		0,0		SEa	SE	M	A	
01.11.2015	5,2					0,644		0,1		Sa	S	M	A	
02.11.2015	3,5					0,592		0,1		Sa	S	M	A	
03.11.2015	3,0					0,749		0,0		Sa	S	M	A	
04.11.2015	7,7					1,770		0,0		SWa	SW	G	A	
05.11.2015	10,7					1,795		0,0		SWa	SW	G	A	
06.11.2015	12,5					1,027		0,0		SWa	SW	G	A	
07.11.2015	15,7					0,678		0,1		SWa	SW	G	A	
08.11.2015	14,5					1,587		0,0		SWa	SW	G	A	
09.11.2015	14,9					0,971		0,0		Wa	W	Z	A	
10.11.2015	14,9					1,087		0,0		Wa	W	Z	A	
11.11.2015	11,3					1,253		0,0		Wa	W	Z	A	
12.11.2015	10,5					0,929		0,0		Wa	W	Z	A	
13.11.2015	8,8					0,549	RT	0,7		Wa	W	Z	A	
14.11.2015	9,8					1,398	RT	0,2		Wz	W	Z	Z	
15.11.2015	11,3					0,828	RT	0,7		Wz	W	Z	Z	
16.11.2015	9,5					1,698		0,0		Wz	W	Z	Z	
17.11.2015	13,2					0,339	RT	1,0		Wz	W	Z	Z	
18.11.2015	14,0					1,049		0,1		Wz	W	Z	Z	
19.11.2015	14,5					0,774	RT	0,6		Wz	W	Z	Z	
20.11.2015	8,9					0,134	RT	54,4		Wz	W	Z	Z	
21.11.2015	4,3					0,738	RT	1,8		Nz	N	M	Z	
22.11.2015	2,4					1,030	RT	2,0		Nz	N	M	Z	
23.11.2015	2,3					0,360		0,0		BM	HM	G	U	
24.11.2015	1,4			FT		1,307		0,0		BM	HM	G	U	
25.11.2015	3,4					0,278	RT	4,8		TrM	N	M	U	
26.11.2015	4,3					0,545		0,2		TrM	N	M	U	

Datum	T _L in °C	ST	HT	FT	ET	GS in kWh/m ²	RT	NS in mm	Str.Tag	GWL	GWT	ZF	WC	TMF
27.11.2015	0,4			FT		0,771		0,0		BM	HM	G	U	
28.11.2015	2,4			FT		0,527	RT	1,6		NWz	NW	G	Z	
29.11.2015	7,7					0,200	RT	0,2		NWz	NW	G	Z	
30.11.2015	10,6					0,198	RT	5,6		NWz	NW	G	Z	
01.12.2015	10,3					0,236	RT	5,0		NWz	NW	G	Z	
02.12.2015	10,2					0,407		0,0		SWa	SW	G	A	
03.12.2015	6,8					1,128		0,0		SWa	SW	G	A	
04.12.2015	4,5					0,197	RT	0,2		SWa	SW	G	A	
05.12.2015	6,7					1,112		0,0		Wa	W	Z	A	
06.12.2015	6,0					1,282		0,0		Wa	W	Z	A	
07.12.2015	6,5					1,174		0,0	Str.Tag	Wa	W	Z	A	
08.12.2015	2,8					0,890		0,0	Str.Tag	SWa	SW	G	A	
09.12.2015	5,7					0,704	RT	5,8		SWa	SW	G	A	
10.12.2015	0,8			FT		1,154		0,0	Str.Tag	SWa	SW	G	A	
11.12.2015	2,4			FT		0,605		0,0		Wz	W	Z	Z	
12.12.2015	9,6					0,543	RT	0,5		Wz	W	Z	Z	
13.12.2015	8,5					0,487		0,0		Wz	W	Z	Z	
14.12.2015	5,7					1,124		0,0		SEa	SE	M	A	
15.12.2015	5,9					0,659		0,0		SEa	SE	M	A	
16.12.2015	7,5					0,191	RT	8,2		SEa	SE	M	A	
17.12.2015	11,4					0,369	RT	0,3		SWa	SW	G	A	
18.12.2015	10,5					0,380	RT	0,4		SWa	SW	G	A	
19.12.2015	9,8					1,071		0,0		SWa	SW	G	A	
20.12.2015	6,0					1,182		0,0		SWa	SW	G	A	
21.12.2015	8,6					0,600	RT	0,6		Wz	W	Z	Z	
22.12.2015	11,2					0,946		0,0		Wz	W	Z	Z	
23.12.2015	8,9					0,441		0,0		Wz	W	Z	Z	
24.12.2015	10,3					0,826		0,0		Wz	W	Z	Z	
25.12.2015	12,0					1,132		0,0		Wz	W	Z	Z	
26.12.2015	9,0					1,182		0,0		Wa	W	Z	A	
27.12.2015	4,3					1,147		0,0	Str.Tag	Wa	W	Z	A	
28.12.2015	3,1			FT		1,216		0,0	Str.Tag	Wa	W	Z	A	
29.12.2015	2,0			FT		1,135		0,0	Str.Tag	Sa	S	M	A	
30.12.2015	3,7					0,634		0,0		Sa	S	M	A	
31.12.2015	2,4					0,305	RT	1,8		Sa	S	M	A	
01.01.2016	4,2					0,562		0,1		HFz	E	M	Z	
02.01.2016	4,0					0,255	RT	7,6		HFz	E	M	Z	
03.01.2016	4,4					0,458	RT	1,4		HFz	E	M	Z	
04.01.2016	5,2					0,376	RT	9,8		WS	W	Z	U	
05.01.2016	4,8					0,481	RT	8,6		WS	W	Z	U	
06.01.2016	5,5					0,384	RT	0,3		WS	W	Z	U	
07.01.2016	5,3					0,575	RT	4,7		WS	W	Z	U	
08.01.2016	5,6					1,129		0,0		WS	W	Z	U	

Datum	T _L in °C	ST	HT	FT	ET	GS in kWh/m ²	RT	NS in mm	Str.Tag	GWL	GWT	ZF	WC	TMF
09.01.2016	2,6					0,454		0,0		WS	W	Z	U	
10.01.2016	6,2					0,352	RT	2,7		WS	W	Z	U	
11.01.2016	5,6					0,380	RT	8,2		WS	W	Z	U	
12.01.2016	6,0					0,564	RT	2,2		WS	W	Z	U	
13.01.2016	4,9					0,709	RT	1,3		WS	W	Z	U	
14.01.2016	3,3					1,457	RT	0,5		WS	W	Z	U	
15.01.2016	1,7					0,251	RT	2,3		Nz	N	M	Z	
16.01.2016	1,1					0,457	RT	1,9		Nz	N	M	Z	
17.01.2016	-0,6			FT		0,996	RT	0,7		Nz	N	M	Z	
18.01.2016	-5,4			FT	ET	1,435		0,0		HM	HM	G	U	
19.01.2016	-5,9			FT	ET	0,763		0,0		HM	HM	G	U	
20.01.2016	-4,8			FT	ET	1,068		0,0		HM	HM	G	U	
21.01.2016	-0,8			FT		1,252		0,0		HM	HM	G	U	
22.01.2016	-3,6			FT		1,296		0,0		HM	HM	G	U	
23.01.2016	2,9			FT		0,703	RT	1,9		Wa	W	Z	A	
24.01.2016	2,4			FT		0,857		0,1		Wa	W	Z	A	
25.01.2016	6,7					1,159		0,0		Wa	W	Z	A	
26.01.2016	6,2					1,471		0,0		Wa	W	Z	A	
27.01.2016	10,6					0,789		0,0		Wa	W	Z	A	
28.01.2016	10,1					0,623	RT	1,3		Wa	W	Z	A	
29.01.2016	6,4					1,725	RT	0,2		Wa	W	Z	A	
30.01.2016	6,7					0,579	RT	3,6		Wa	W	Z	A	
31.01.2016	6,3					0,361	RT	7,4		Wa	W	Z	A	
01.02.2016	12,1					0,515	RT	5,1		Wa	W	Z	A	
02.02.2016	11,4					0,633	RT	2,2		Wa	W	Z	A	
03.02.2016	4,9					0,431	RT	7,0		Wz	W	Z	Z	
04.02.2016	4,1					0,450	RT	6,4		Wz	W	Z	Z	
05.02.2016	7,0					1,131		0,1		Wz	W	Z	Z	
06.02.2016	6,3					1,621		0,0	Str.Tag	SWz	SW	G	Z	
07.02.2016	5,3					0,688		0,0		SWz	SW	G	Z	
08.02.2016	8,5					0,750	RT	12,2		SWz	SW	G	Z	
09.02.2016	8,6					0,417	RT	8,6		NWz	NW	G	Z	
10.02.2016	3,8					0,632	RT	3,2		NWz	NW	G	Z	
11.02.2016	4,3					0,729	RT	1,7		NWz	NW	G	Z	
12.02.2016	3,8					1,964		0,0		NWz	NW	G	Z	
13.02.2016	4,6					0,774	RT	2,9		TrM	N	M	U	
14.02.2016	7,1					0,757	RT	2,3		TrM	N	M	U	
15.02.2016	4,6					0,384	RT	0,5		TrM	N	M	U	
16.02.2016	2,1					0,446		0,0		TrM	N	M	U	
17.02.2016	1,6					0,516		0,0		TrM	N	M	U	
18.02.2016	3,8					1,971		0,0		TrM	N	M	U	
19.02.2016	2,1					0,378	RT	1,1		TrM	N	M	U	
20.02.2016	4,6					0,407	RT	17,3		Ww	W	Z	U	

Datum	T _L in °C	ST	HT	FT	ET	GS in kWh/m ²	RT	NS in mm	Str.Tag	GWL	GWT	ZF	WC	TMF
21.02.2016	12,0					0,739	RT	0,2		Ww	W	Z	U	
22.02.2016	11,5					1,418		0,0		Ww	W	Z	U	
23.02.2016	4,0					0,577	RT	11,2		Nz	N	M	Z	
24.02.2016	3,5					2,056	RT	0,7		Nz	N	M	Z	
25.02.2016	2,9			FT		2,196		0,0		Nz	N	M	Z	
26.02.2016	1,3			FT		2,789		0,0		TrW	S	M	U	
27.02.2016	2,9			FT		3,009		0,0		TrW	S	M	U	
28.02.2016	3,1					1,142		0,0		TrW	S	M	U	
29.02.2016	3,3					0,321		0,6		TrW	S	M	U	
01.03.2016	3,3					2,573	RT	0,8		TrM	N	M	U	
02.03.2016	5,2					0,567	RT	4,5		TrM	N	M	U	
03.03.2016	3,6					1,182	RT	2,4		TrM	N	M	U	
04.03.2016	4,5					1,763	RT	2,7		TrM	N	M	U	
05.03.2016	5,4					0,859	RT	5,6		TrM	N	M	U	
06.03.2016	3,4					1,241	RT	2,0		TrM	N	M	U	
07.03.2016	3,3					2,187		0,2		TrM	N	M	U	
08.03.2016	0,4			FT		1,163		0,0		TrM	N	M	U	
09.03.2016	1,9			FT		3,160		0,0		TrM	N	M	U	
10.03.2016	2,8			FT		3,499		0,0		NEa	NE	M	A	
11.03.2016	4,7					1,503		0,0		NEa	NE	M	A	
12.03.2016	5,5					3,259		0,0		NEa	NE	M	A	
13.03.2016	5,7					2,298		0,0		HM	HM	G	U	
14.03.2016	5,1					3,963		0,0		HM	HM	G	U	
15.03.2016	2,9					1,201	RT	2,1		HM	HM	G	U	
16.03.2016	5,0					2,699		0,0		HM	HM	G	U	
17.03.2016	5,7					4,151		0,0		HM	HM	G	U	
18.03.2016	6,2			FT		4,146		0,0	Str.Tag	NWa	NW	G	A	
19.03.2016	3,9					1,030		0,0		NWa	NW	G	A	
20.03.2016	5,6					1,561		0,0		NWa	NW	G	A	
21.03.2016	6,7					1,739		0,0		NWa	NW	G	A	
22.03.2016	7,7					3,051		0,0		NWa	NW	G	A	
23.03.2016	7,0					1,452	RT	1,2		NWa	NW	G	A	
24.03.2016	7,5					2,538		0,0		Wz	W	Z	Z	
25.03.2016	7,1					0,846	RT	7,1		Wz	W	Z	Z	
26.03.2016	8,8					4,046		0,0		Wz	W	Z	Z	
27.03.2016	8,1					1,549		0,1		Wz	W	Z	Z	
28.03.2016	8,7					1,991	RT	2,8		Wz	W	Z	Z	
29.03.2016	9,3					2,906	RT	1,4		Wz	W	Z	Z	
30.03.2016	9,6					1,156	RT	5,5		Wz	W	Z	Z	
31.03.2016	12,9					3,411	RT	5,6		Wz	W	Z	Z	

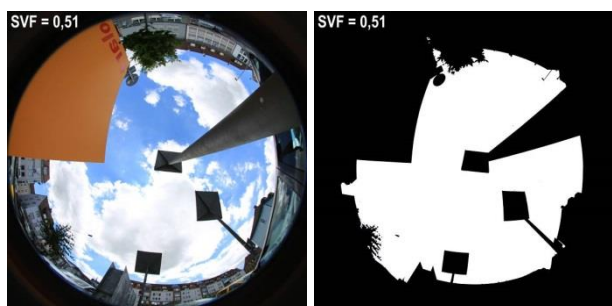
Tab. A 2: Liste mit Namen der Großwetterlagen (GWL) (Gerstengarbe & Werner 2010).

BM	Hochdruckbrücke Mitteleuropa
HB	Hoch Britische Inseln
HFa	Hoch Fennoskandien, Mitteleuropa überwiegend antizyklonal
HFz	Hoch Fennoskandien, Mitteleuropa überwiegend zyklonal
HM	Hoch Mitteleuropa
HNa	Hoch Nordmeer-Island, Mitteleuropa überwiegend antizyklonal
HNFa	Hoch Nordmeer-Fennoskandien, Mitteleuropa überwiegend antizyklonal
HNFz	Hoch Nordmeer-Fennoskandien, Mitteleuropa überwiegend zyklonal
HNz	Hoch Nordmeer-Island, Mitteleuropa überwiegend zyklonal
Na	Nordlage, Mitteleuropa überwiegend antizyklonal
NEa	Nordostlage, Mitteleuropa überwiegend antizyklonal
NEz	Nordostlage, Mitteleuropa überwiegend zyklonal
NWa	Nordwestlage, Mitteleuropa überwiegend antizyklonal
NWz	Nordwestlage, Mitteleuropa überwiegend zyklonal
Nz	Nordlage, Mitteleuropa überwiegend zyklonal
Sa	Südlage, Mitteleuropa überwiegend antizyklonal
SEa	Südostlage, Mitteleuropa überwiegend antizyklonal
SEz	Südostlage, Mitteleuropa überwiegend zyklonal
SWa	Südwestlage, Mitteleuropa überwiegend antizyklonal
SWz	Südwestlage, Mitteleuropa überwiegend zyklonal
Sz	Südlage, Mitteleuropa überwiegend zyklonal
TB	Tief Britische Inseln
TM	Tief Mitteleuropa
TrM	Trog Mitteleuropa
TrW	Trog Westeuropa
Ü	Übergangslage / Unbestimmt
Wa	Westlage, Mitteleuropa überwiegend antizyklonal
WS	Südliche Westlage
WW	Winkelförmige Westlage
Wz	Westlage, Mitteleuropa überwiegend zyklonal

Tab. A 3: Liste mit Namen der Großwettertypen (GWT) (Gerstengarbe & Werner 2010).

HM	Hoch Mitteleuropa
N	Nord
NE	Norrdost
NW	Nordwest
E	Ost
S	Süd
SE	Südost
SW	Südwest
TM	Tief Mitteleuropa
W	West

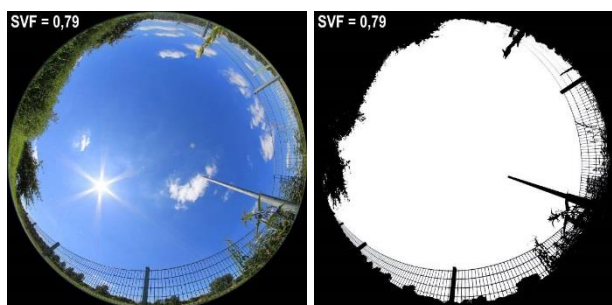
S1



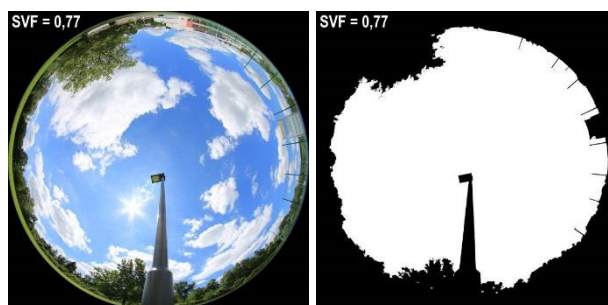
S2



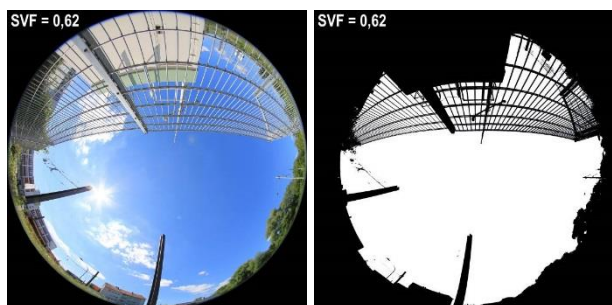
S3



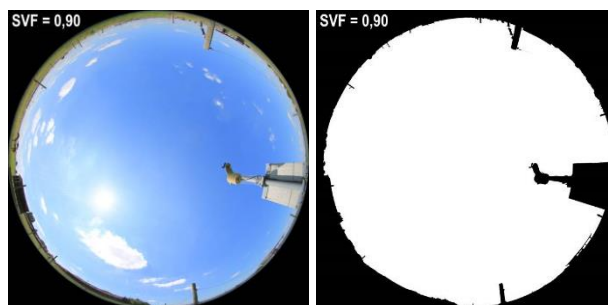
S4



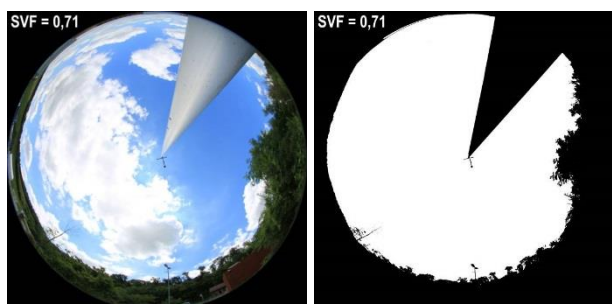
S5



S6



S7



S8

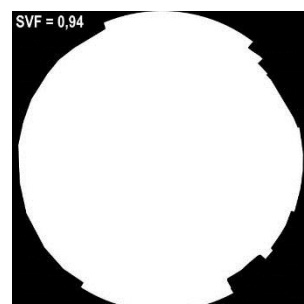


Abb. A 1: Fisheye-Aufnahmen zur Bestimmung des Sky-View-Faktors (SVF) an den Heilbronner Messstationen. Sommeraspekt im Juni 2016.