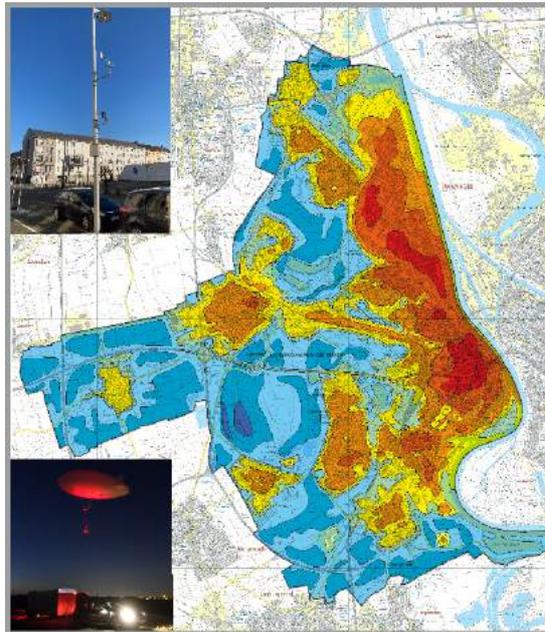


ÖKOPLANA

KLIMAÖKOLOGIE
LUFTHYGIENE
UMWELTPLANUNG

ERFASSUNG METEOROLOGISCHER DATEN IN LUDWIGSHAFEN AM RHEIN



Auftraggeber



Stadtverwaltung Ludwigshafen am Rhein
Rathausplatz 20
67059 Ludwigshafen a. Rhein

Bearbeitet von:

Dipl.-Geogr. Achim Burst
Dr. Wolfgang Lähne

Mannheim, Juli 2022

ÖKOPLANA
Seckenheimer Hauptstraße 98
D-68239 Mannheim
Telefon: 0621/474626 · Telefax 475277
E-Mail: info.oekoplana@t-online.de
www.oekoplana.de

Geschäftsinhaber:
Dipl.-Geogr. Achim Burst

Gemeinsam engagiert in der



Deutsche Bank Mannheim
IBAN:
DE73 6707 0024 0046 0600 00
BIC: DEUTDE3333

Steuernummer: 37137/44979

Inhalt	Seite
1 Aufgabenstellung und Messtechnik	1
2 Geografische Lage, Flächennutzung und die allgemeine klimatische Situation in Ludwigshafen am Rhein	10
3 Ergebnisse der Messkampagne 2021	16
3.1 Strömungsgeschehen und Ventilation – Auswertung von Winddaten der Klimamessstationen	16
3.2 Strömungsgeschehen und Ventilation – Auswertung von Winddaten der mobilen Messkampagne	30
3.3 Thermische Situation – Auswertung von Lufttemperaturdaten der Klimamessstationen	43
3.4 Thermische Situation – Ergebnisse mobiler Messungen der Lufttemperatur	49
4 Schlussbemerkung	59
Quellenverzeichnis / weiterführende Schriften	60

Abbildungsverzeichnis	Seite
Abb. 1: Temporäre Klimamessstation 1 – Mittelpartstraße	2
Abb. 2: Temporäre Klimamessstation 2 – Rotkreuzstraße	3
Abb. 3: Temporäre Klimamessstation 3 – Berliner Straße	3
Abb. 4: Temporäre Klimamessstation 4 – Maudach	4
Abb. 5: Messfahrzeuge und Messtechnik zur linienhaften Erfassung der Lufttemperatur 2 m ü.G.	5
Abb. 6: Rauchschwadenbeobachtung und Hitzdrahtanemometer zur Erfassung der bodennächsten Kaltluftbewegungen	6
Abb. 7: Messtechnik zur Erfassung der Lufttemperatur und des Windes mit einem Fesselballon	6
Abb. 8: Standorte der Klimamessstationen in Ludwigshafen am Rhein	8
Abb. 9: Reliefkarte von Ludwigshafen am Rhein	11
Abb. 10.1: 10-jährige Windstatistik 2011 – 2020, Datenkollektiv: Alle Tage	17
Abb. 10.2: 10-jährige Windstatistik 2011 – 2020, Datenkollektiv: Alle Tage	17
Abb. 11.1: Windstatistiken Juni – Oktober 2021, Datenkollektiv: Alle Tage	18
Abb. 11.2: Windstatistiken Juni – Oktober 2021, Datenkollektiv: Alle Tage	18
Abb. 11.3: Windstatistiken Juni – Oktober 2021, Datenkollektiv: Alle Tage	19
Abb. 11.4: Windstatistiken Juni – Oktober 2021, Datenkollektiv: Alle Tage	19
Abb. 11.5: Windstatistiken Juni – Oktober 2021, Datenkollektiv: Alle Tage	20
Abb. 11.6: Windstatistiken Juni – Oktober 2021, Datenkollektiv: Alle Tage	20
Abb. 12.1: Windstatistiken Juni – Oktober 2021, Datenkollektiv: Strahlungstage	21
Abb. 12.2: Windstatistiken Juni – Oktober 2021, Datenkollektiv: Strahlungstage	21
Abb. 12.3: Windstatistiken Juni – Oktober 2021, Datenkollektiv: Strahlungstage	22
Abb. 12.4: Windstatistiken Juni – Oktober 2021, Datenkollektiv: Strahlungstage	22
Abb. 12.5: Windstatistiken Juni – Oktober 2021, Datenkollektiv: Strahlungstage	23
Abb. 12.6: Windstatistiken Juni – Oktober 2021, Datenkollektiv: Strahlungstage	23
Abb. 13.1: Windstatistiken Juni – Oktober 2021, Datenkollektiv: Heiße Tage	24
Abb. 13.2: Windstatistiken Juni – Oktober 2021, Datenkollektiv: Heiße Tage	24
Abb. 13.3: Windstatistiken Juni – Oktober 2021, Datenkollektiv: Heiße Tage	25

Abb. 13.4:	Windstatistiken Juni – Oktober 2021, Datenkollektiv: Heiße Tage	25
Abb. 13.5:	Windstatistiken Juni – Oktober 2021, Datenkollektiv: Heiße Tage	26
Abb. 13.6:	Windstatistiken Juni – Oktober 2021, Datenkollektiv: Heiße Tage	26
Abb. 14:	Tagesgang der Lufttemperatur und des Windes am 03.-04.09.2021	31
Abb. 15.1:	Synthetische Windverteilung nach WRF-UEMS am 03.09.2021 um 22:00 Uhr	32
Abb. 15.2:	Synthetische Windverteilung nach WRF-UEMS am 04.09.2021 um 00:00 Uhr	33
Abb. 15.3:	Synthetische Windverteilung nach WRF-UEMS am 04.09.2021 um 02:00 Uhr	34
Abb. 15.4:	Synthetische Windverteilung nach WRF-UEMS am 03.09.2021 um 04:00 Uhr	35
Abb. 16:	Standorte der Fesselballonaufstiege	36
Abb. 17:	Ergebnisse von Fesselballonaufstiegen am Standort 1 Im Oberfeld	37
Abb. 18:	Fesselballonaufstieg und Rauchschwadenbeobachtung (21:30 Uhr) am Standort 1 Im Oberfeld	38
Abb. 19:	Ergebnisse von Fesselballonaufstiegen am Standort 2 Bayreuther Straße	39
Abb. 20:	Fesselballonaufstieg und Rauchschwadenbeobachtung (22:35 Uhr) am Standort 2 Bayreuther Straße	40
Abb. 21:	Ergebnisse von Fesselballonaufstiegen am Standort 3 Willersinnweiher	41
Abb. 22:	Fesselballonaufstieg und Rauchschwadenbeobachtung (23:30 Uhr) am Standort 3 Willersinnweiher	42
Abb. 23.1:	Mittlere Tagesgänge der Lufttemperatur, Juni – Oktober 2021, alle Tage	43
Abb. 23.2:	Mittlere Tagesgänge der Lufttemperatur, Juni – Oktober 2021, Strahlungstage	44
Abb. 23.3:	Mittlere Tagesgänge der Lufttemperatur, Juni – Oktober 2021, heiße Tage	44
Abb. 24.1:	Tagesgänge der Lufttemperatur und des Windes am 16.-17.06.2021, heißer Sommertag	46
Abb. 24.2:	Tagesgänge der Lufttemperatur und des Windes am 13.-14.08.2021, heißer Sommertag	48

Abb. 25:	Tagesgänge der Lufttemperatur und des Windes am 22.-23.07.2021, Sommertag	50
Abb. 26:	Isothermenkarte Ludwigshafen am Rhein vom 22-23.07.2021 (00:00 Uhr)	57
Abb. 27:	Lufttemperaturprofile Ludwigshafen am Rhein vom vom 22-23.07.2021 (00:00 Uhr)	58

1 Aufgabenstellung, Messtechnik

Die im vorliegenden Bericht dokumentierte „Erfassung meteorologischer Daten in Ludwigshafen a. Rhein“ stellt den ersten Teil der geplanten Aktualisierung des Klimagutachten der Arbeitsgruppe „Klima – Luft – Lärm“ der Universität Trier aus dem Jahr 2000¹ dar. Ziel ist es, die klimaökologischen Prozessabläufe im Stadtgebiet mit Hilfe numerischer Modellrechnungen flächendeckend zu bestimmen und zu analysieren. Die Erfassung meteorologischer Daten im Jahr 2021 soll als Grundlage für die angestrebten komplexen stadtklimatologischen Modellierungen dienen.

Im Sommer 2021 wurden mit Hilfe von mobilen Messungen und temporär eingerichteten Klimamessstationen vorliegenden Klimadaten aktualisiert bzw. ergänzt. Zusätzlich konnten die Daten von Klimamessstationen der BASF, der ZIMEN-Luftmessstationen Ludwigshafen-Mundenheim und Ludwigshafen-Oppau sowie der Messstationen BG-Klinik, AbbVie und des DWD integriert bzw. im Vergleich zum langjährigen mittleren Klimageschehen herangezogen werden.

Im 4-monatigen Zeitraum Juni - September 2021 fanden folgende Messverfahren Anwendung:

- An vier temporären Klimamessstationen wurden im Untersuchungszeitraum kontinuierlich Lufttemperatur, Windrichtung und Windgeschwindigkeit gemessen.
- Mit Hilfe von vier Messfahrzeugen wurden in einer sommerlichen Strahlungsnacht (22.-23.07.2021) profilhaft angelegte Lufttemperaturmessfahrten durchgeführt. Ergänzende Messfahrten erfolgten mit jeweils einem Messfahrzeug am 03.09.2021 (Mundenheim, Innenstadt und Oppau) sowie am 13.09.2021 (Maudacher Bruch, Gartenstadt).
- Mit Hilfe kleinaerologischer Messungen (Fesselballonaufstiege, Rauchschwadenbeobachtungen) wurden am 03.-04.09.2021 zudem an drei Messstandorten die Intensitäten und Mächtigkeiten von lokalen Kaltluftbewegungen ermittelt.

Messstationen (Lage siehe Abbildungen 1 – 4):

Station 1	Mittelpartstraße – Randlage Gewerbegebiet RW 455143 / HW 5482808 ² , Geländehöhe 91 m ü. NN Höhe des Windgebers ca. 4.5 m ü.G., Lufttemperatur ca. 2.5 m ü.G.
Station 2	Rotkreuzstraße – Freiland, Ackerflächen RW 457403 / HW 5481055, Geländehöhe 93 m ü. NN Höhe des Windgebers ca. 4.5 m ü.G., Lufttemperatur ca. 2.5 m ü.G.
Station 3	Berliner Straße – Innenstadt, dichte Bebauung RW 459761 / HW 548094, Geländehöhe 94 m ü. NN Höhe des Windgebers ca. 4.5 m ü.G., Lufttemperatur ca. 2.5 m ü.G.

¹ ARBEITSGRUPPE „KLIMA – LUFT – LÄRM“ UNIVERSITÄT TRIER (2000): Klimagutachten 2000 für den Flächennutzungs- / Landschaftsplan der Stadt Ludwigshafen am Rhein.

² UTM-Koordinaten (WGS84)

Station 4 Maudach – Freiland / Ortsrandlage
RW 455113 / HW 5477701, Geländehöhe 96 m ü. NN
Höhe des Windgebers ca. 4.5 m ü.G., Lufttemperatur ca. 2.5 m ü.G.

Die temporären Messstationen wurden mit Datenloggern der Fa. F&C GmbH (Gülzow) ausgestattet. Die Messung der Lufttemperatur erfolgte über einen Pt100-Messwiderstand. Die Windmessungen wurden mit Schalenkreuzanemometern durchgeführt.



Abbildung 1: Temporäre Klimamessstation 1 – Mittelpartstraße (Foto: ÖKOPLANA)



Abbildung 2: Temporäre Klimamessstation 2 – Rotkreuzstraße (Foto: ÖKOPLANA)

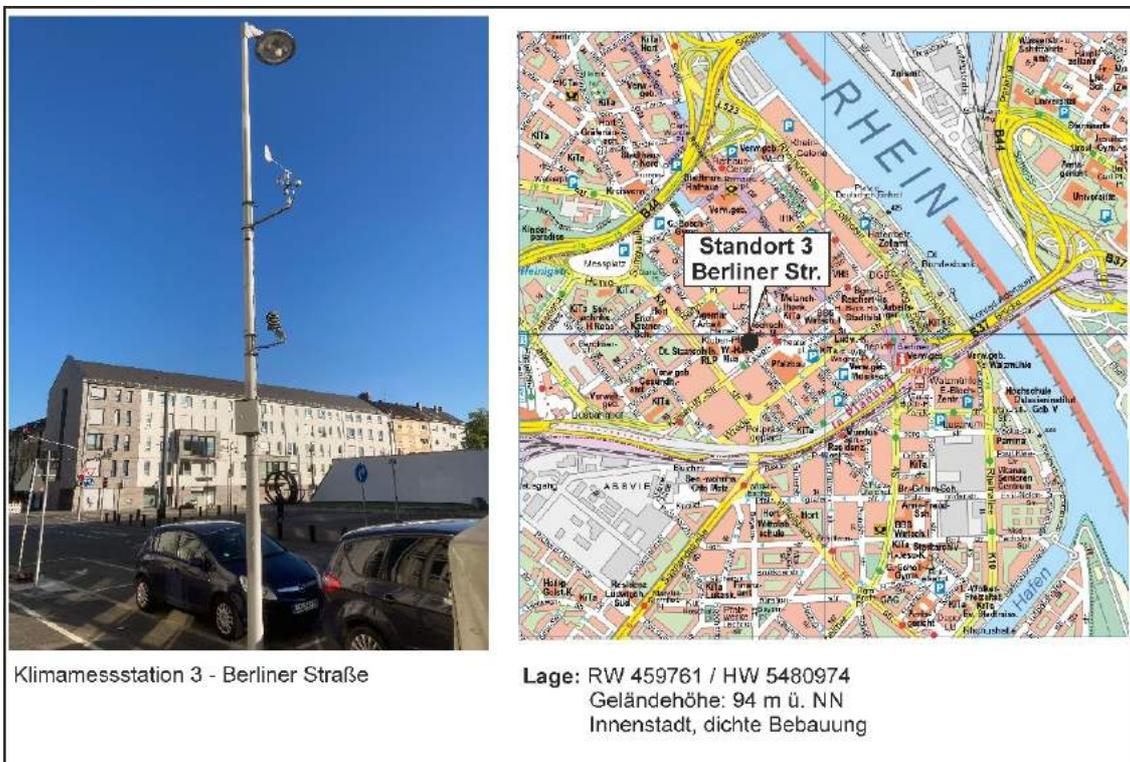


Abbildung 3: Temporäre Klimamessstation 3 – Berliner Straße (Foto: ÖKOPLANA)

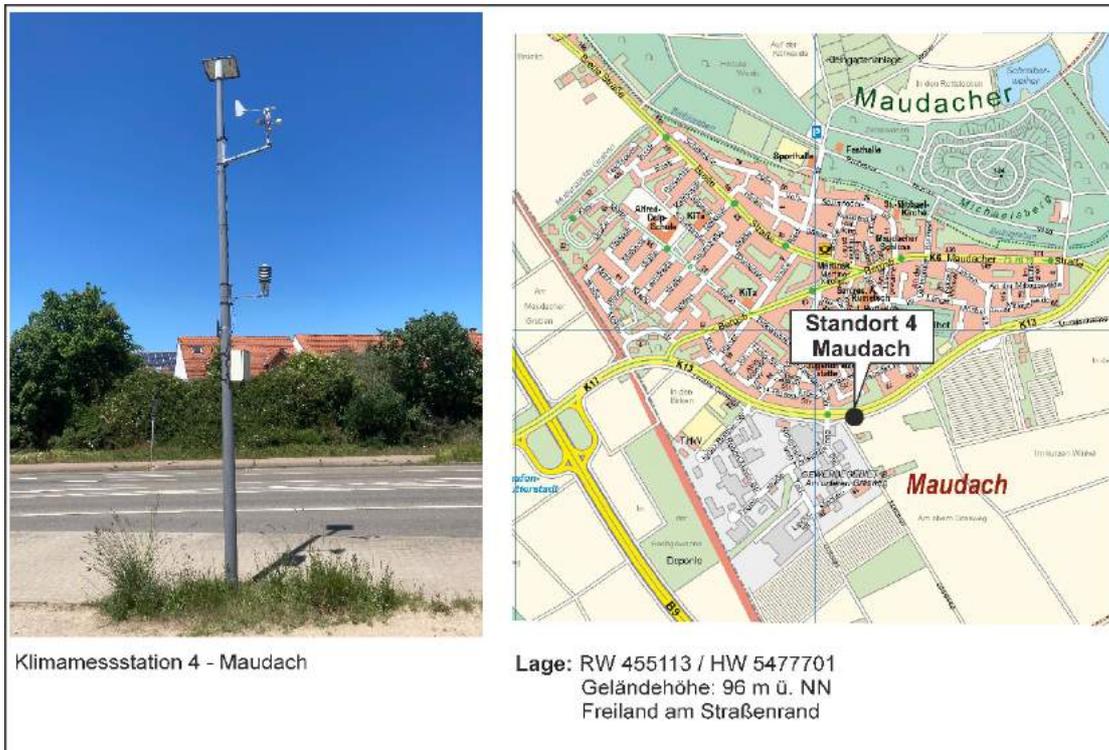
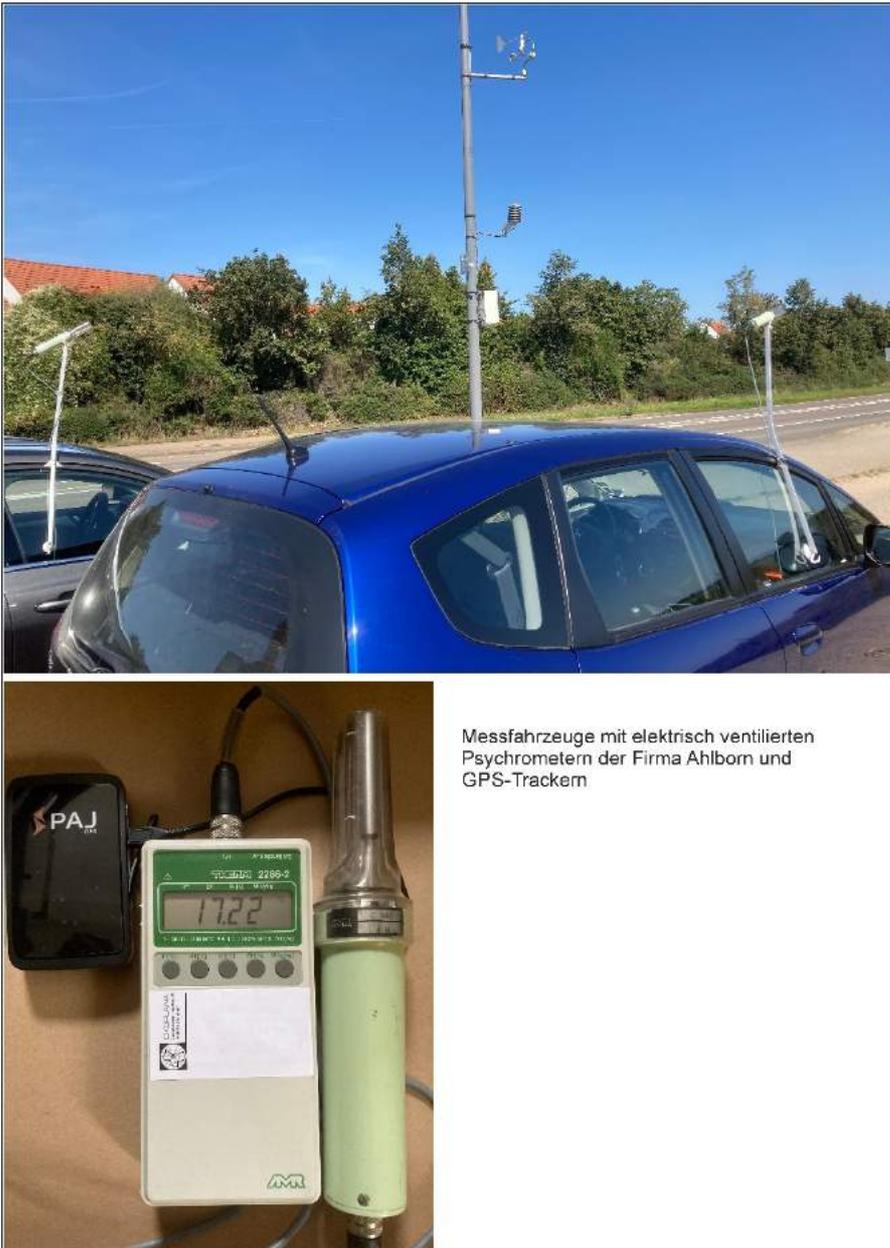


Abbildung 4: Temporäre Klimamessstation 4 – K 13 – Maudach (Foto: ÖKOPLANA)

Mittels profilhaft angelegter Messfahrten in sommerlichen Strahlungs Nächten wurden im Gesamtstadtgebiet entlang festgelegter Profilirouten die ortsspezifischen Lufttemperaturverhältnisse aufgezeichnet. Die Ergebnisse geben Aufschluss über die städtische Wärmeinselintensität und die thermische Gunstwirkung lokaler Kaltluftentstehungsgebiete.

Die vier Messfahrzeuge wurden mit einem ventilierten Psychrometer der Fa. Ahlborn ausgestattet (siehe **Abbildung 5**). Entlang der festgelegten Routen erfolgte eine kontinuierliche Aufzeichnung der Lufttemperatur (2 m ü.G.).



Messfahrzeuge mit elektrisch ventilierten Psychrometern der Firma Ahlborn und GPS-Trackern

Abbildung 5: Messfahrzeuge und Messtechnik zur linienhaften Erfassung der Lufttemperatur 2 m ü.G. (Foto: ÖKOPLANA)

Zur Erfassung bodennaher Kaltluftbewegungen wurden am 03.-04.09.2021 (windschwache, sommerliche Strahlungsnacht) an drei ausgewählten Messstandorten Fesselballonaufstiege und begleitende Rauchschwadenbeobachtungen durchgeführt. Während die Rauchschwaden (**Abbildung 6**) die bodennächsten Kaltluftbewegungen (bis ca. 2.5 m ü.G.) dokumentieren, geben die Aufstiege Aufschluss über die vertikale Mächtigkeit der lokalen Kaltluft bzw. über ihr vertikales Temperaturprofil (siehe **Abbildung 7**). Aus Gründen der Flugsicherung musste die Messhöhe auf 30 m ü.G. begrenzt werden.



Abbildung 6: Rauchschwadenbeobachtung und Hitzdrahtanemometer zur Erfassung der bodennächsten Kaltluftbewegungen (Foto: ÖKOPLANA)



Abbildung 7: Messtechnik zur Erfassung der Lufttemperatur und des Windes mit einem Fesselballon (Foto: ÖKOPLANA)

Messstationen externe Messnetze (Lage siehe Abbildungen 8):

BASF Z319	BASF – Randlage Industriegebiet RW 457461 / HW 5486052, Geländehöhe 92 m ü. NN Höhe des Windgebers 10 m ü.G.
BASF V349	BASF – Randlage Industriegebiet RW 457482 / HW 5486052, 91 m ü. NN Höhe des Windgebers 18 m ü.G.
BASF S801	BASF – Randlage Industriegebiet RW 457286 / HW 5484789, Geländehöhe 91 m ü. NN Höhe der Windgeber 10 und 30 m ü.G., Lufttemperatur 2 m und 28 m ü.G.
BASF Pfw	BASF – Ortsrandlage RW 456092 / HW 5487452, 89 m ü. NN Höhe des Windgebers 35 m ü.G.
BASF Neckarsp	BASF – Randlage Industriegebiet RW 459307 / HW 5484378, Geländehöhe 90 m ü. NN Höhe des Windgebers 10 m ü.G.
BASF Z570	BASF – Kläranlage RW 456652 / HW 5488771, Geländehöhe 90 m ü. NN Höhe des Windgebers 34 m ü.G.
BASF M320	BASF – Industriegebiet RW 458400 / HW 5485424, Geländehöhe 90 m ü. NN Höhe des Windgebers 57 m ü.G.
BASF H505	BASF – Industriegebiet RW 458386 / HW 5483685, Geländehöhe 93 m ü. NN Höhe des Windgebers 82 m ü.G.
BGUK	Berufsgenossenschaftliche Unfallklinik – Randlage Gewerbegebiet RW 455727 / HW 5481548, Geländehöhe 90 m ü. NN Höhe des Windgebers ca. 50 m ü.G.
AbbVie	AbbVie – Industriegebiet RW 459331 / HW 5480274, Geländehöhe 90 m ü. NN Höhe des Windgebers ca. 40 m ü.G.
ZIMEN Oppau	Zentrales Immissionsmessnetz – aufgelockerte Wohnbebauung RW 456738 / HW 5484873, Geländehöhe 89 m ü. NN Höhe des Windgebers 10 m ü.G.
ZIMEN Mundenheim	Zentrales Immissionsmessnetz – aufgelockerte Wohnbebauung RW 458384 / HW 5478217, Geländehöhe 93 m ü. NN Höhe des Windgebers 10 m ü.G., Lufttemperatur 3,5 m ü.Gr.

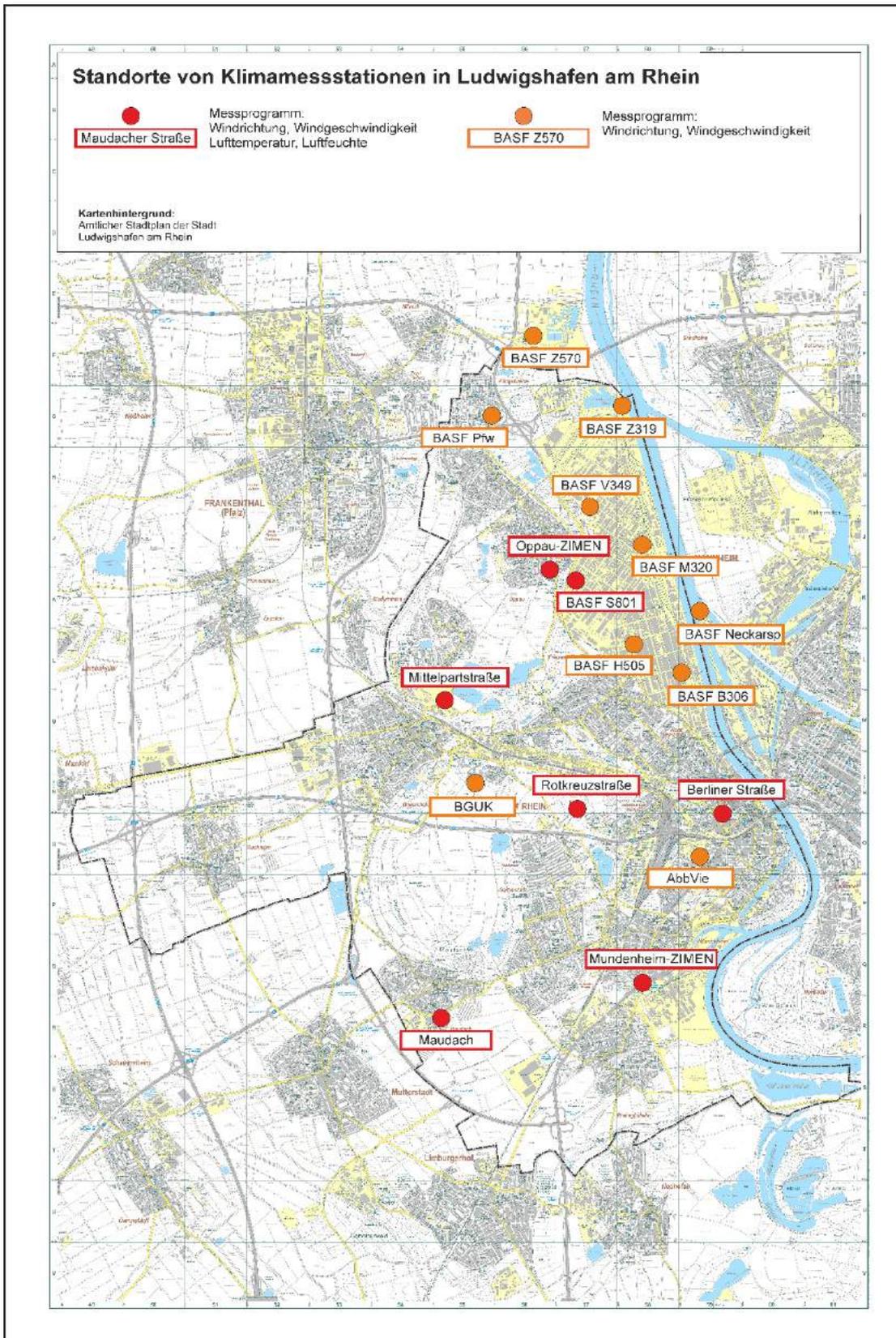


Abbildung 8: Standorte der Klimamessstationen in Ludwigshafen am Rhein.
 Stadtplan bereitgestellt von: Stadt Ludwigshafen am Rhein.

Bei den externen Messstationen (siehe **Abbildung 8**) erfolgen die Windmessungen mit Schalenkreuz- bzw. Ultraschallanemometern und die Erfassung der Lufttemperatur über Pt100-Sensoren.

Für die Einordnung des temporären Messzeitraums 2021 zum langfristigen mittleren Geschehen wurden zusätzlich noch die Daten des 10-Jahreszeitraums 2011 – 2020 herangezogen.

2 Geografische Lage, Flächennutzung und die allgemeine klimatische Situation in Ludwigshafen am Rhein

Die Stadt Ludwigshafen erfüllt in der Metropolregion Rhein-Neckar die Funktion eines Oberzentrums, das u.a. durch eine Vielzahl überregional bedeutsamer Industrie- und Gewerbebetriebe gekennzeichnet ist.

Naturräumlich ist das Stadtgebiet von Ludwigshafen der Oberrheinischen Tiefebene zuzuordnen, die im Osten vom Odenwald und im Westen vom Pfälzer Wald begrenzt wird.

Wie der **Abbildung 9** zu entnehmen ist, wird das örtliche Landschaftsbild wesentlich vom Flusslauf des Rheins und seiner Niederterrasse bzw. von den ehemaligen Mäandern (Maudauer Bruch) geprägt. Die tiefsten Geländepunkte (<90 m ü. NN) befinden sich im Nahbereich des Rheins bzw. in den früheren Rheinmäandern. Die höchsten Geländepunkte (ca. 98 m ü. NN) liegen im Bereich zwischen Maudach und Rheingönheim bzw. als künstliche Aufschüttung mit 124 m ü. NN im Michaelsberg im Maudacher Bruch. Damit ergibt sich über nahezu dem gesamten Stadtgebiet von Ludwigshafen eine Höhendifferenz von weniger als 10 m.

Die Gemarkungsfläche beträgt nach Angaben des STATISTISCHEN LANDESAMTES RHEINLAND-PFALZ (2020) insgesamt 7.743 ha, wovon entsprechend dem Umweltbericht der Stadt Ludwigshafen am Rhein (2020) im Jahr 2019 ca. 44% den Siedlungs- und Verkehrsflächen zuzuordnen sind (<https://www.ludwigshafen.de/nachhaltig/umwelt/umweltbericht>). Dieser Wert liegt deutlich über dem Landesdurchschnitt (8,5 % im Jahr 2019). Die Landwirtschaftsflächen nehmen einen Flächenanteil von 27% ein. Die Waldareale weisen einen Flächenanteil von ca. 7% auf. Der Anteil der Wasserflächen am Stadtgebiet beträgt ca. 5%.

Nach Angaben der Stadt Ludwigshafen am Rhein (www.ludwigshafen.de) leben auf der Gemarkungsfläche von Ludwigshafen am Rhein insgesamt 177.219 Einwohner (mit Haupt- und Nebenwohnsitz).

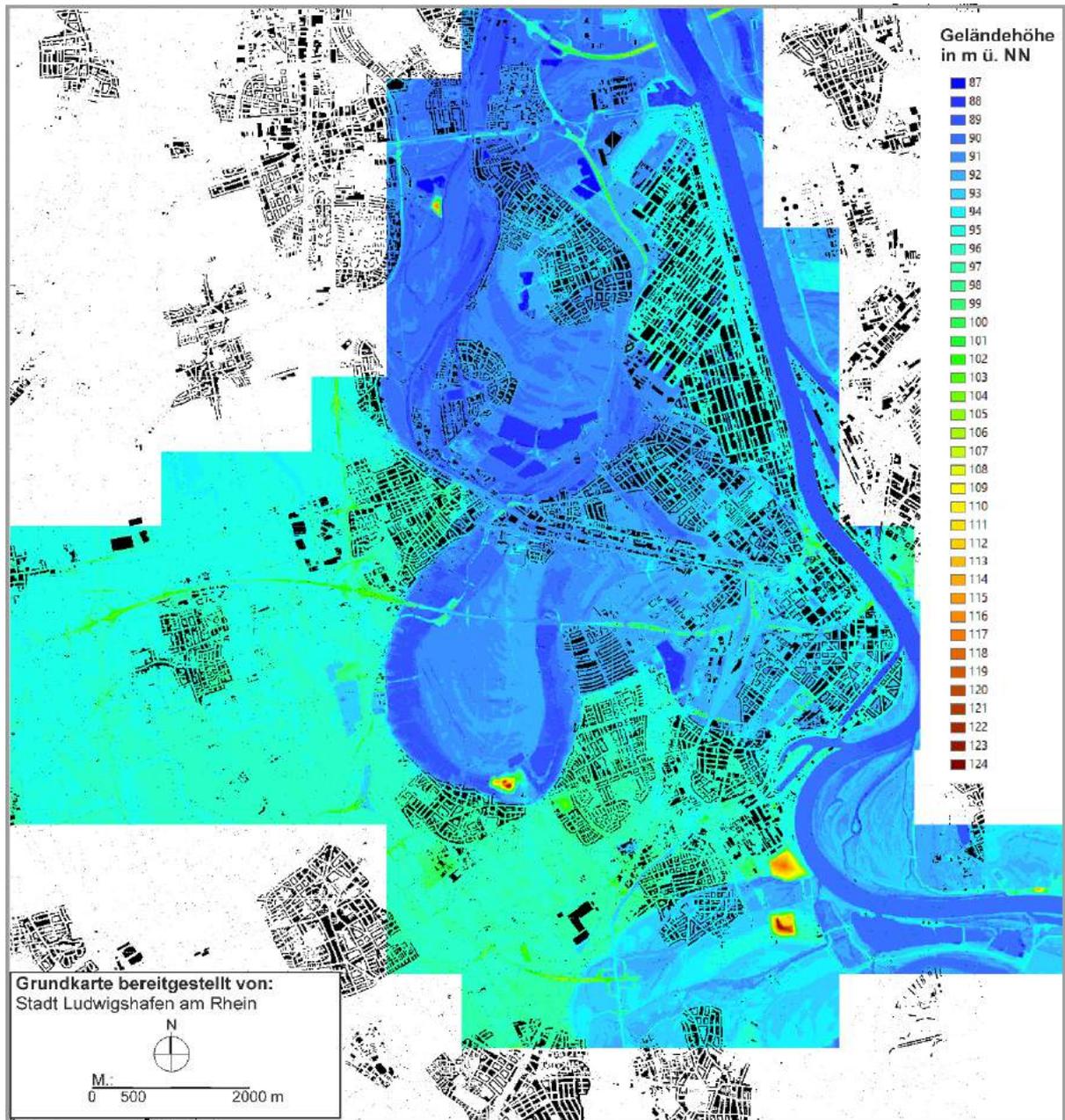


Abbildung 9: Reliefkarte von Ludwigshafen am Rhein.
Digitale Geländehöhen bereitgestellt von: Stadt Ludwigshafen am Rhein.

Das Stadtgebiet von Ludwigshafen am Rhein befindet sich nach der Systematik von KÖPPEN in der warmgemäßigten Klimazone, die im Oberrheingraben bei Ludwigshafen durch eine hohe Anzahl an Sommertagen ($T_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C} \rightarrow 68$ Tage im Jahr) sowie heißen Tagen ($T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C} \rightarrow 21$ Tage im Jahr) und eine geringe Anzahl an Frosttagen ($T_{\min} < 0^{\circ}\text{C} \rightarrow 65$ Tage im Jahr) charakterisiert ist (siehe **Tabelle 1**).

Die Jahresmitteltemperatur beträgt ca. 11°C . Der wärmste Monat ist der Juli mit einer durchschnittlichen Lufttemperatur nahe 21°C . Die angegebenen Werte beziehend sich auf die Daten der DWD-Wetterstation Mannheim und den Bezugszeitraum der aktuellen Klimanormalperiode 1991- 2020. Die Station befindet sich in Mannheim-Vogelstang am Siedlungsrand und ist insbesondere in Bezug auf die thermische Situation repräsentativ für die Freilandbereiche von Ludwigshafen.

Im Vergleich zur Klimareferenzperiode 1961 – 1990 (**Tabelle 2**), welche weitgehend das typische Klimageschehen vor der signifikanten rezenten Klimaerwärmung widerspiegelt, sind die mittleren Temperaturen im Winter und im Sommer um $1,2^{\circ}\text{C}$ angestiegen wobei gleichzeitig die Anzahl der Sommertage/Jahr um 34% und die Anzahl der heißen Tage/Jahr um 81% zugenommen hat.

Innerhalb des Ludwigshafener Stadtgebiets kommt es durch die differenzierte Flächennutzung vor allem an windschwachen Strahlungstagen zu deutlichen Lufttemperaturgegensätzen. Die in **Tabelle 3** dargestellten Klimamittelwerte im Zeitraum Juli 2014 bis September 2021 der DWD-Wetterstation Mannheim im Vergleich zu den Messstationen BASF S801 und Ludwigshafen-Mundenheim (ZIMEN) verdeutlichen dies. So lagen die Monatsmittelwerte am Stadtrandstandort Mundenheim im Sommer um bis zu $1,4^{\circ}\text{C}$ über den Werten der Freilandstation Mannheim. Parallel hierzu wurden Sommertage, heiße Tage sowie Tropennächte ($T_{\min} \geq 20^{\circ}\text{C}$) häufiger und Frosttage seltener beobachtet. Zu beachten gilt in diesem Zusammenhang, dass die Messtechnik der ZIMEN -Messstationen nach Angaben des Landesamtes für Umwelt Rheinland-Pfalz nicht in allen Belangen der DWD-Norm entspricht und an Tagen mit intensiver Sonneneinstrahlung technisch bedingt tendenziell zu hohe Maxima registriert werden. Auf die Berechnung der Monatsmittelwerte wirkt sich diese Einschränkung jedoch kaum aus.

Parameter	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Lufttemperatur ($^{\circ}\text{C}$)	2.4	3.4	7.1	11.3	15.3	18.7	20.7	20.3	15.9	11.0	6.2	3.3	11.2
Frosttage	16.2	14.6	9.1	2.5	0	0	0	0	0	1.3	7.0	13.7	64.6
Sommertage	0	0	0	2.2	7.2	13.7	19.0	18.7	6.5	0.4	0	0	67.7
Heiße Tage	0	0	0	0	0.9	4.1	7.5	6.9	1.1	0	0	0	20.5
Tropennächte	0	0	0	0	0	0.1	0.6	0.8	0	0	0	0	1.5
Niederschlag (mm)	42	41	42	41	67	66	71	62	50	53	53	55	641
Sonnenscheindauer (h)	56	82	136	193	217	226	236	224	170	108	56	42	1744

Tabelle 1: Langjährige Mittelwerte und Kenntage / Wetterstation Mannheim für die Klimareferenzperiode 1991-2020. Quelle: Deutscher Wetterdienst (<https://www.dwd.de>)

Parameter	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Lufttemperatur (°C)	1.2	2.5	5.9	9.9	14.4	17.6	19.5	18.8	15.3	10.4	5.2	2.2	10.2
Frosttage	16.3	14.4	9.0	2.3	0.1	0	0	0	0	1.3	7.9	15.0	66.3
Sommertage	0	0	0.1	0.6	4.9	10.2	14.5	14.3	5.5	0.4	0	0	50.5
Heiße Tage	0	0	0	0.1	0.2	1.6	5.2	3.6	0.6	0	0	0	11.3
Tropennächte	0	0	0	0	0	0.2	0.4	0.1	0	0	0	0	0.7
Niederschlag (mm)	40	40	45	52	75	77	77	59	54	49	52	49	668
Sonnenscheindauer (h)	46	81	123	167	212	215	235	214	168	111	56	45	1673

Tabelle 2: Langjährige Mittelwerte und Kenntage / Wetterstation Mannheim für die Klimareferenzperiode 1961-1990. Quelle: Deutscher Wetterdienst (<https://www.dwd.de>)

Parameter	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
MA Temperatur	2.9	3.7	7.3	11.3	15.4	19.9	21.7	20.6	16.3	11.7	6.8	4.7	11.8
BASF Temperatur	4.0	5.3	8.5	12.6	16.3	21.2	22.5	21.7	17.7	12.7	7.8	5.5	13.0
ZIMEN Temperatur	3.4	4.2	8.0	12.4	16.7	21.2	23.1	21.8	17.3	12.4	7.4	5.1	12.8
MA Frosttage	13.6	14.0	9.1	3.4	0	0	0	0	0	0.3	6.1	10.1	56.7
BASF Frosttage	9.1	7.7	2.3	0.3	0	0	0	0	0	0	1.9	5.0	26.3
ZIMEN Frosttage	9.9	9.3	3.6	0.8	0	0	0	0	0	0	2.6	6.0	32.1
MA Sommertage	0	0	0.1	2.4	5.4	16.6	21.6	19.1	8.6	0.9	0	0	74.6
BASF Sommertage	0	0	0.1	3.7	6.3	18.7	23.0	20.9	9.1	1.0	0	0	82.9
ZIMEN Sommertage	0	0	0.3	4.6	8.6	19.4	24.9	22.4	10.5	1.1	0	0	91.8
MA heiße Tage	0	0	0	0	1.0	5.3	7.9	8.5	1.6	0	0	0	24.3
BASF heiße Tage	0	0	0	0	1.7	7.4	9.1	9.9	2.1	0	0	0	30.3
ZIMEN heiße Tage	0	0	0	0.4	1.8	9.0	12.0	10.6	2.8	0	0	0	36.5
MA Tropennächte	0	0	0	0	0	0.3	1.1	2.0	0.1	0	0	0	3.5
BASF Tropennächte	0	0	0	0	0	2.0	3.1	3.1	0	0	0	0	8.3
ZIMEN Tropennächte	0	0	0	0	0	1.9	3.3	3.6	0	0	0	0	8.8

Tabelle 3: Vergleichende Mittelwerte und Kenntage / Wetterstation Mannheim (MA), BASF S801 (BASF) und ZIMEN Mundenheim im Zeitraum Juli 2014 – September 2021 (Quelle: Deutscher Wetterdienst (<https://www.dwd.de>, <https://luft.rlp.de>, BASF))

Tabelle 4 verdeutlicht die Repräsentativität des temporären Messzeitraums Juni - September 2021 im Vergleich zu den Mittelwerten der Klimanormalperiode 1961 – 1990. Demzufolge war es im Messzeitraum insgesamt etwas wärmer als zu erwarten (+1,1°C) bei leicht überdurchschnittlicher Sonnenscheindauer und insbesondere im Juli und August überdurchschnittlichen Niederschlagsmengen. Einen hochsommerlichen Charakter hatten insbesondere die beiden ersten Dekaden des Monats Juni. Ansonsten traten eher nur kurze Strahlungswetterperioden (Mitte August und erste Septemberhälfte) auf.

Monat	Mitteltemperatur und Abweichung in °C		Niederschlag in mm u. in % vom Mittel		Sonnenscheindauer in h und in % vom Mittel	
Juni	21.2	+3.6	84	109	263	122
Juli	19.6	+0.1	113	147	234	100
August	18.2	-0.6	90	153	172	80
September	16.7	+1.4	29	59	232	138
Gesamtzeitraum	19.0	+1.1	316	118	901	108

Tabelle 4: Monatliche Mittelwerte 2021 und deren Abweichung vom langjährigen Mittel (1961-1990) für die Wetterstation Mannheim. Quelle: Deutscher Wetterdienst (<https://www.dwd.de>)

In den **Tabellen 5, 6 und 7** sind die Monatsmittelwerte sowie die mittleren Maxima und Minima der Lufttemperatur des temporären Messnetzes bzw. der BASF Klimastation S801 und der ZIMEN-Station Mundenheim aufgelistet. Erwartungsgemäß wurden an der Innenstadtstation Berliner Straße die höchsten Werte verzeichnet. Im Vergleich zum Freilandstandort Rotkreuzstraße betragen die Differenzen in allen vier Monaten bezüglich der Mittelwerte 1,0 - 1,6°C. Etwas geringer waren die Unterschiede bei den mittleren Maxima (0,7 - 1,3°C) und etwas größer hinsichtlich der mittleren Minima (1,8 - 3,0°C). Dies entspricht dem typischen thermischen Geschehen im Tag- und Nachtrhythmus. Als Folge der turbulenten Durchmischung bei Sonneneinstrahlung neigen die nutzungsspezifischen Temperaturunterschiede dazu, sich am Tag anzugleichen, während sie sich in der Nacht aufgrund der stabileren vertikalen Schichtung und der differenzierten nutzungsspezifischen Wärmekapazitäten deutlicher ausprägen.

Monat	Mannheim DWD	Maudach	Rotkreuzstr.	Mittelpartstr.	Berliner Str.	Mundenheim ZIMEN	S801 BASF
Juni	21.2	22.2	21.8	22.7	22,8	22.5	22.6
Juli	19.6	20.8	20.4	21.2	21,4	21.1	21.4
August	18.2	19.4	18.9	19.7	19,9	19.5	19.7
September	16.7	18.1	17.6	18.6	19,2	18.5	18.7
Gesamtzeitraum	18.9	20.1	19.7	20.6	20.8	20.4	20.6

Tabelle 5: Monatliche Mittelwerte der Lufttemperatur in °C im Jahr 2021 an den Stationen des stationären Messnetzes sowie der Wetterstation Mannheim, der ZIMEN-Station Ludwigshafen-Mundenheim und der BASF-Station S801. 2021 (Quelle: Deutscher Wetterdienst (<https://www.dwd.de>), <https://luft.rlp.de>, BASF)

Monat	Mannheim DWD	Maudach	Rotkreuz- str.	Mittel- partstr.	Berliner Str.	Munden- heim ZIMEN	S801 BASF
Juni	27.2	28.7	28.3	29.1	29.6	29.0	28.3
Juli	25.0	26.3	26.0	26.6	27.0	26.6	26.4
August	23.4	24.9	24.4	25.0	25.1	25.1	25.0
September	23.4	24.6	24.7	25.0	25.6	25.0	24.6

Tabelle 6: Mittleres tägliches Maximum³ der Lufttemperatur in °C 2021 an den Stationen des stationären Messnetzes sowie der Wetterstation Mannheim, der ZIMEN-Station Mundenheim und der BASF-Station S801 (Quelle: Deutscher Wetterdienst (<https://www.dwd.de>, <https://luft.rlp.de>, BASF)

Monat	Mannheim DWD	Maudach	Rotkreuz- str.	Mittel- partstr.	Berliner Str.	Munden- heim ZIMEN	S801 BASF
Juni	14.8	15.8	14.9	16.6	17.6	16.2	16.8
Juli	14.0	15.6	15.1	16.3	16.9	15.9	16.5
August	13.1	14.8	14.1	15.4	16.0	15.0	15.5
September	11.7	12.3	11.2	13.2	14.4	12.6	13.4

Tabelle 7: Mittleres tägliches Minimum⁴ der Lufttemperatur in °C 2021 an den Stationen des stationären Messnetzes sowie der Wetterstation Mannheim, der ZIMEN-Station Mundenheim und der BASF-Station S801 (Quelle: Deutscher Wetterdienst (<https://www.dwd.de>, <https://luft.rlp.de>, BASF)

³ Maxima der Wetterstation Mannheim sind absolute Werte; Werte der übrigen Stationen resultieren aus den Halbstundenwerten bzw. 10-Minuten-Werten (BASF)

⁴ Minima der Wetterstation Mannheim sind absolute Werte; Werte der übrigen Stationen resultieren aus den Halbstundenwerten bzw. 10-Minuten-Werten (BASF)

3 Ergebnisse der Messkampagne 2021

3.1 Strömungsgeschehen und Ventilation – Auswertung von Winddaten der Klimamessstationen

Kenntnisse über das ortsspezifische Strömungsgeschehen sind zur Beurteilung der klimatischen Situation erforderlich, da neben den thermischen Verhältnissen vor allem die bodennahe Ventilation die Auftretenshäufigkeit von Wärmebelastungen mitbestimmt.

Wie die Ergebnisse stationärer und mobiler Windmessungen zeigen, wird das lokale Strömungsgeschehen im Stadtgebiet von Ludwigshafen am Rhein im Wesentlichen durch die örtliche Flächennutzung und die Leitlinienwirkung größerer Freiräume (regionale Grünzüge) und des Rheins beeinflusst.

Bei der nachfolgenden Auswertung der vorliegenden Winddaten in Ludwigshafen am Rhein werden nachfolgend der Gesamtmesszeitraum (01.06. - 19.10.2021) sowie als eigenständiges Datenkollektiv die Strahlungstage⁵ (ca. 20% der Tage im Gesamtmesszeitraum) und heißen Tage ($T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$, ca. 7% der Tage im Gesamtmesszeitraum) ausgewertet und für die einzelnen Stationsstandorte des temporären ÖKOPLANA-Messnetzes sowie der Fremdmessnetze in Form von Häufigkeitsverteilungen der Windrichtung (Windrosen) dargestellt. Dazu wird aus den Halbstundenmitteln des Untersuchungszeitraumes für jede Station die prozentuale Häufigkeit der Windrichtungen berechnet und in Doppelwindrosen⁶ für jeweils 30-Grad Sektoren getrennt für Tag- und Nachtstunden dargestellt. Durch die Aufteilung in verschiedene Tagesintervalle wird das ortsspezifische, tagesperiodisch wechselnde Strömungsgeschehen verdeutlicht. In den Nachtstunden wird für die 1. Nachthälfte der Zeitraum 20 – 23 Uhr gewählt, um das Windfeld in der frühen Phase der nächtlichen Abkühlung herausarbeiten zu können.

Die Vergleichbarkeit des Strömungsgeschehens im Untersuchungszeitraum, insbesondere während der für stadtklimatische Prozesse besonders relevanten Strahlungswetterlagen, lässt sich anhand der langjährigen Windverteilungen an den Stationen ZIMEN-Oppau, ZIMEN-Mundenheim und BASF S801 überprüfen. Die **Abbildungen 10.1** und **10.2** geben die entsprechenden Verteilungen im 10-jährigen Messzeitraum 2011 – 2020 wieder.

Sie zeigen sowohl bezüglich der nachfolgend näher erläuterten Verteilung der Windrichtungen sowie des tagesperiodischen Windrichtungswechsels grundsätzliche Übereinstimmungen mit den entsprechenden Windverteilungen im Untersuchungszeitraum Juni – Oktober 2021 (**Abbildungen 11.1 – 11.6**) so dass für den Kurzmesszeitraum 2021 näherungsweise eine Repräsentativität gegeben ist.

⁵ Ein Tag wird als Strahlungstag eingestuft, wenn sich die Sonnenscheindauer am Tag auf einen Wert von $\geq 70\%$ der astronomisch möglichen Dauer beläuft und in der Nacht der Bedeckungsgrad $\leq 2/8$ beträgt.

⁶ Die einzelnen Teilkreise entsprechen Häufigkeiten der Windrichtung (Halbstundenmittelwerte) von 5%, 10%, 15% usw., dabei deuten die Teilstriche der Windrose in die Richtung aus welcher der Wind weht (Teilstrich nach oben entspricht einem Nordwind, nach rechts einem Ostwind). Als weitere Information wurden die mittleren Windgeschwindigkeiten der 30-Grad-Richtungssektoren für die jeweiligen Tages- und Nachthälften aufgezeichnet.

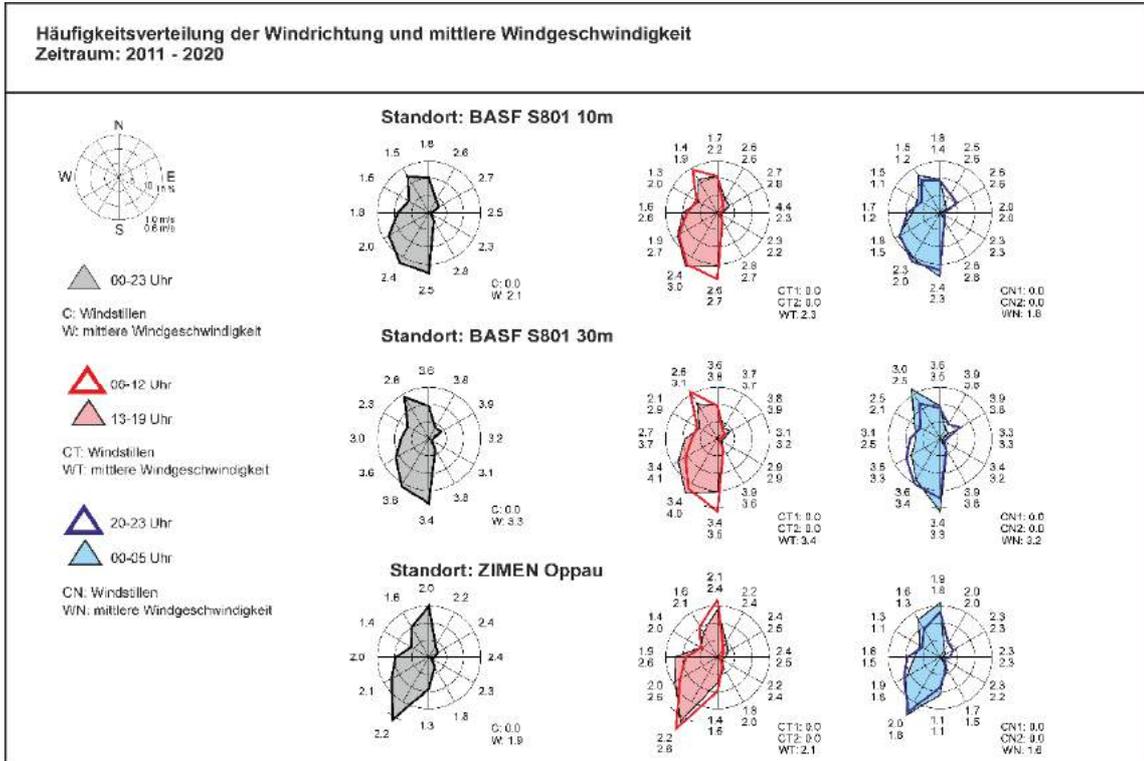


Abbildung 10.1: 10-jährige Windstatistiken 2011 – 2020, Datenkollektiv: Alle Tage

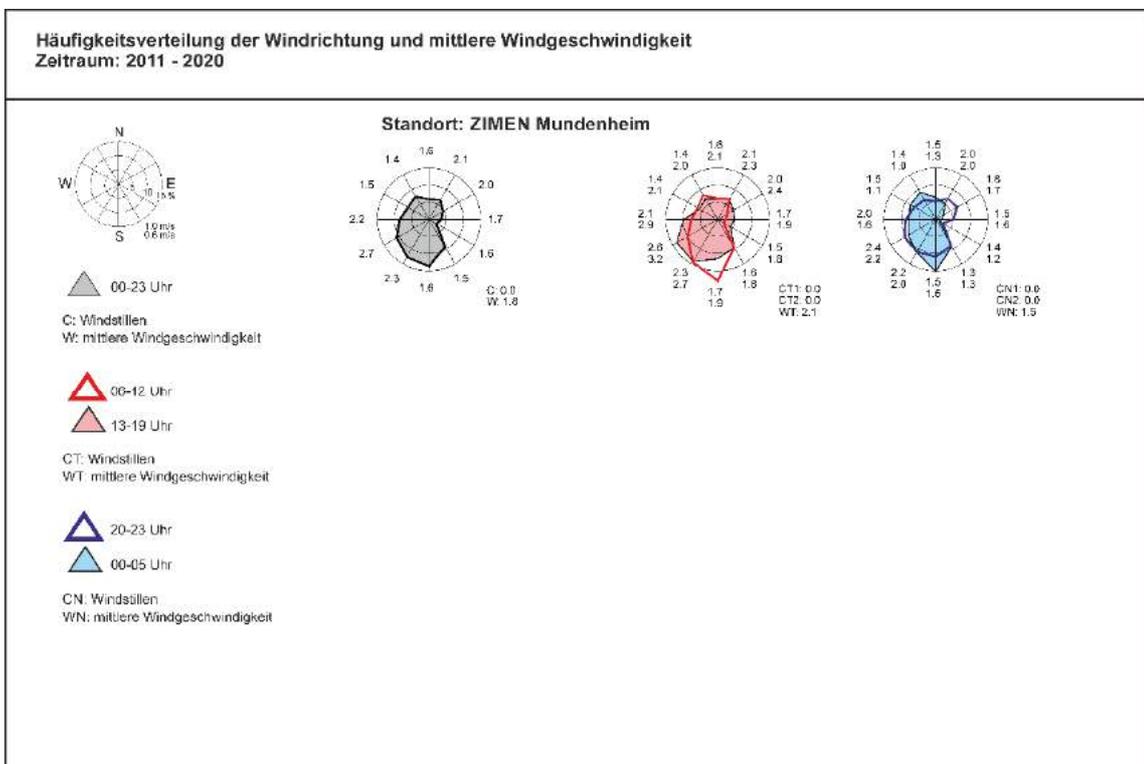


Abbildung 10.2: 10-jährige Windstatistiken 2011 – 2020, Datenkollektiv: Alle Tage

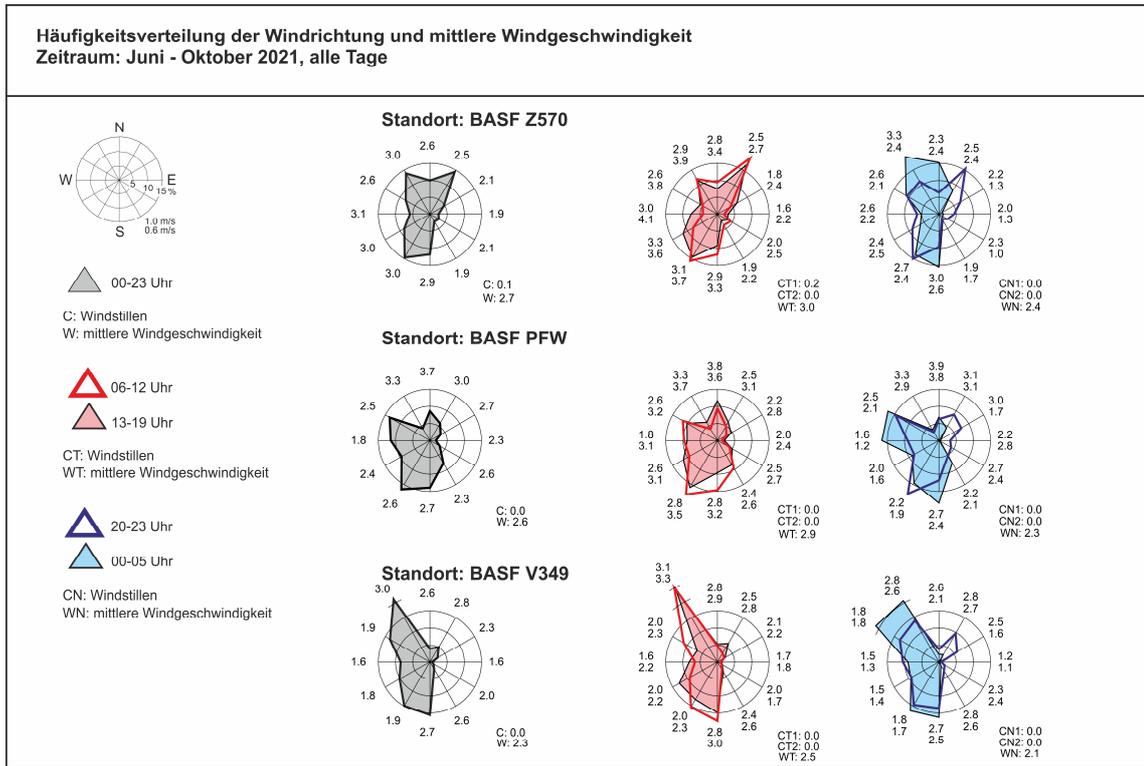


Abbildung 11.1: Windstatistiken Juni – Oktober 2021, Datenkollektiv: Alle Tage

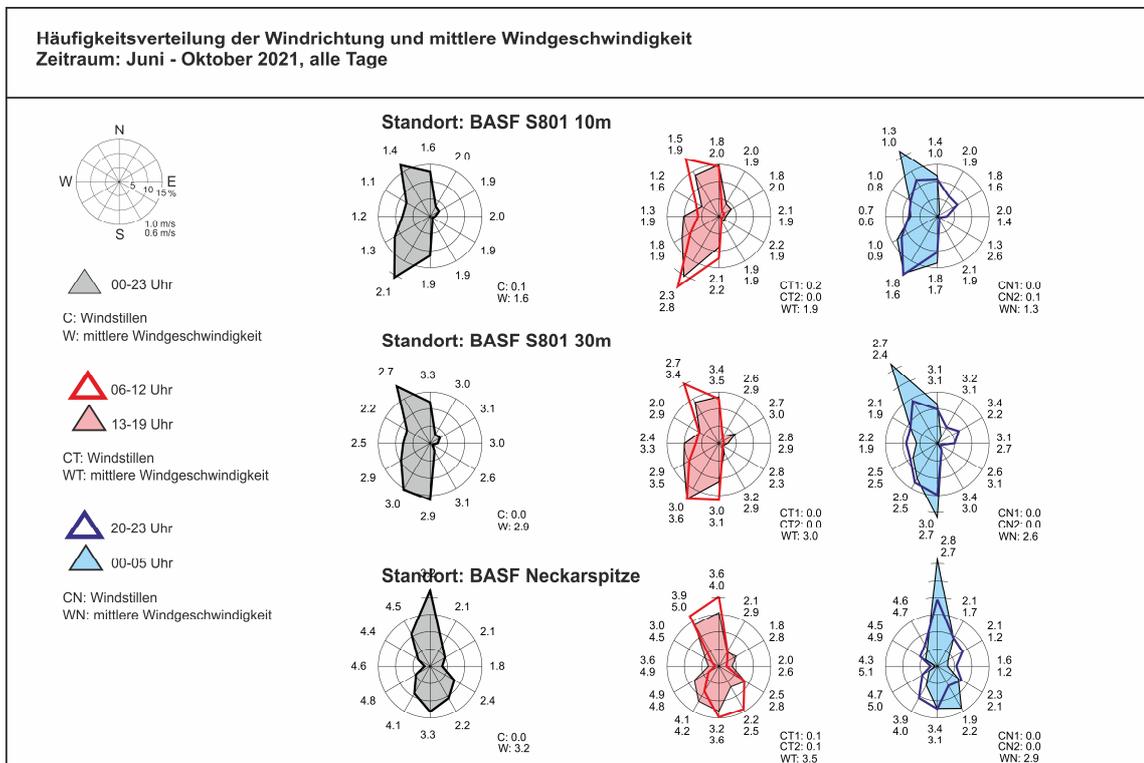


Abbildung 11.2: Windstatistiken Juni – Oktober 2021, Datenkollektiv: Alle Tage

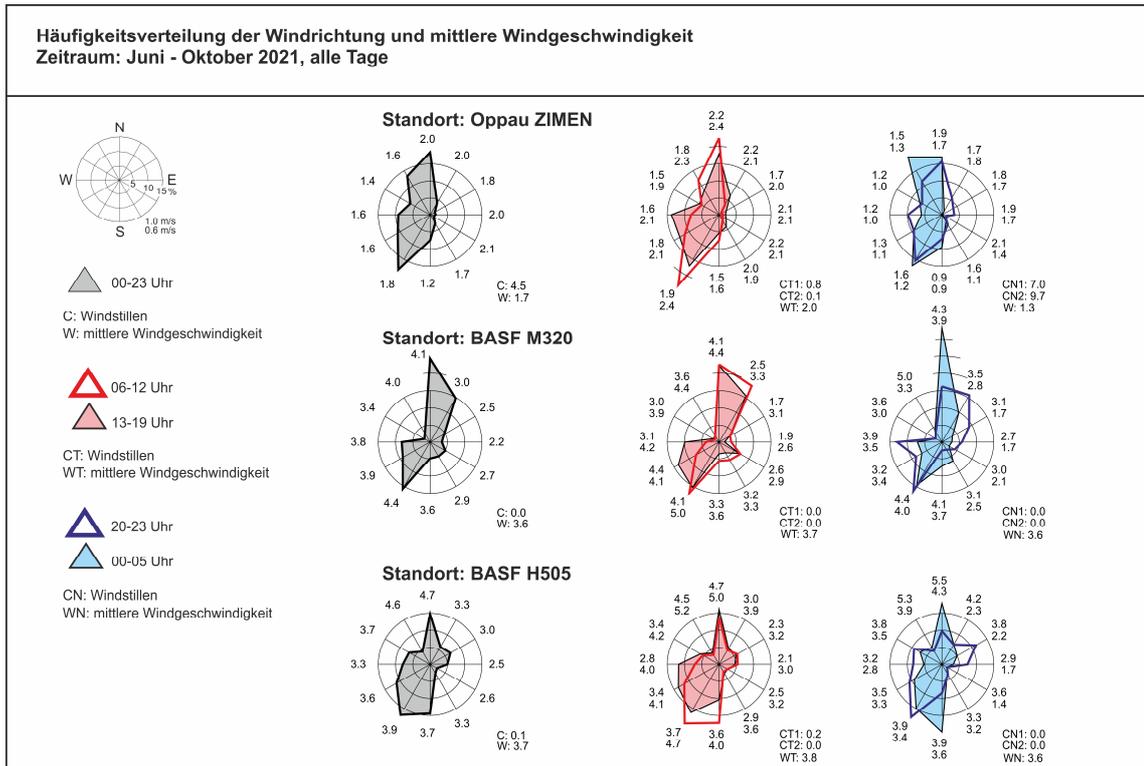


Abbildung 11.3: Windstatistiken Juni – Oktober 2021, Datenkollektiv: Alle Tage

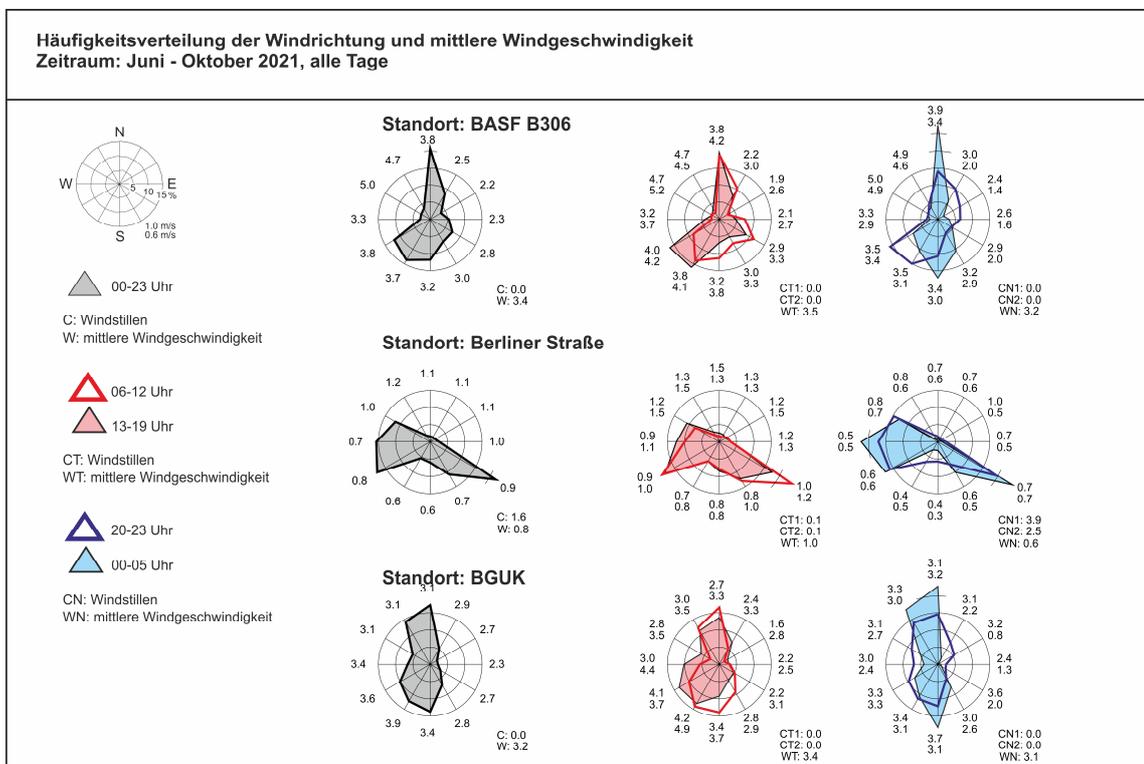


Abbildung 11.4: Windstatistiken Juni – Oktober 2021, Datenkollektiv: Alle Tage

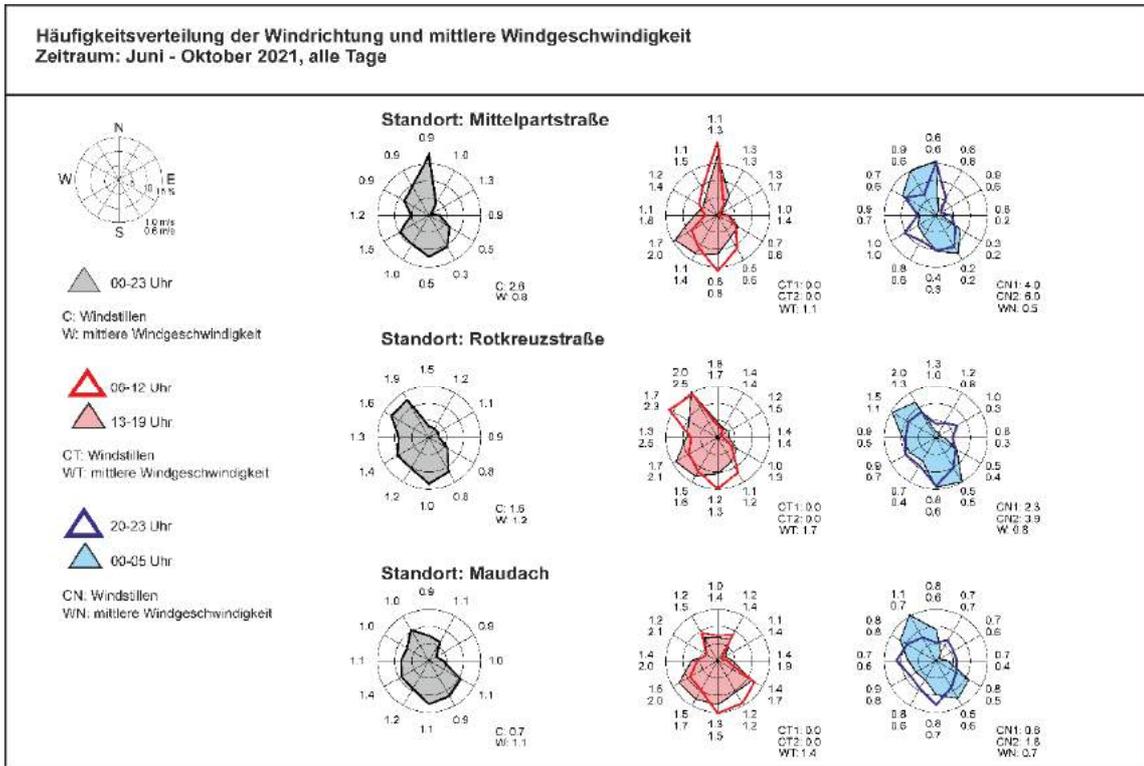


Abbildung 11.5: Windstatistiken Juni – Oktober 2021, Datenkollektiv: Alle Tage

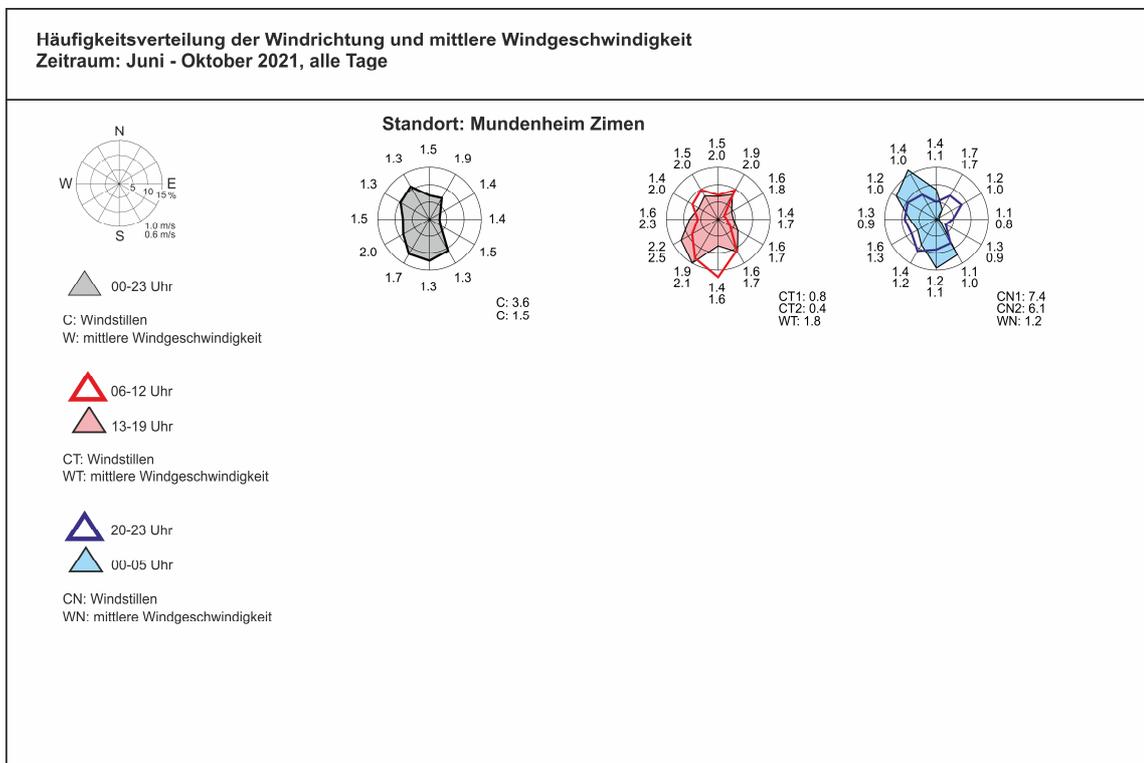


Abbildung 11.6: Windstatistiken Juni – Oktober 2021, Datenkollektiv: Alle Tage

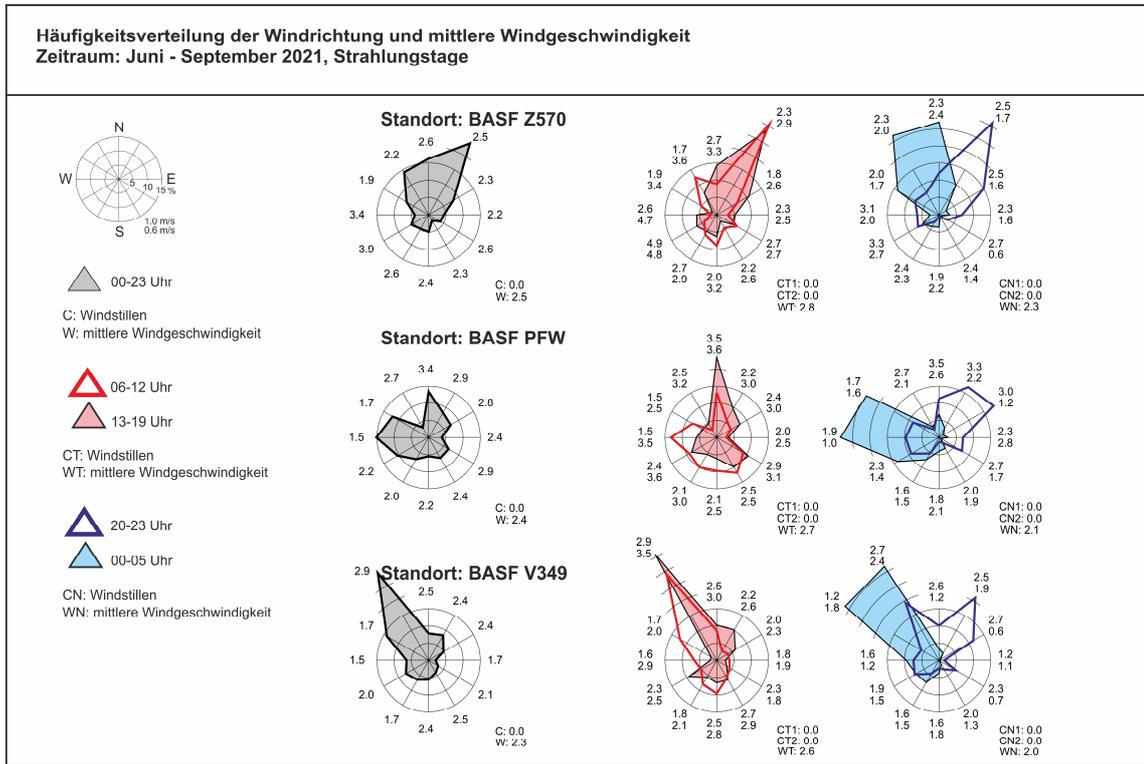


Abbildung 12.1: Windstatistiken Juni – Oktober 2021, Datenkollektiv: Strahlungstage

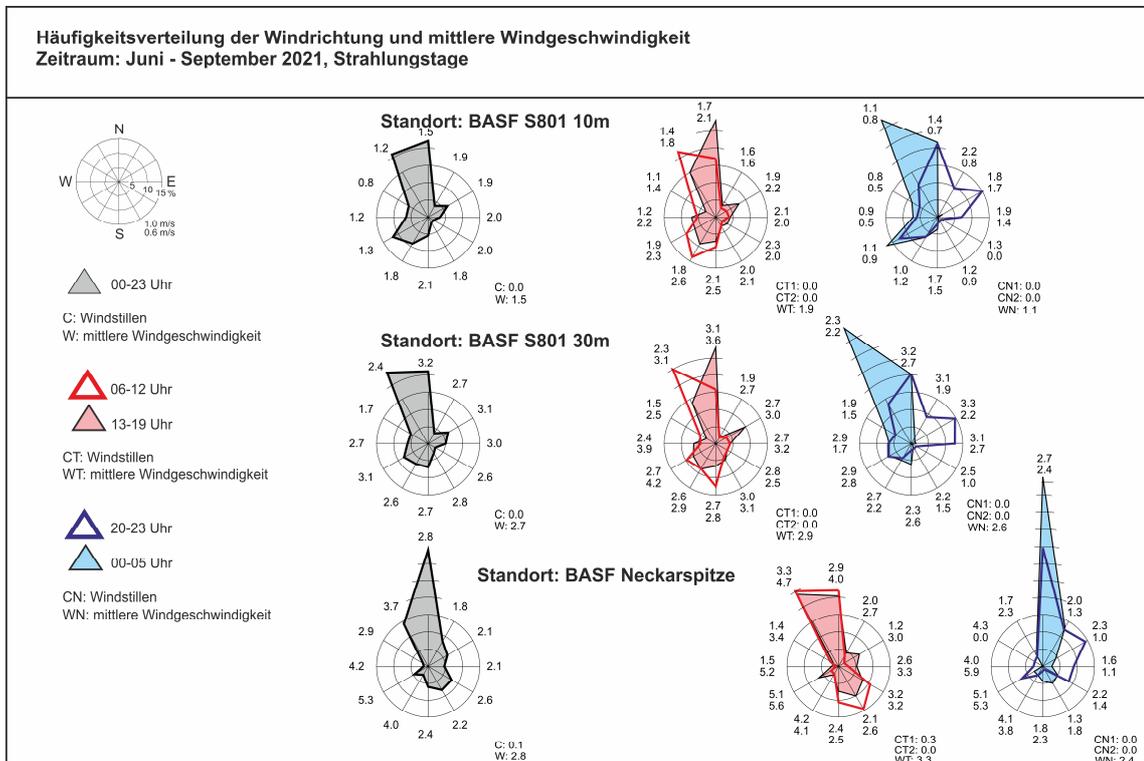


Abbildung 12.2: Windstatistiken Juni – Oktober 2021, Datenkollektiv: Strahlungstage

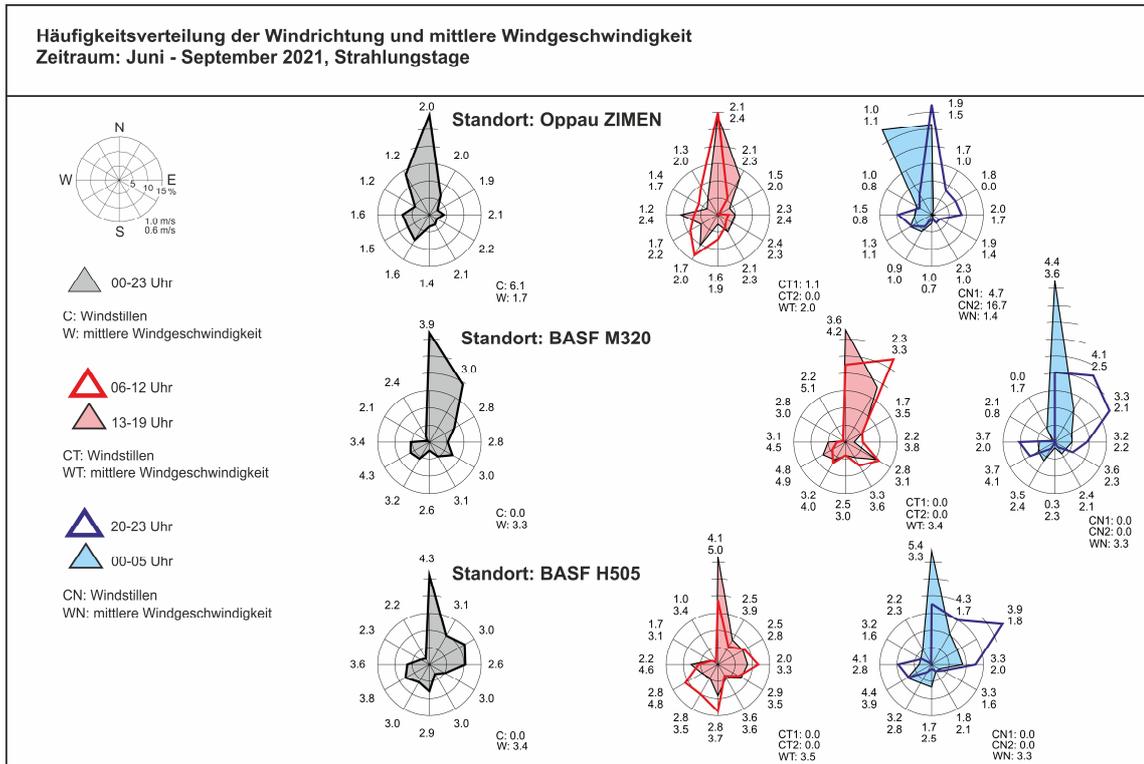


Abbildung 12.3: Windstatistiken Juni – Oktober 2021, Datenkollektiv: Strahlungstage

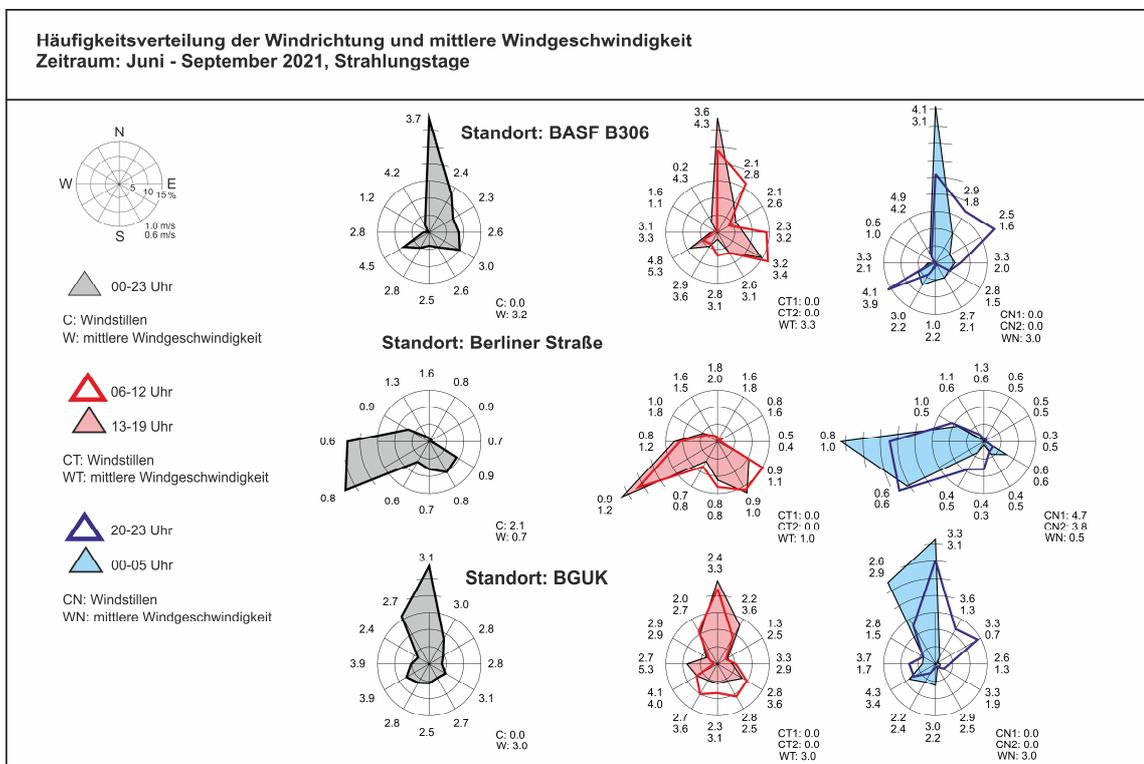


Abbildung 12.4: Windstatistiken Juni – Oktober 2021, Datenkollektiv: Strahlungstage

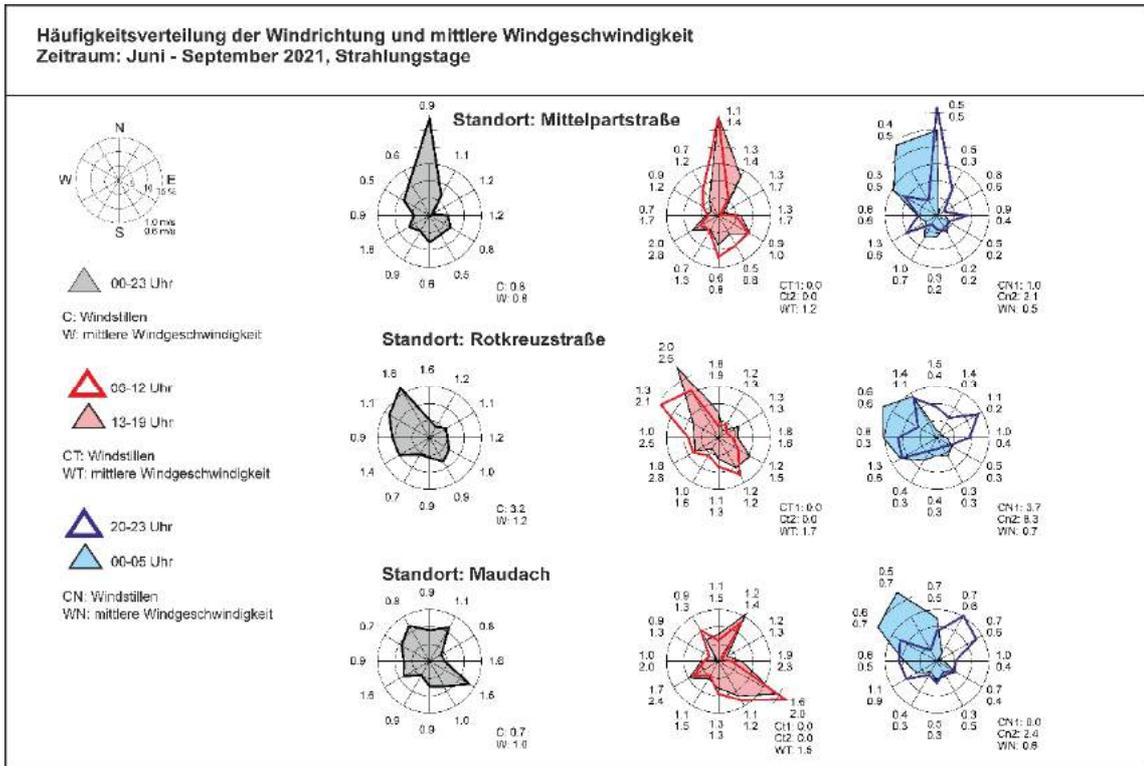


Abbildung 12.5: Windstatistiken Juni – Oktober 2021, Datenkollektiv: Strahlungstage

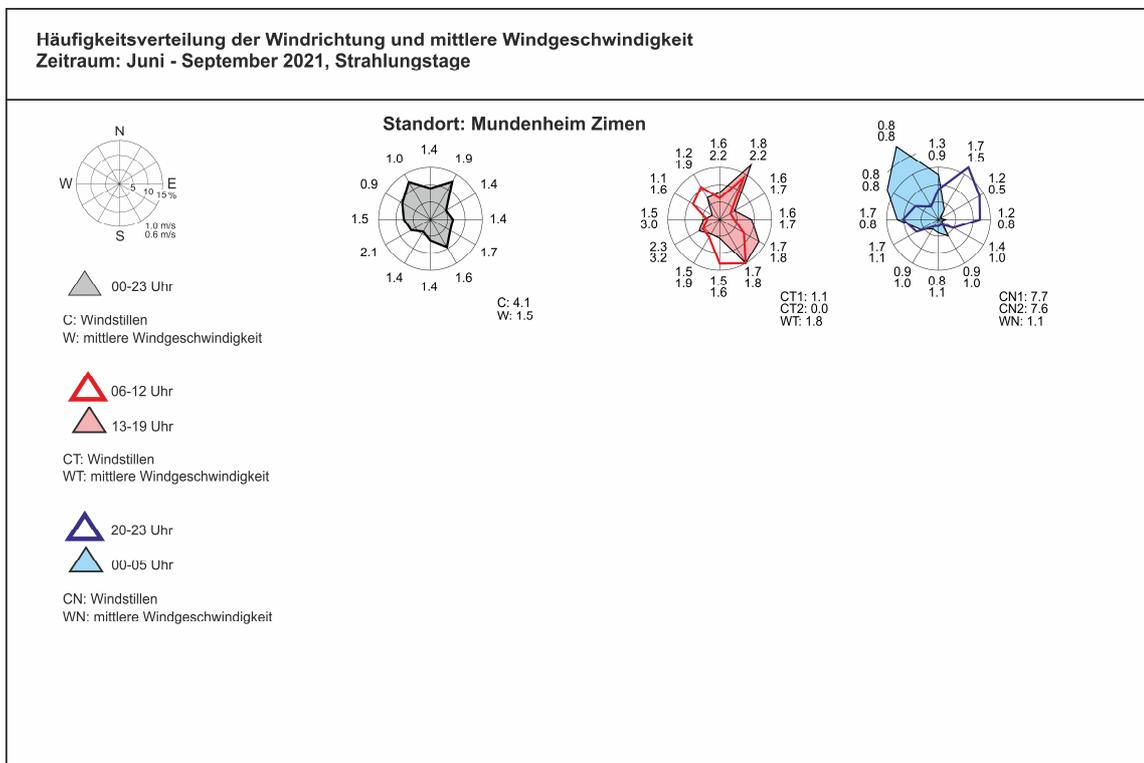


Abbildung 12.6: Windstatistiken Juni – Oktober 2021, Datenkollektiv: Strahlungstage

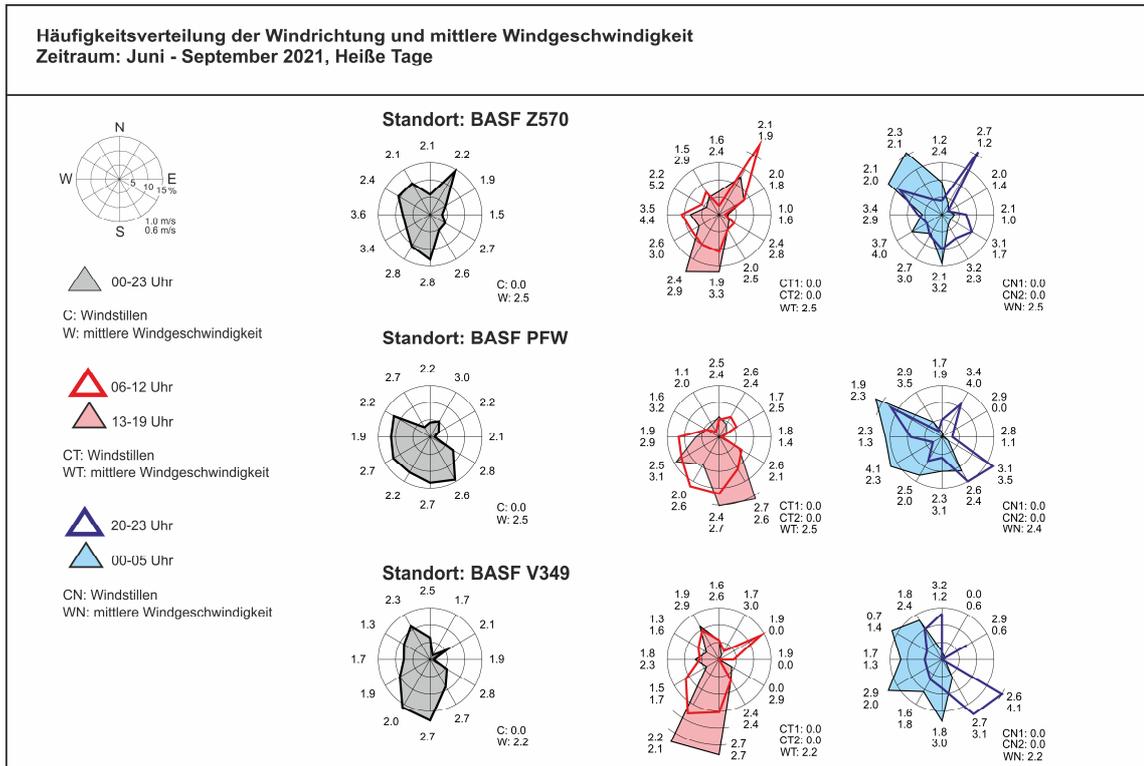


Abbildung 13.1: Windstatistiken Juni – Oktober 2021, Datenkollektiv: Heiße Tage

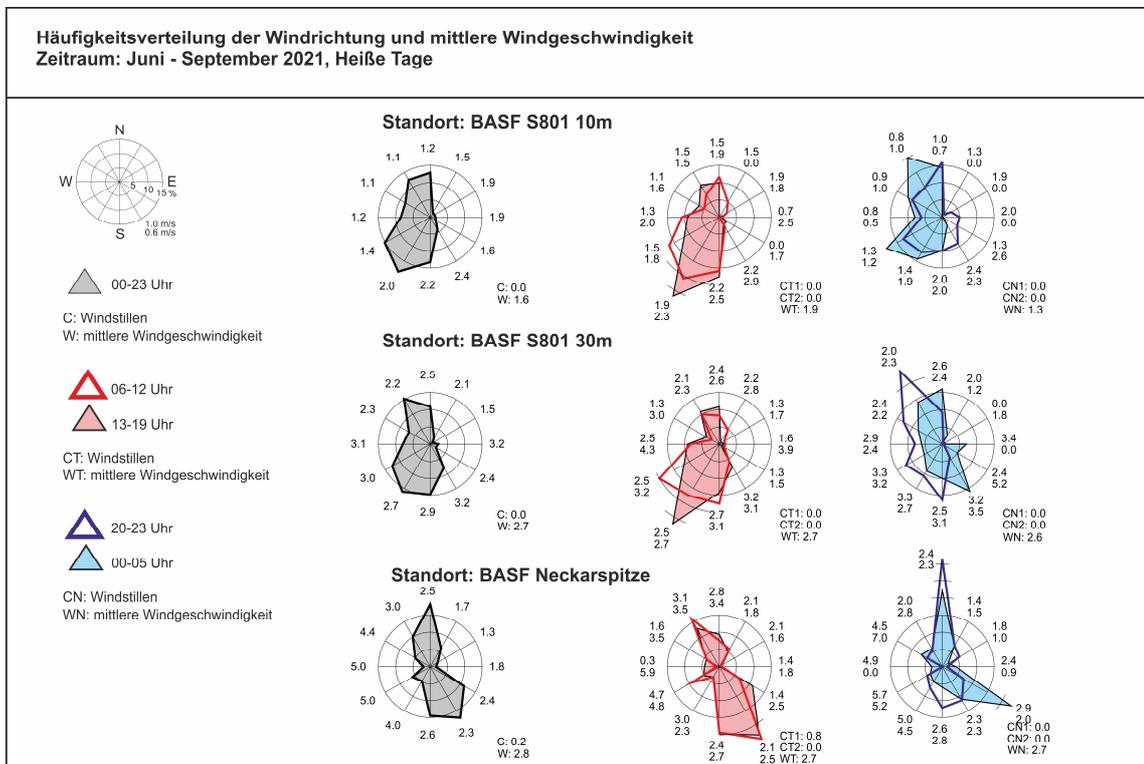


Abbildung 13.2: Windstatistiken Juni – Oktober 2021, Datenkollektiv: Heiße Tage

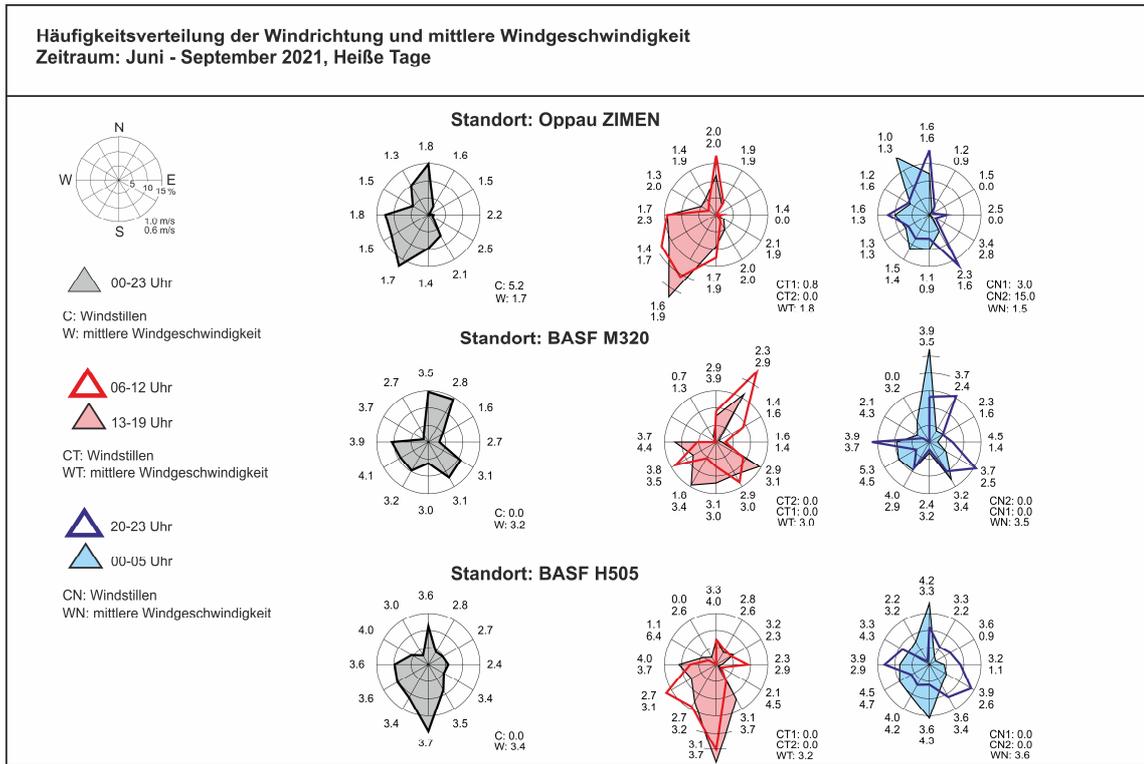


Abbildung 13.3: Windstatistiken Juni – Oktober 2021, Datenkollektiv: Heiße Tage

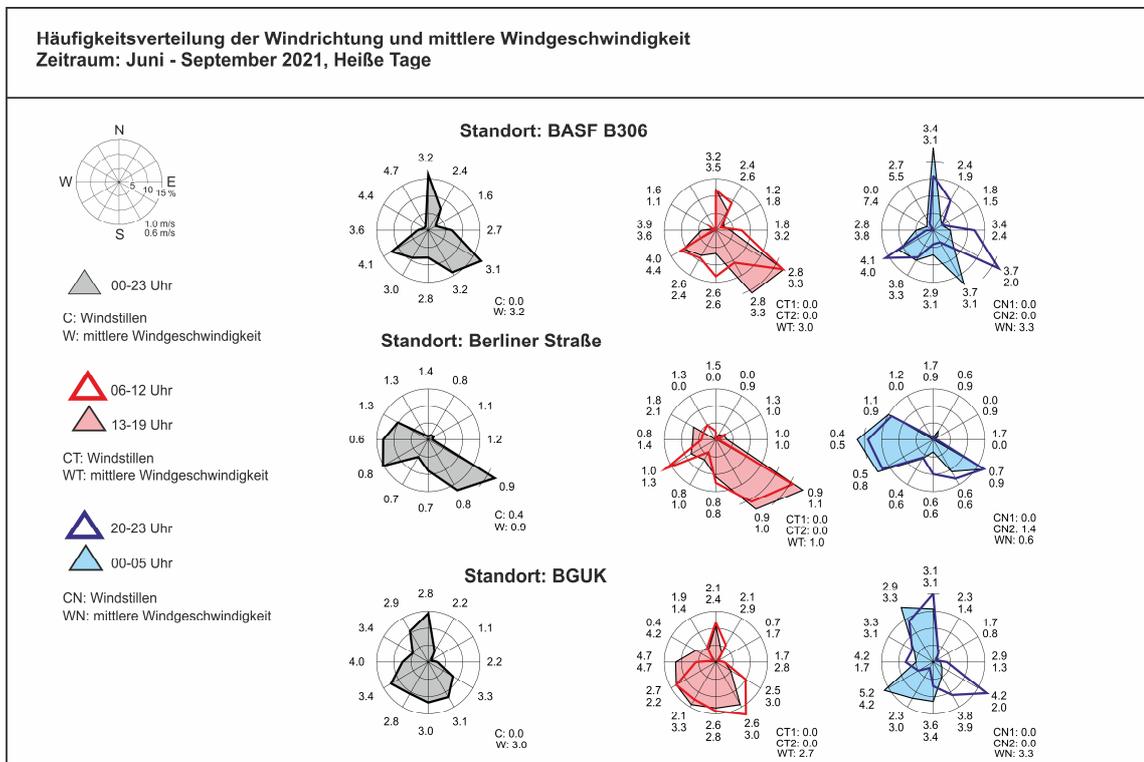


Abbildung 13.4: Windstatistiken Juni – Oktober 2021, Datenkollektiv: Heiße Tage

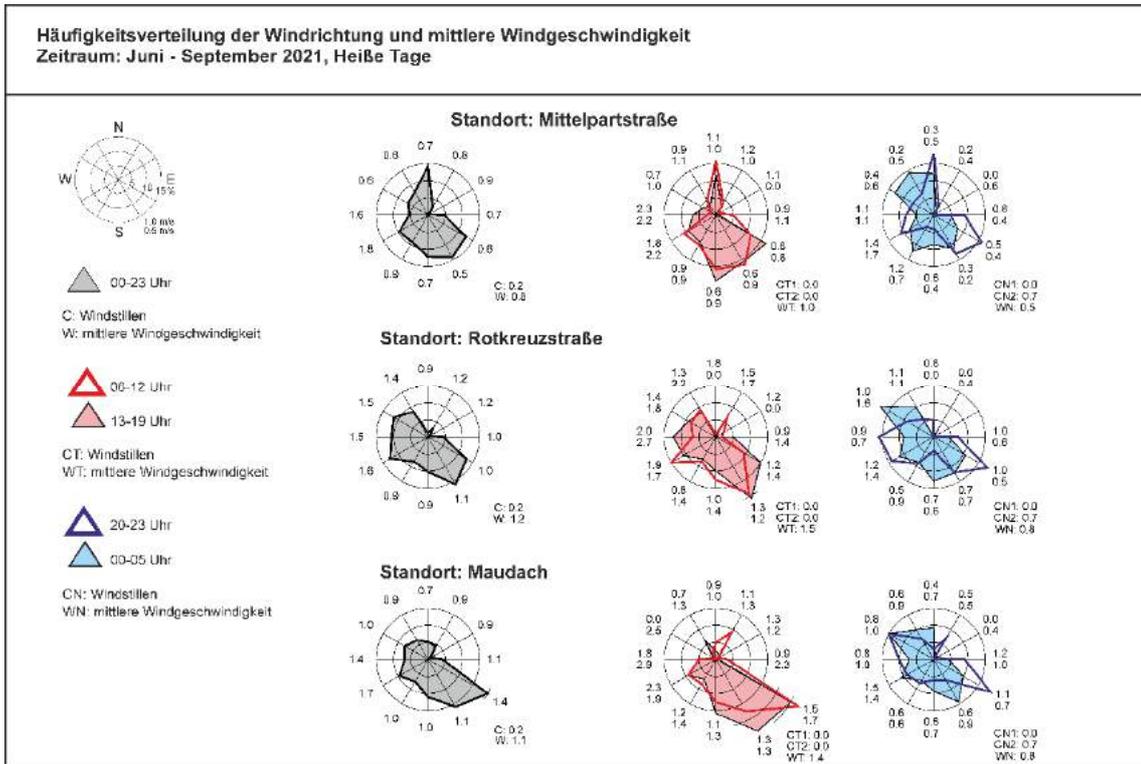


Abbildung 13.5: Windstatistiken Juni – Oktober 2021, Datenkollektiv: Heiße Tage

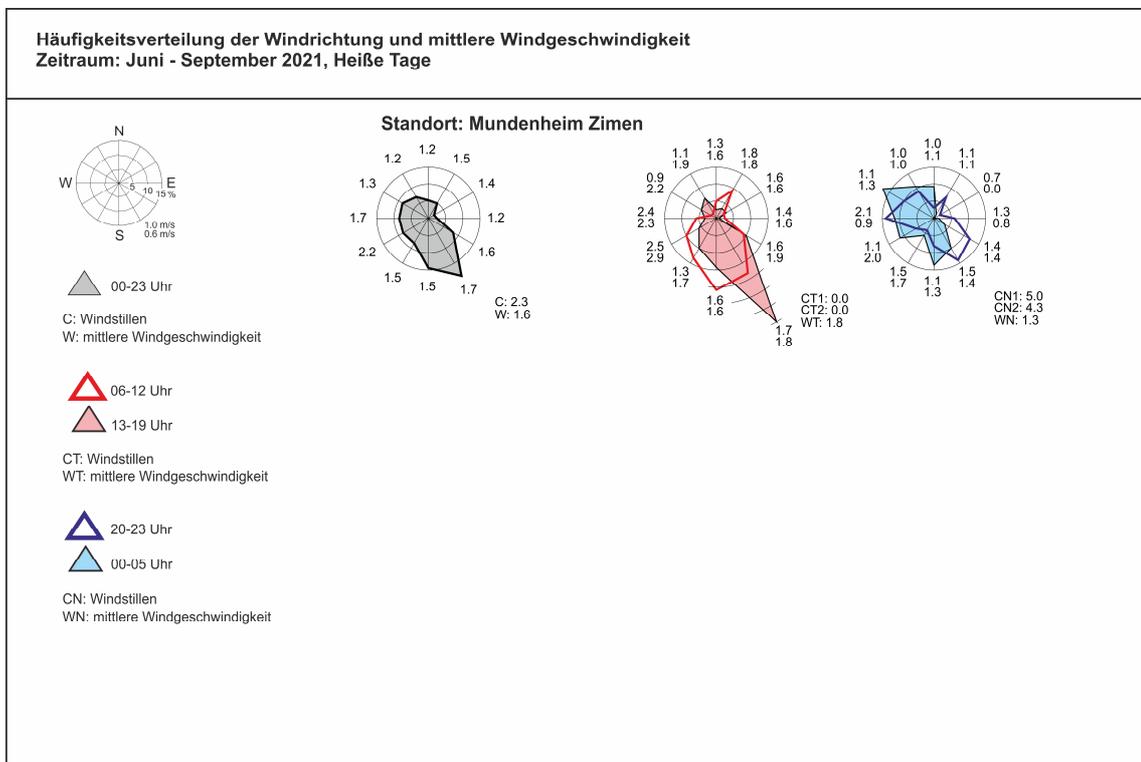


Abbildung 13.6: Windstatistiken Juni – Oktober 2021, Datenkollektiv: Heiße Tage

Die Windverteilung der einzelnen Stationen verdeutlicht (**Abbildungen 11.1-11.6, 12.1-12.6 und 13.1-13.6**), dass im Tagesverlauf vor allem während strahlungsdominierter Wetterlagen (Strahlungstage, heiße Tage) bestimmte Vorzugsrichtungen auftreten. Während der Tagstunden bzw. generell während Nichtstrahlungswetterlagen auch in den Nachtstunden ist das Strömungsgeschehen weitgehend von der vorherrschenden Großwetterlage, der Stationslage und der Umgebung (Art der Bebauung, Flächennutzung und Lagebeziehung zu Freiräumen) abhängig, wobei in freien Lagen/Siedlungsrandlagen (Stationen BASF Z570, BASF Neckarspitze) südliche bis südwestliche und nördliche bis nordwestliche Windrichtungen überwiegen. Die mittlere Windgeschwindigkeit beträgt über alle Witterungssituationen im Tagesmittel (alle Tage, **Abbildungen 11.1 - 11.6**) an den etwas freier gelegenen Standorten BASF Z570 und BASF Neckarspitze 2,7 m/s bzw. 3,2 m/s. Mit zunehmender Distanz der Messgeber zur bodennahen Reibungsschicht ist eine Zunahme der Windgeschwindigkeit auch in überbauten Arealen zu beobachten. So steigen die Windgeschwindigkeitsmittelwerte an der BASF S801 vom Messgeberniveau 10 m ü.G. zum Messgeberniveau 30 m ü.G. von 1,6 m/s auf 2,9 m/s an - siehe **Abbildung 11.2**. Analoge Effekte verdeutlichen auch die Werte der Standorte BGUK (3,2 m/s - ca. 50 m ü. G.) und BASF H505 (3,7 m/s - ca. 82 m ü. G.), wobei sich die Windverteilungen zunehmend an den regionalen Hauptwindrichtungen orientieren, die wiederum durch Kanalisierungseffekte in der Oberrheinischen Tiefebene zwischen Odenwald und Pfälzer Wald bestimmt werden.

In der Bebauung nimmt die mittlere Windgeschwindigkeiten durch die Oberflächenrauigkeit deutlich ab. Im Stadtzentrum Ludwigshafen am Rhein werden Werte unter 1,0 m/s gemessen (Station Berliner Straße 0,8 m/s, **Abbildung 11.4**). Die Belüftungsintensität ist somit gegenüber dem Freiland um stelloweise über 70% reduziert. Ähnlich niedrige Werte weist auch der Standort Mittelpartstraße mit 0,8 m/s auf, während an den Standorten Maudach und Rotkreuzstrasse mit 1,1 bzw. 1,2 m/s etwas höhere Werte verzeichnet werden. Insbesondere am Standort Mittelpartstraße setzt der Einfluss der südwestlich/südlich angrenzenden Bebauung die Strömungsintensität herab.

Nach Sonnenuntergang stellen sich vermehrt lokalspezifische Windrichtungsverteilungen ein. Im Datenkollektiv „alle Tage“ sind diese Effekte bereits erkennbar und treten in den Kollektiven „Strahlungstage“ (**Abbildung 12.1 - 12.6**) und „heiße Tage“ (**Abbildung 13.1 - 13.6**) sehr prägnant hervor. Da heiße Tage, d.h. Witterungssituationen mit Tageshöchstwerten der Lufttemperatur von mindestens 30°C auch mit dichter Bewölkung sowie konvektiven Niederschlägen (Schauer, Gewitter) assoziiert sein können, werden hier die lokalklimatischen Effekte zeitweise auch vom großräumigen meteorologischen Geschehen überlagert.

An Strahlungstagen und heißen Tagen häufen sich an den Stationen Rotkreuzstraße, Maudach, ZIMEN-Mundenheim sowie u.a. auch an den BASF-Standorte Z570, PFW und V349 am Tag und in der ersten Nachthälfte schwache nordöstliche Strömungsrichtungen. Sie korrespondieren mit den großräumig während autochthoner Wetterlagen allgemein vorherrschenden Windrichtungen.

Unter dem Einfluss der örtlichen Flächennutzung bzw. Bebauungsstruktur kann der Wind kleinräumig ab- oder umgelenkt werden. Am Standort Berliner Straße lassen sich entsprechende Effekte beobachten. Hier treten in Kombination mit Kanalisierungseffekten durch die angrenzende Kaiser-Wilhelm-Straße und das W.-Hack-Museum nahezu ausschließlich westliche Windrichtungen auf.

In ähnlicher Form zeigen sich solcher Wirkungsfolgen auch am Standort Mittelpartstraße. Hier dominiert die Nordkomponente.

An den Stationen Maudach und Rotkreuzstraße ist während der ersten Nachthälfte eine etwas stärkere Auffächerung der Windrichtungsverteilungen zu erfassen. Nordwestliche bzw. westliche Anströmrichtungen werden hier in gleicher Häufigkeit beobachtet. Am benachbarten bodenferneren Standort BGUK (50 m ü. Gr.) ist diese Auffächerung weniger deutlich gegeben. Hier herrschen Anströmungen aus Nord vor. Der Gegensatz zwischen bodennahen und bodenferneren Windrichtungsverteilungen verdeutlicht den vertikal differierenden Aufbau der unteren Luftschichten während autochthoner Wetterlagen und somit die lokalklimatische Bedeutung des oftmals nur wenige Meter mächtigen kaltspezifischen bodennahen Windfeldes im städtisch geprägten Umfeld. Hindernisse in Form von Straßendämmen, dichten Gehölzriegeln oder Bauwerken können die Ventilationswirkung derartiger schwacher Kaltluftbewegungen zum Erliegen bringen.

In der zweiten Nachthälfte ist im Stationskollektiv eine markante Drehung der Anströmrichtungen auf Nordwest zu beobachten. Sie ist mit den in der nördlichen Oberrheinischen Tiefebene vorherrschenden Regionalwindssystemen assoziiert, welche auch bereits bei früheren Untersuchungen in Ludwigshafen am Rhein erfasst werden konnten (u.a. Zimmermann 1982, Deutscher Wetterdienst 1987, ÖKOPLANA 1994) und sich bevorzugt in Form nordwestlicher, zum Stadtzentrum hin gerichteter Strömungen zeigt.

Je nach lokaler Situation lassen sich auch hier wiederum in Abhängigkeit von der Flächennutzungsstruktur und der Messgeberhöhe auffällige Variationen der Windrichtungsverteilungen erkennen. Beispielfhaft zeigt sich dies am Standort BASF S801. Hier werden Windrichtung und Windgeschwindigkeit in 10 m und 30 m über Grund erfasst. Während der obere Messgeber eine besonders deutliche Fokussierung auf den Anströmsektor 330° erkennen lässt, ist im Messgeberniveau 10 m ein zusätzliches Nebenmaximum im Richtungssektor 240° zu beobachten. Gerichtete Windverteilungen zeigen sich auch an den BASF-Stationen M320, Neckarspitze und B306. Hier zeigen sich ausgeprägte Führungseffekte der BASF-Anlagen bzw. des Rheins. Gleiches gilt für den Standort Berliner Straße. Analog zur Situation in der ersten Nachthälfte dominieren hier lokal wiederum westliche Winde.

Am Standort Rotkreuzstraße zeigen die Windrichtungsverteilungen eine etwas stärkere Auffächerung auf die Richtungssektoren 240° bis 330°. Im Freiraumgefüge westlich der Valentin-Bauer-Siedlung bilden sich in Bodennäher flurwindartige Winde aus westlichen Richtungssektoren aus und die sich bei generell schwachem übergeordneten Strömungsgeschehen (nordwestlicher Regionalwind) hiervon zeitweise abkoppeln.

Das Kollektiv „heiße Tage“ (**Abbildungen 13.1 – 13.6**) beinhaltet neben reinen Strahlungstagen auch Situationen mit wechselnder Bewölkung sowie konvektiven Schauern und Gewittern. Das Windgeschehen ist demzufolge weniger homogen, da großräumig divergierende Strömungseinflüsse zur Geltung kommen. Während an Strahlungstagen in Ludwigshafen am Rhein am Tag nördliche Strömungsrichtungen sehr deutlich gegenüber südlichen dominieren, kehrt sich dieses Bild an heißen Tagen um.

Es herrschen Windrichtungen aus Südsüdwest bis Südsüdost vor. Winde aus nördlichen Richtungssektoren treten wesentlich seltener auf, wobei analog zum Gesamtdatenkollektiv bzw. zum Datenkollektiv Strahlungstage bebauungsspezifische Einflüsse erkennbar sind.

Auch die Windverteilungsmuster während der Nacht sind weniger homogen als während reiner Strahlungswettersituationen. Zwar ist abermals im überwiegenden Stationskollektiv ein Gegensatz zwischen erster und zweiter Nachthälfte mit einem Umschwenken von nordöstlichen zu nordwestlichen Anströmungsrichtungen erkennbar, jedoch zeigt sich in der ersten Nachthälfte auch eine Häufung südöstlicher Winde und in der zweiten Nachthälfte eine Zunahme südlicher bis südwestlicher Windrichtungen. Sie stehen mit dem übergeordneten großräumigen geostrophischen Windgeschehen in Verbindung welches bei intensiver Ventilation bis in den bodennahen Raum durchgreifen kann. Hierauf deuten auch die vergleichsweise hohen mittleren Windgeschwindigkeiten hin.

3.2 Strömungsgeschehen und Ventilation – Auswertung von Winddaten der mobilen Messkampagne

Zur Erfassung der örtlichen Kaltluftbewegungen wurden am 03.-04.09.2021 an drei ausgewählten Messstandorten Windmessungen mittels einer Fesselballonsonde sowie mit Hilfe von Rauchschwadenbeobachtungen durchgeführt.

Die Messungen geben Aufschluss über die vertikale Mächtigkeit und die Richtung lokaler Kaltluftbewegungen.

Die Rauchschwaden zeigen über ihre Ausbreitung die bodennächste Windrichtung (bis ca. 2,5 m ü.G.) an. Die Messung der Strömungsgeschwindigkeit erfolgt zeitgleich mit einem hochempfindlichen Hitzdrahtanemometer (**Abbildungen 6 und 7**).

Wetterablauf am 03.-04.09.2021:

Unter dem Einfluss eines antizyklonalen Nordmeerhochs (HNa) ist es am 03.09. tagsüber meist heiter. Wie **Abbildung 14** zeigt, treten dabei vorwiegend Südost-Winde mit mittleren Windgeschwindigkeiten von ca. 0,5 – 2,0 m/s (10 m ü.G.) auf. Die Tagehöchsttemperaturen liegen, abhängig von der Lagesituation, zwischen 27,8°C und 28,9°C (= Sommertag mit $T_{\max} \geq 25^\circ\text{C}$). An der Messstation BASF S801 (28 m ü.G.) beträgt die Tageshöchsttemperatur ca. 26,2°C.

Schon vor Sonnenuntergang (ca. 19:07 Uhr) setzt bei nahezu wolkenlosem Himmel die Abkühlung ein. So nimmt z.B. an der Station Mittelpartstraße die Lufttemperatur zwischen 17:30 Uhr und 22:00 Uhr um ca. 8,0°C ab.

In den Nachtstunden herrschen in Messhöhen von 10 m ü.G. und darüber (BASF S 801; ZIMEN-Oppau, ZIMEN-Mundenheim) zunächst Winde aus östlichen bis nördlichen Richtungen mit mittleren Windgeschwindigkeiten von zumeist weniger als 2,0 m/s (= schwachwindig) vor. In den bodennächsten Luftschichten (Messhöhe 4,5 m ü.G.) bestimmen stellenweise flurwindartige westliche Strömungen aus ortsspezifische Ventilationsgeschehen. Zum Ende der ersten Nachthälfte dreht der Wind zunehmend auf Nordnordwesten. Die Windgeschwindigkeit beträgt in einer Messhöhe von 10 m ü.G. im Mittel ca. 0,5 – 1,0 m/s.

Diese nächtliche Windrichtungsverschiebung wird auch von Ergebnissen eines mesoskaligen Wetterprognosemodells belegt (siehe **Abbildungen 15.1 – 15.4**).

Die prognostischen Windfelder basieren auf dem regional angepassten Wettervorhersagemodell UEMS (Unified Environmental Modeling System) des National Weather Service (NWS) Science and Training Resource Center (STRC). Die räumliche Auflösung des Modells beträgt 800 m. Angetrieben wird das Modell mit den globalen Daten des GFS (Global Forecast System).

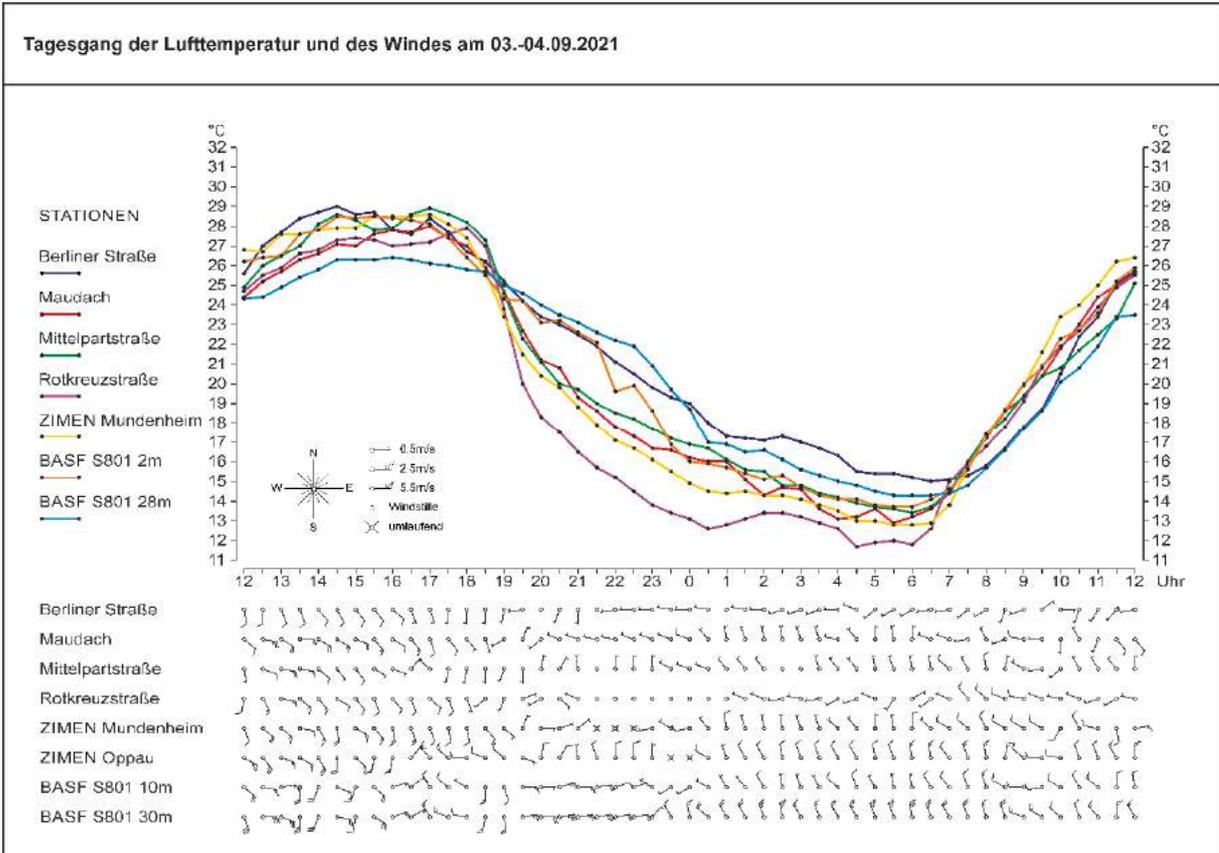


Abbildung 14: Tagesgang der Lufttemperatur und des Windes am 03.-04.09.2021

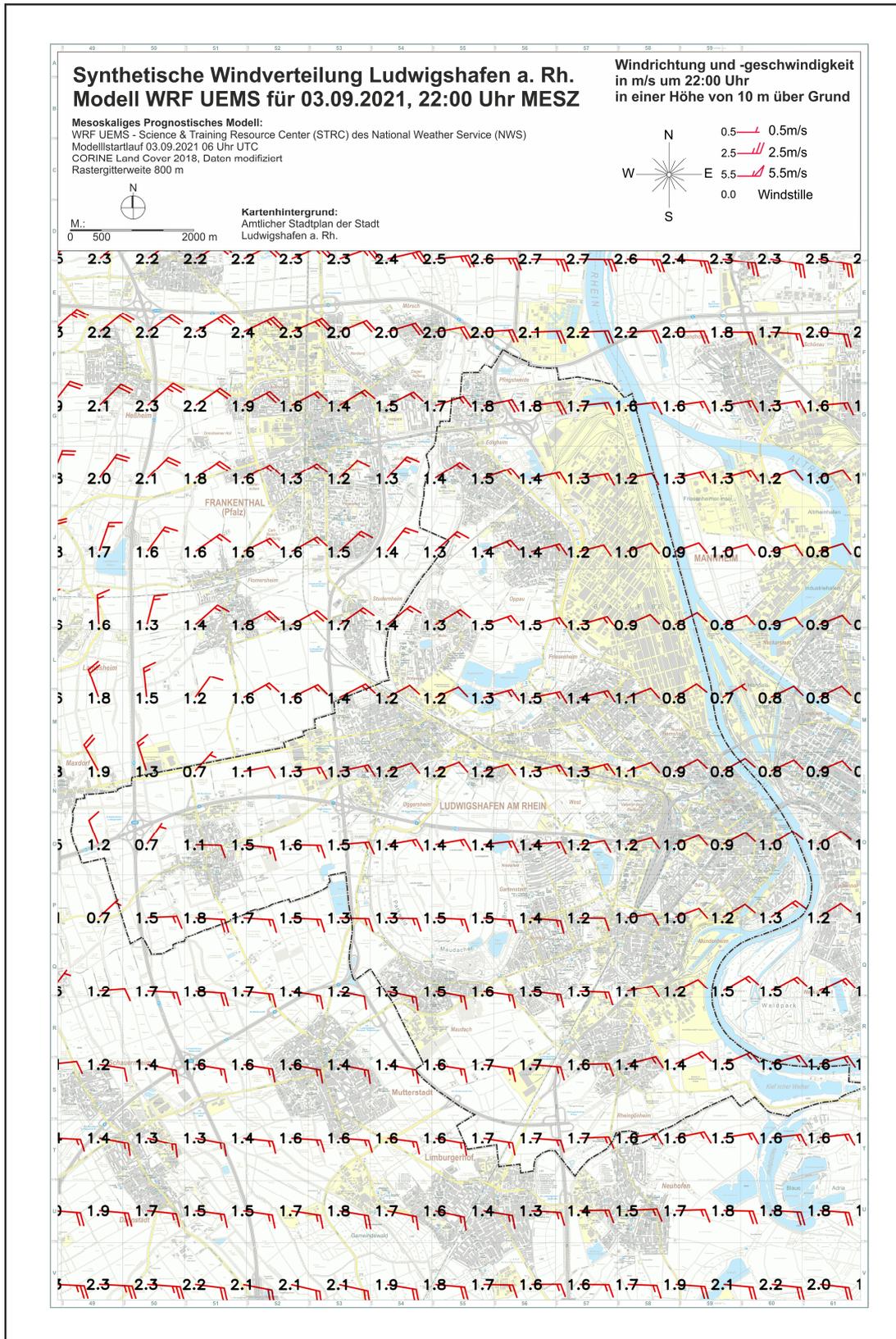
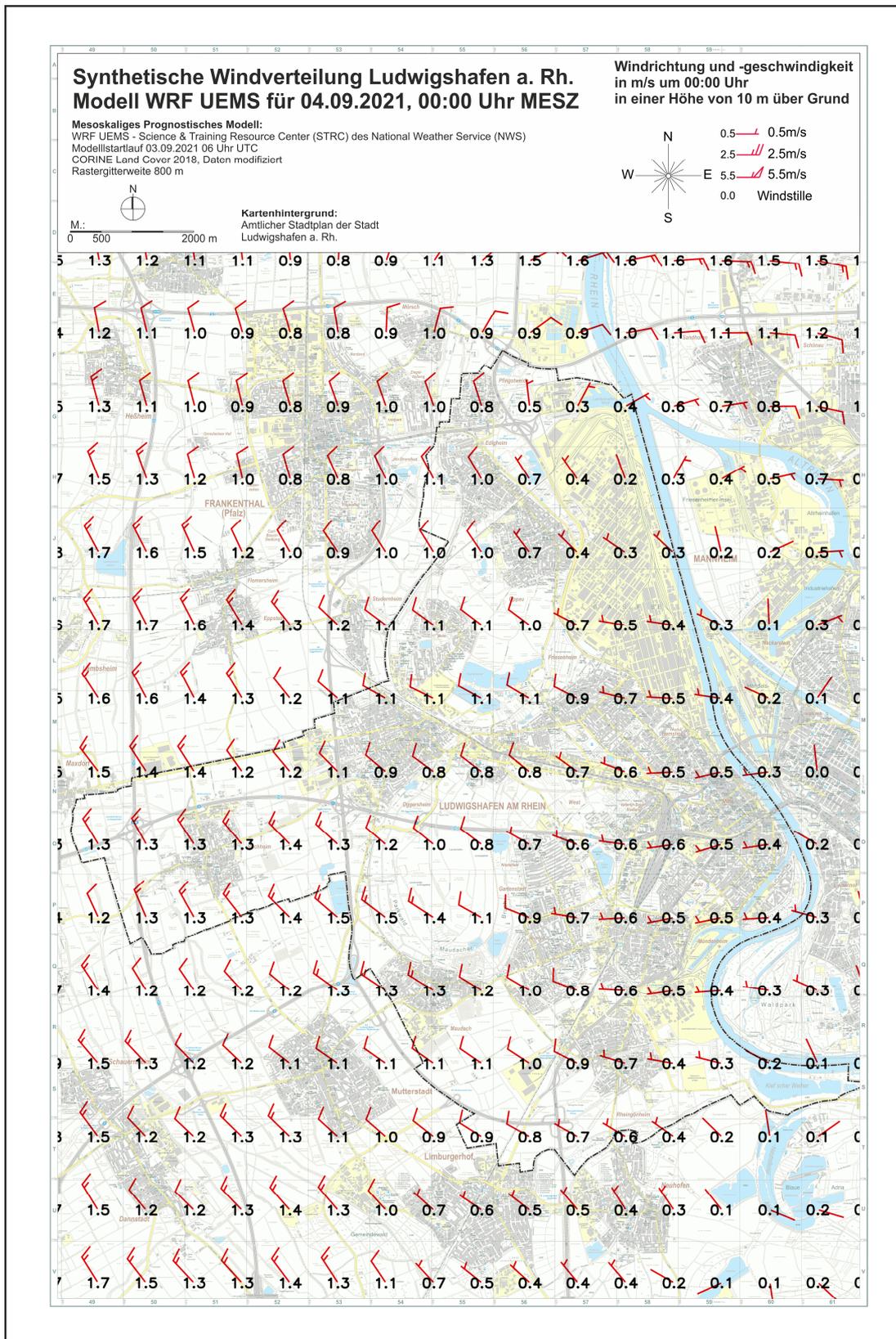


Abbildung 15.1: Synthetische Windverteilung nach WRF-UEMS am 03.09.2021 um 22:00 Uhr



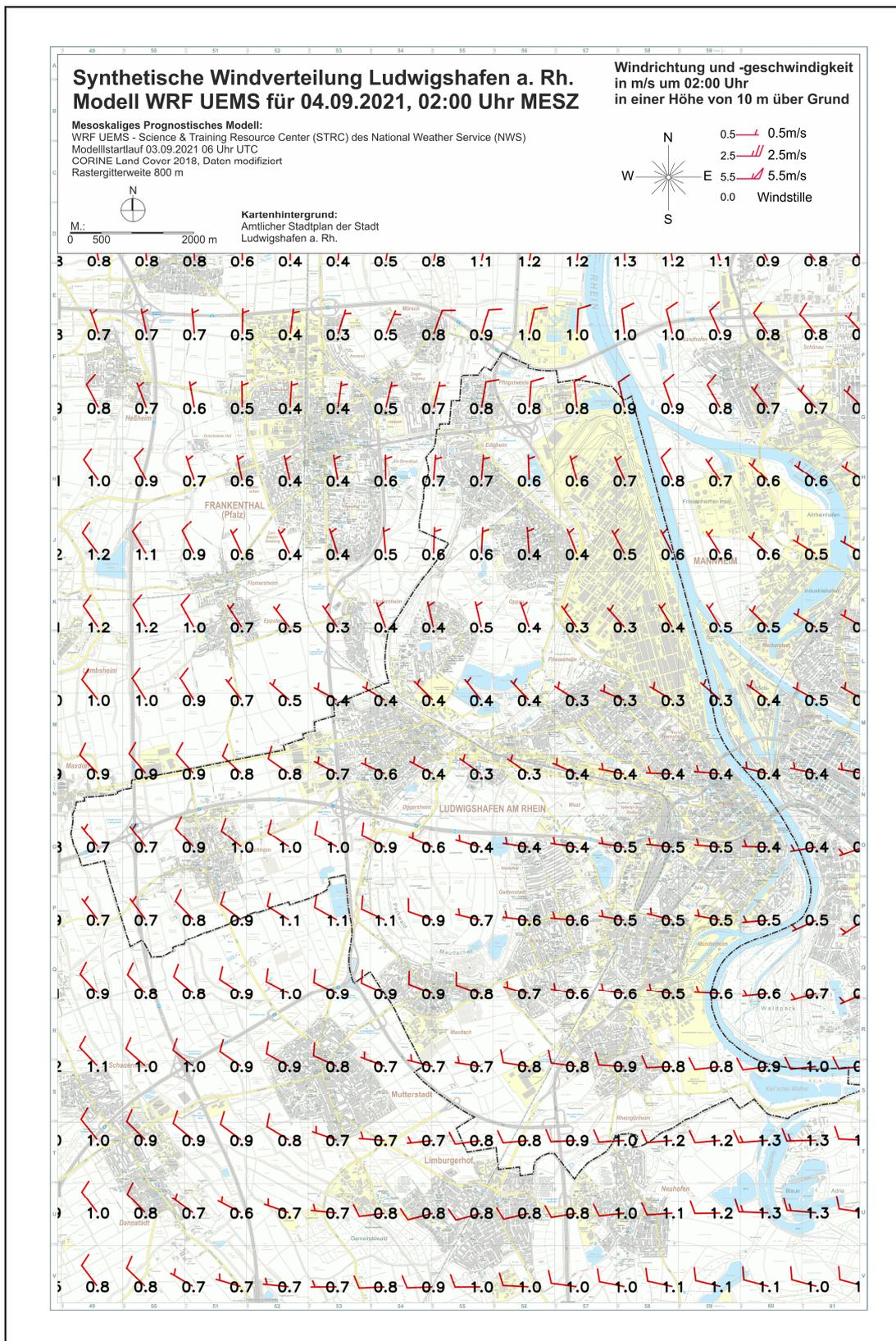


Abbildung 15.3: Synthetische Windverteilung nach WRF-UEMS am 04.09.2021 um 02:00 Uhr

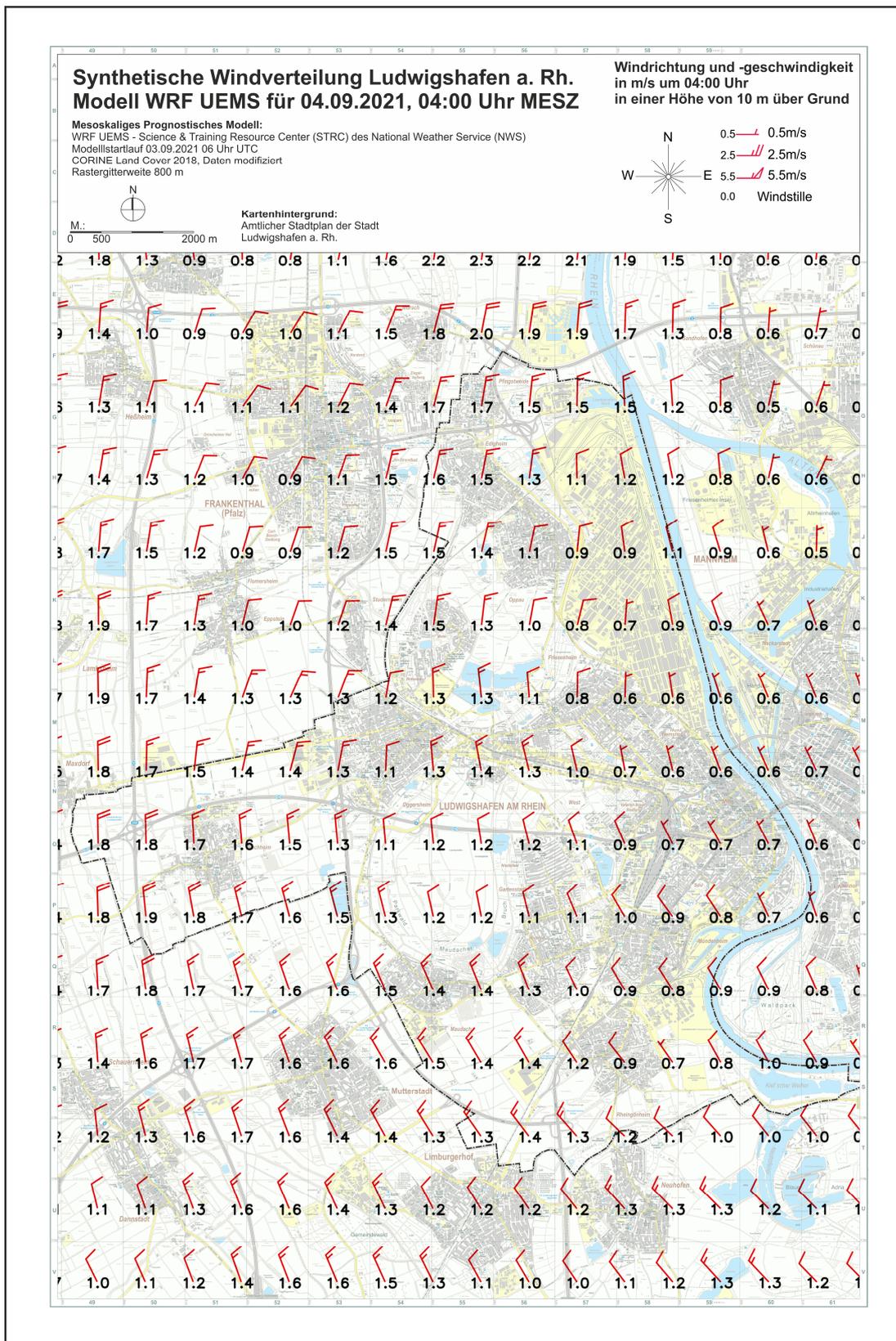


Abbildung 15.4: Synthetische Windverteilung nach WRF-UEMS am 04.09.2021 um 04:00 Uhr

Die Fesselballonaufstiege wurden an drei Standorten durchgeführt (siehe **Abbildung 16**):

- Standort 1: Im Oberfeld südlich von Maudach
- Standort 2: Bayreuther Straße – Ludwigshafen-West
- Standort 3: Willersinnweiher, Freiraum Roßlache

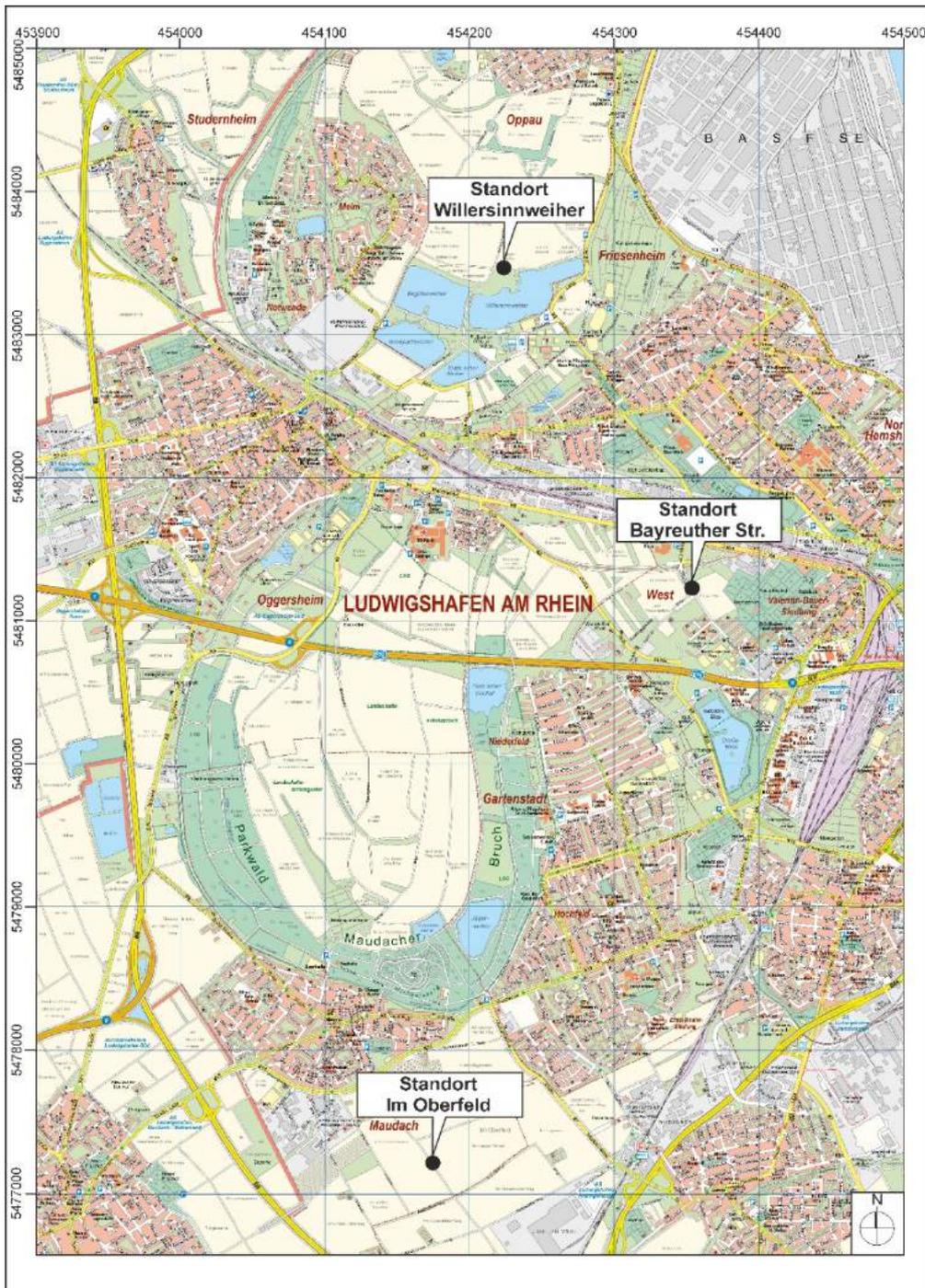


Abbildung 16: Standorte der Fesselballonaufstiege
Kartengrundlage bereitgestellt von: Stadt Ludwigshafen am Rhein

Messergebnisse Standort 1 – Im Oberfeld (Abbildung 17 und 18):

Die Messungen am Standort 1 (Im Oberfeld) dokumentieren die Kaltluftströmungsprozesse südlich von Maudach.

Bei den Sondierungen von 21:30 Uhr bis 21:47 Uhr werden zwischen 1,0 und 2,5 m ü.G. schwache westliche Kaltluftbewegungen registriert (Ausbreitung der Rauchfahne). Oberhalb von 2,5 m ü.G. dreht der Wind zu nordnordwestlichen Richtungen, wobei mittlere Windgeschwindigkeiten von ca. 0,5 bis 1,3 m/s zu messen sind. Ab einer Höhe von ca. 12,5 m ü.G. beginnt der Fesselballon zu pendeln und dreht zunehmend zu nördlichen bis nordöstlichen Richtungen. Dieser Windrichtungswechsel ist mit einem auffallenden Anstieg der Windgeschwindigkeit und der Lufttemperatur verbunden. Dies ist ein Hinweis darauf, dass die lokale Kaltluftmächtigkeit ca. 12 m beträgt. Darüber bestimmen regionale- / überregionale Winde das Luftaustauschgeschehen.

In der zweiten Nachthälfte (00:50 bis 01:23 Uhr) werden bis zur Messobergrenze (30 m ü.G.) Nordwestwinde registriert. Anhand des vertikalen Lufttemperatur- und Windgeschwindigkeitsprofils wird erkennbar, dass die deutlich abkühlende Wirkung der sich örtlich bildenden Kaltluft auf ca. 7.5 m ü.G. begrenzt bleibt. Darüber greift der vorherrschende regionale / überregionale Nordwestwind durch und vermischt die bodennahe Kaltluft zunehmend mit wärmerer Luft aus höheren Luftschichten.

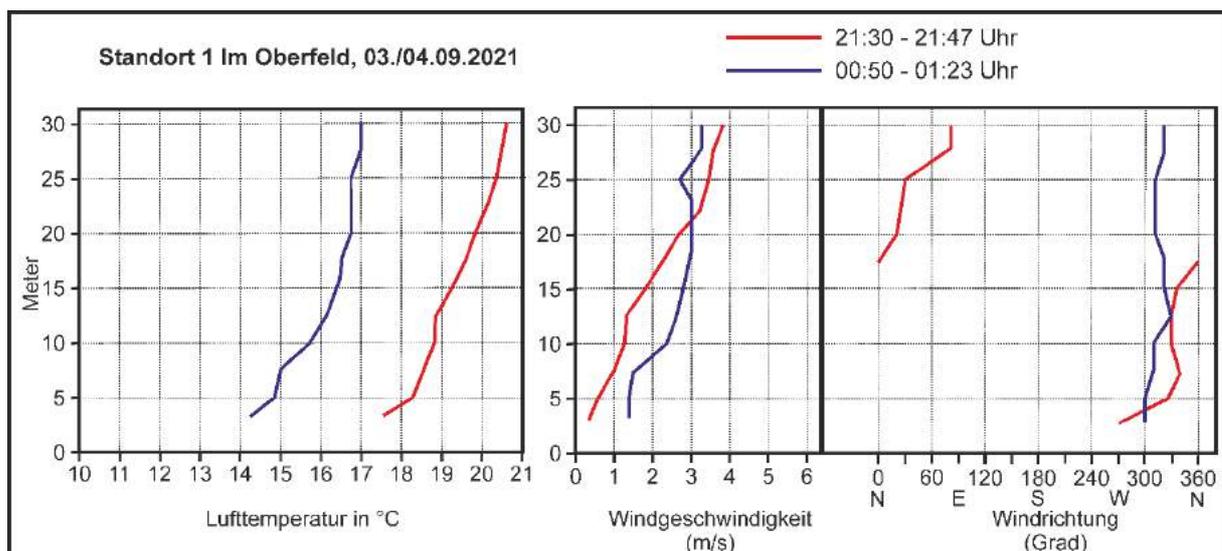


Abbildung 17: Ergebnisse von Fesselballonaufstiegen am Standort 1 Im Oberfeld

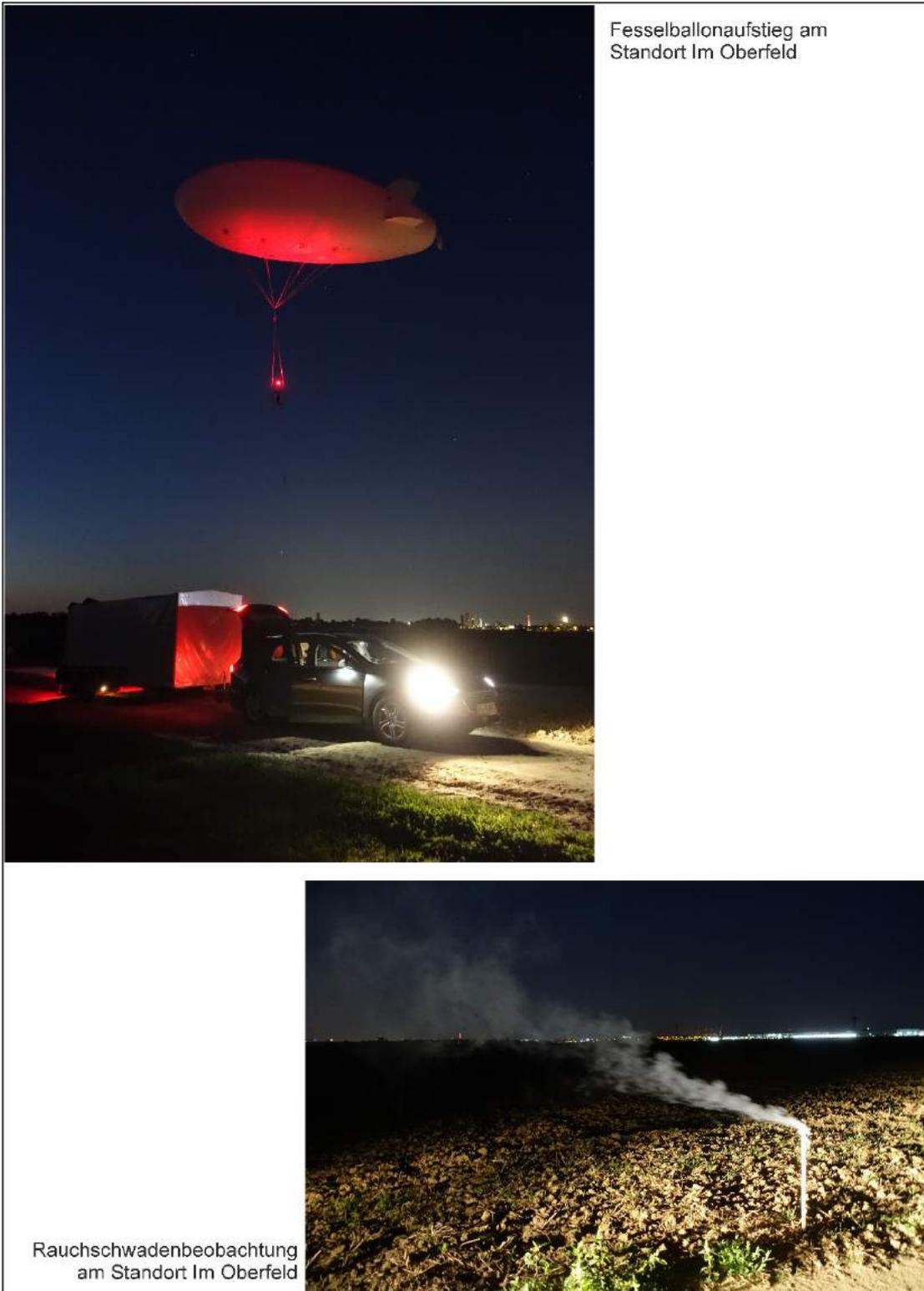


Abbildung 18: Fesselballonaufstieg und Rauchschwadenbeobachtung (21:30 Uhr) am Standort 1 Im Oberfeld, fotografische Dokumentation (Foto: ÖKOPLANA)

Messergebnisse Standort 2 – Bayreuther Straße (Abbildung 19 und 20):

Wie bereits frühere Untersuchungen (ARBEITSGRUPPE „KLIMA – LUFT – LÄRM“ UNIVERSITÄT TRIER 2000) gezeigt haben, funktioniert das Freiraumgefüge West zwischen der A 650 im Süden und der K 8 (Frankenthaler Straße) im Norden nach Sonnenuntergang als Kaltluftstehungsgebiet und Kaltluftzugbahn.

Bei den Messungen in der ersten Nachthälfte (22:35 – 22:58 Uhr) werden im bodennächsten Luftraum (bis ca. 5 m ü.G.) südsüdöstliche, zeitweise auch südwestliche Kaltluftbewegungen erfasst. Aufgrund des fehlenden Gefälles weisen die Kaltluftströmungen nur Windgeschwindigkeiten von unter 1,0 m/s auf. Oberhalb von 5 m ü.G. dreht der Wind zunehmend auf Nordnordost bis Ost, was mit den stationären Windmessungen korrespondiert. Zwischen 2,5 m ü.G. und 30 m ü.G. ist ein deutlicher Lufttemperaturanstieg von 4,0°C zu verzeichnen, was die hohe Kaltluftproduktivität des Freiraumgefüges unterstreicht. Es ist aber auch offensichtlich, dass die nur schwach sich bewegende lokale Kaltluft sehr empfindlich gegenüber Strömungshindernissen in Form von Hochbau, Dämmen und dichten Gehölzriegeln ist.

Bei den Messungen zwischen 01:45 Uhr und 02:14 Uhr bestimmen in allen Höhen zwischen 2,5 und 30 m ü.G. Nordnordwestwinde das Strömungsgeschehen. Sie erreichen Geschwindigkeiten von 0,2 m/s (2,5 m ü.G.) bis ca. 2,7 m/s (25 m ü.G.). Die örtlich entstehende Kaltluft zeigt bis in eine Höhe von ca. 8 m ü.G. unmittelbaren Einfluss. Darüber deutet ein deutlicher Temperatursprung darauf hin, dass der regional-/überregional angelegte Nordnordwestwind ab ca. 10 m ü.G. das Lufttemperaturfeld vermehrt prägt.

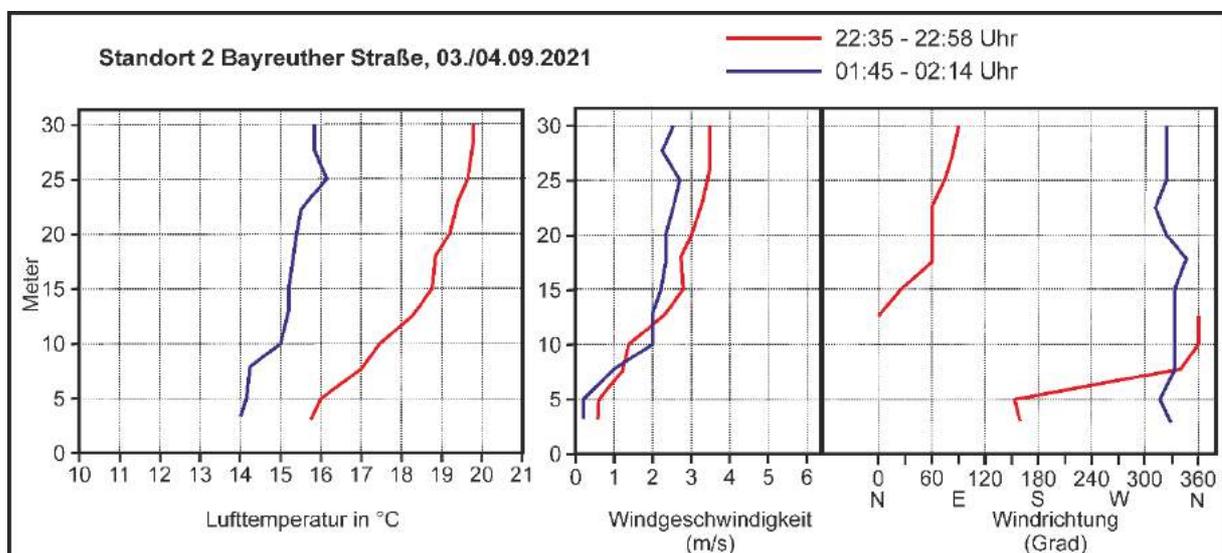


Abbildung 19: Ergebnisse von Fesselballonaufstiegen am Standort 2 Bayreuther Straße

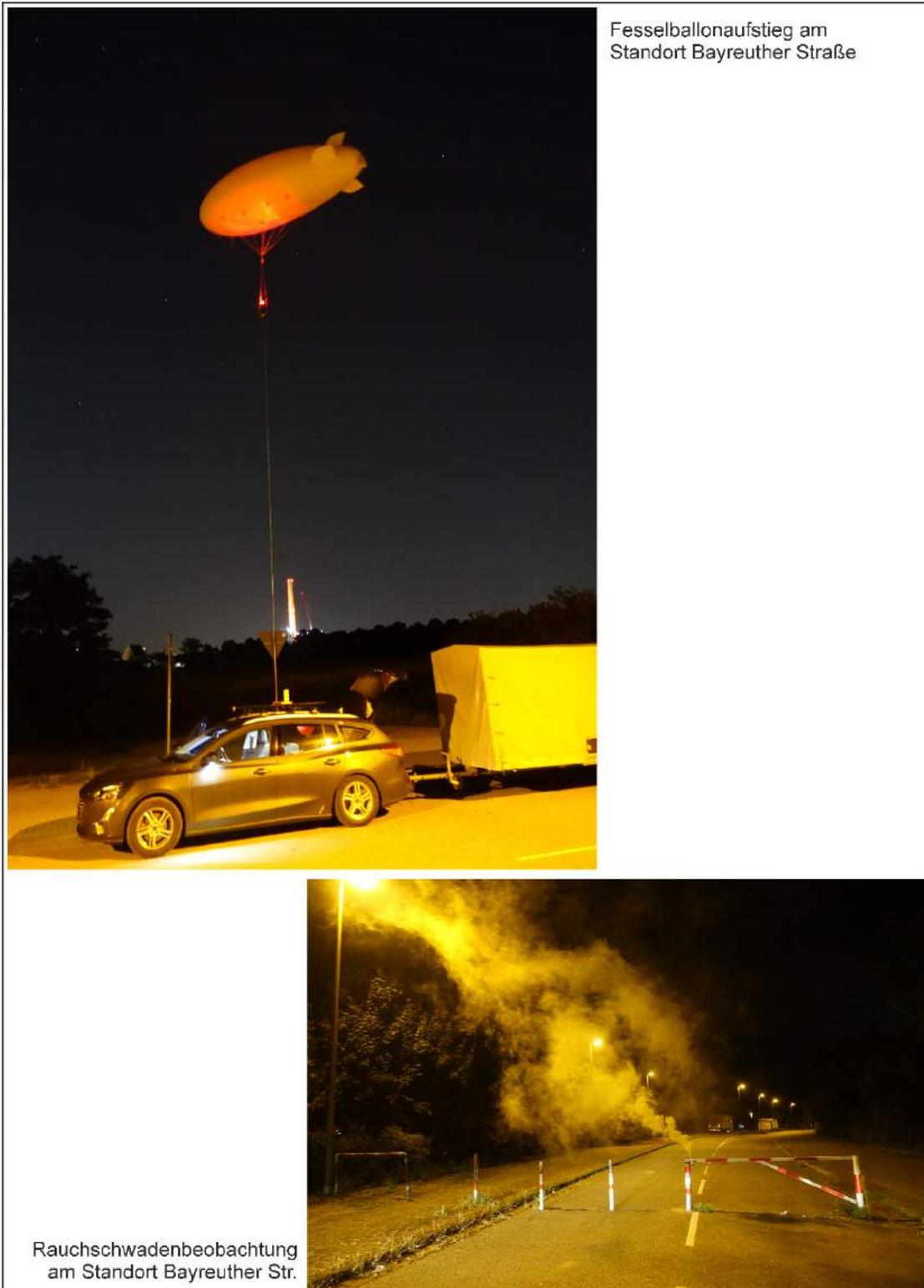


Abbildung 20: Fesselballonaufstieg und Rauchschwadenbeobachtung (22:35 Uhr) am Standort 2 Bayreuther Straße, fotografische Dokumentation (Foto: ÖKOPLANA)

Messergebnisse Standort 3 – Willersinnweiher (Abbildungen 21 und 22):

Am Messtandort nördlich des Willersinnweiher bestimmen zwischen 23:30 und 23:56 Uhr bis in eine Höhe von ca. 12,5 m ü.G. schwache westliche bis westsüdwestliche Kaltluftbewegungen das örtliche Luftaustauschgeschehen. Ein Flurwind in Richtung des Willersinnweiher wird nicht registriert. Oberhalb von 12,5 m ü.G. dreht der Wind über Nord zu ostnordöstlichen Richtungen. Während innerhalb der bodennächsten Kaltluftschicht (bis 12,5 m ü.G.) Strömungsgeschwindigkeiten von unter 2,0 m/s zu erfassen sind, zeigen die regionalen/überregionalen Ostnordost-Winde mittlere Windgeschwindigkeiten bis ca. 3,0 m/s.

In der zweiten Nachthälfte werden in allen Höhenschichten nordnordwestliche Windrichtungen registriert.

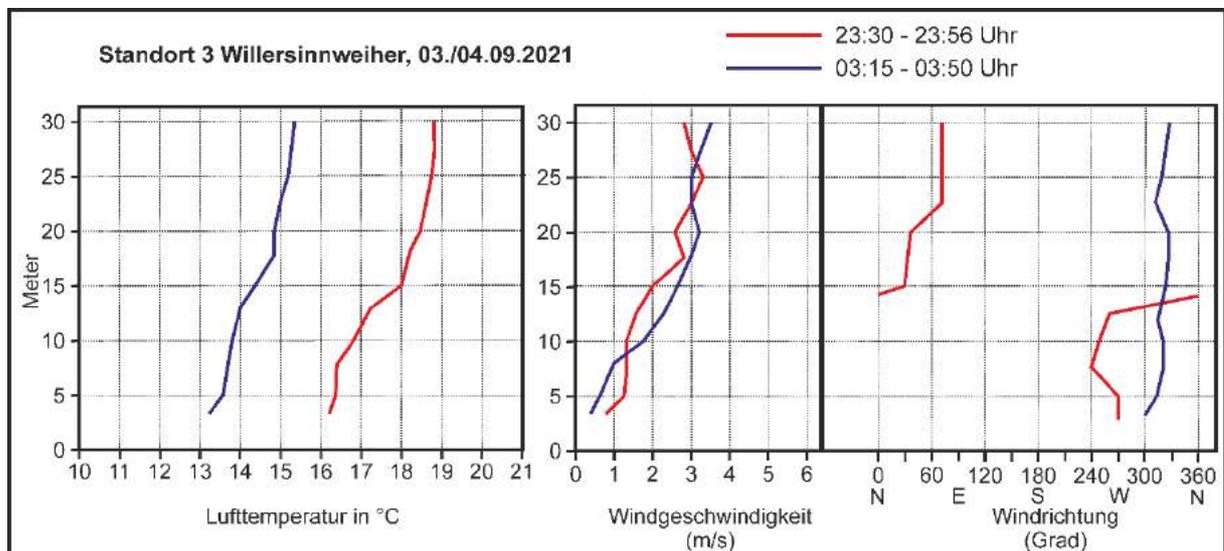


Abbildung 21: Ergebnisse von Fesselballonaufstiegen am Standort 3 Willersinnweiher

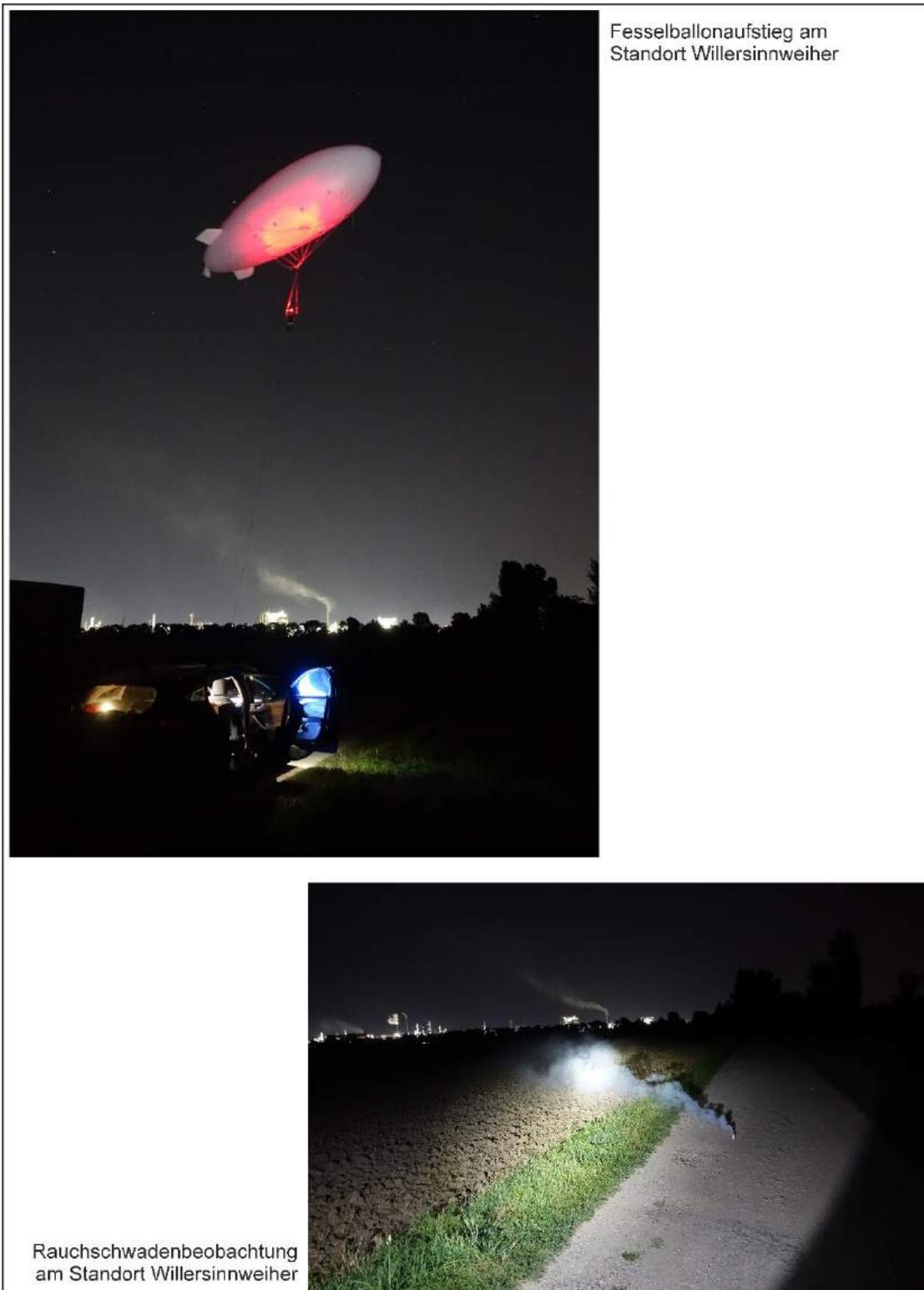


Abbildung 22: Fesselballonaufstieg und Rauchschwadenbeobachtung (23:30 Uhr) am Standort 3 Willersinweiher, fotografische Dokumentation (Foto: ÖKOPLANA)

3.3 Thermische Situation – Auswertung von Lufttemperaturdaten der Klimamessstationen

Im Stadtgebiet von Ludwigshafen am Rhein wird die Lufttemperaturverteilung im Wesentlichen von der Flächennutzung und der Lagebeziehung zwischen Freiräumen und Bebauung bestimmt.

Abbildung 23.1 gibt die mittleren Lufttemperaturtagesgänge an den Klimamessstationen im Gesamt-messzeitraum 01.06. - 20.10.2021 wieder. Obwohl hier alle Wetterlagen berücksichtigt sind, zeigen sich die typischen Stadtklimaefekte mit deutlicher nächtlicher Überwärmung der innerstädtischen Bebauung. So beträgt die Temperaturdifferenz zwischen Freiland (Station Rotkreuzstraße) und Innenstadt (Station Berliner Straße) nach Sonnenuntergang bis gegen Sonnenaufgang im Mittel etwa 2,0 - 2,5°C.

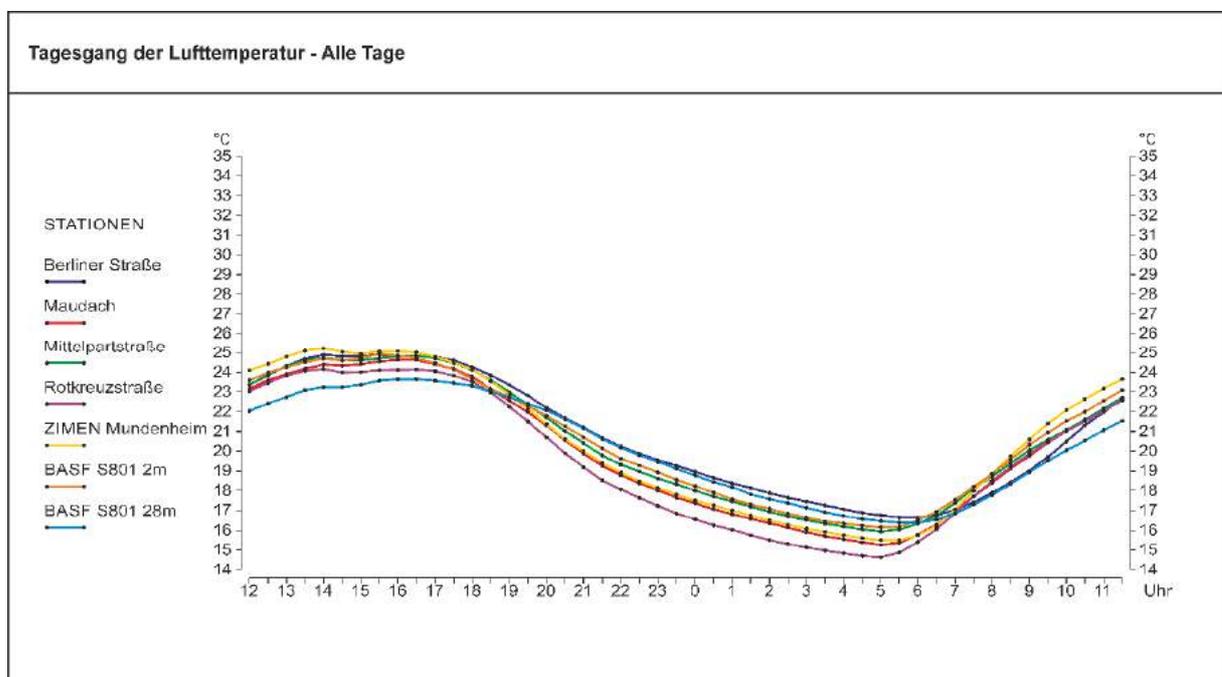


Abbildung 23.1: Mittlere Tagesgänge der Lufttemperatur, Juni – Oktober 2021, alle Tage

Noch deutlicher sind diese Effekte während klimaökologisch relevanter Strahlungswetterlagen (**Abbildung 23.2**) bzw. an heißen Tagen (**Abbildung 23.3**) ausgeprägt. An Strahlungstagen stellt sich in der zweiten Nachthälfte zwischen Freilandstation und Innenstadt im Mittel ein Temperaturgegensatz von etwa 3,5 – 4,0°C ein. Am Tag treten die Unterschiede dagegen infolge der turbulenten konvektiven Durchmischung der unteren Luftschichten in den Hintergrund.

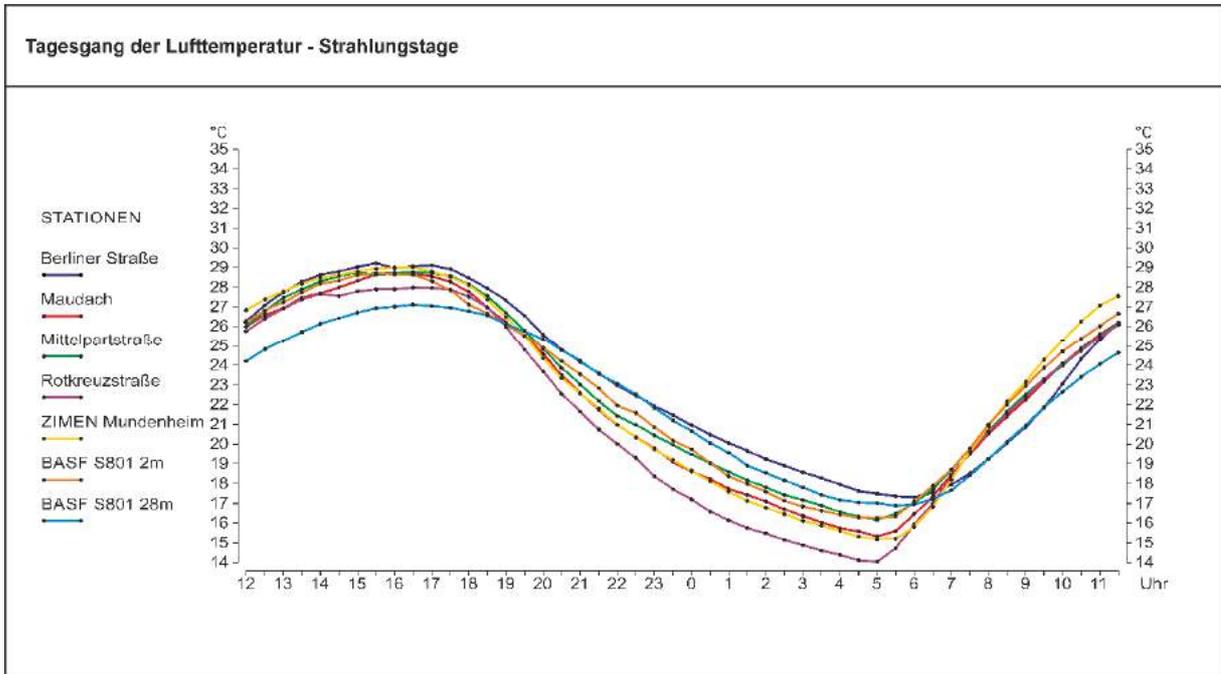


Abbildung 23.2: Mittlere Tagesgänge der Lufttemperatur, Juni – Oktober 2021, Strahlungstage

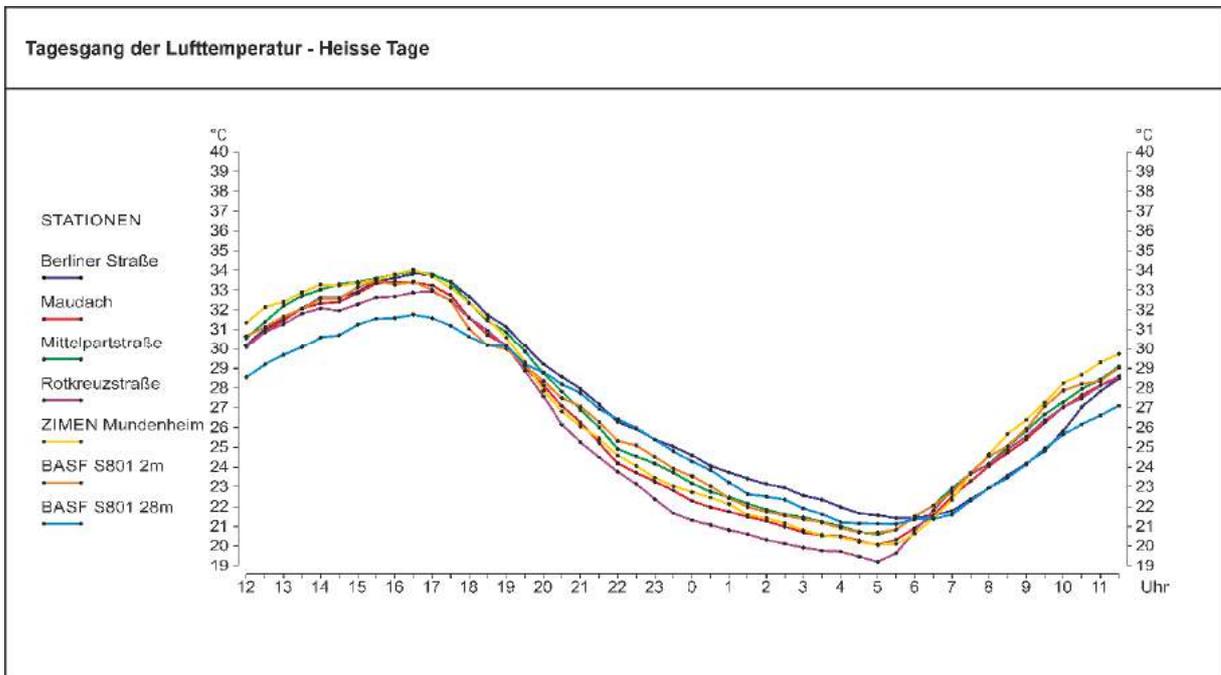


Abbildung 23.3: Mittlere Tagesgänge der Lufttemperatur, Juni – Oktober 2021, heiße Tage

Generell geben die mittleren Tagesgänge den typischen Temperaturverlauf wieder. Nach Sonnenaufgang beginnt die Lufterwärmung und erreicht im Sommer ihr Maximum zwischen 15:00 Uhr und 17:30 Uhr. Die dabei gegenüber dem Sonnenhöchststand verzögerte maximale Erwärmung ist darauf zurückzuführen, dass das Maximum der Energiebilanz der Oberfläche nach Sonnenhöchststand eintritt und sich infolgedessen die Erwärmung der dem Boden aufliegenden Luft auch noch danach fortsetzt.

Bereits vor Sonnenuntergang ist aufgrund der gegen Abend zunehmenden negativen Strahlungsbilanz Abkühlung zu erfassen. Sie ist in der ersten ersten Nachthälfte am stärksten ausgeprägt und zeigt sich in einem zunächst sehr raschen und im weiteren Verlauf abflachenden Temperaturrückgang. Kurz vor Sonnenaufgang wird schließlich an allen Stationen das Temperaturminimum gemessen.

Im Detail ergeben sich z.T. auffallende Unterschiede zwischen den einzelnen Messstationen. Wie bereits erwähnt, steht die thermische Situation in enger Beziehung zur Flächennutzung. Besonders in den Sommermonaten ist die Aufheizung fester Materialien (Bebauung) und deren Wärmespeicherung (am Tag) bzw. Wärmeabgabe (in der Nacht) beträchtlich. Vegetationsbedeckte Flächen stellen sich aufgrund der höheren Verdunstung bzw. der Transpiration der Pflanzen und des damit verbundenen Wärmeverbrauchs thermisch günstiger dar. Des Weiteren hat die Ventilation in Form des vertikalen und horizontalen Luftaustausches wesentlichen Einfluss auf das thermische Geschehen. Intensive Ventilation führt z.B. in der Bebauung zur Durchmischung örtlicher Warmluft mit kühleren Luftmassen aus den Freiräumen oder aus den höheren Luftschichten. Verminderte Ventilation hat hingegen, z.B. im Sommer, bei hoher Einstrahlung sowohl in der Bebauung als auch im Freiland Wärmestaus zur Folge.

Die Temperaturverläufe spiegeln diese Effekte wider. So werden am Freilandmessstandort Rotkreuzstraße am Tag wie auch in der Nacht die niedrigsten Werte und am Innenstadtmessstandort Berliner Straße die höchsten Werte verzeichnet. Die Lufttemperaturdaten der Bebauungsrandstationen Maudach, Mittelpartstraße, Zimen-Mundenheim und BASF S801 liegen während der Tagesmaxima am Nachmittag nahezu im gleichen Niveau wie im Stadtzentrum von Ludwigshafen am Rhein, differieren jedoch in der nächtlichen Ausstrahlungsphase je nach Einfluss lokaler Kaltluftbewegungen. deutlich.

Relativ warm zeigen sich in den Nachtstunden der Industriestandort BASF S801 und die Luftmessstation ZIMEN-Mundenheim. Die Werte liegen in Strahlungsnächten im Mittel zwar etwa $1,5^{\circ}\text{C}$ unter dem Niveau an der Berliner Straße, aber ca. $2,5^{\circ}\text{C}$ über den Werten an der Rotkreuzstraße.

Auffallend kühl zeigen sich die Stationsstandorte Maudach und Mittelpartstraße in Siedlungsrandlage. Die mittlere Differenz zur Berliner Straße beträgt etwa $-2,5^{\circ}\text{C}$.

Mit größerem Abstand zu den Bodenoberflächen koppeln sich die Temperaturverläufe von den bodennahen Vorgängen ab und die homogeneren großräumigen thermischen Abläufe werden dominant. Dementsprechend ist es an der Station BASF S801 im Messgebirgenniveau 28 m ü. G. am Tag noch kühler als am Freilandstandort, dagegen nachts ähnlich warm wie im Stadtzentrum von Ludwigshafen am Rhein.

Im Vergleich zu den mittleren Tagesgängen treten bei Betrachtung konkreter Witterungssituationen die typischen lokalklimatischen Wirkungsprozesse zwischen Freiraum und Bebauung unter dem Einfluss von Windrichtung und -intensität noch deutlicher hervor. Die in den **Abbildungen 14, 24.1** und **24.2** dargestellten Tagesgänge während der Ballonsondierungen (03.-04.09.2021) sowie während hochsommerlicher Wetterlagen am 16.-17.06.2021 bzw. 13.-14.08.2021 dokumentieren dies. An allen drei Tagen herrscht störungsfreies Strahlungswetter mit geringer Bewölkung vor. Lufttemperaturunterschiede zeigen sich jedoch als Folge der gegensätzlichen Strömungsrichtungen, welche wiederum bedeutsam für das lokale Temperatugeschehen sind.

Am 16.-17.06.2021 herrschte über Mitteleuropa ein ausgedehntes Hochdruckgebiet. Zwischen ihm und einem Trog über dem Ostatlantik strömen aus Süden warme Luftmassen ein.

Wie die in **Abbildung 24.1** dargelegten Windrichtungsverteilungen verdeutlichen, setzt sich am Tag die korrespondierende Höhenströmung bis in den bodennahen Raum durch. Im Wesentlichen zeigen alle Stationen südliche Anströmungen, die in Abhängigkeit von der lokalen Flächennutzung teilweise modifiziert werden. Die mittleren Strömungsintensitäten liegen an bebauungsbeeinflussten Standorten überwiegend bei Werten zwischen etwa 1,0 und 1,5 m/s und an Freilandstandorten bzw. bodenfernen Messgeberhöhen zumeist bei Werten zwischen etwa 2,0 und 3,0 m/s. Die Lufttemperaturen erreichen am Nachmittag hochsommerliche Werte zwischen 34,0 und 36,0°C.

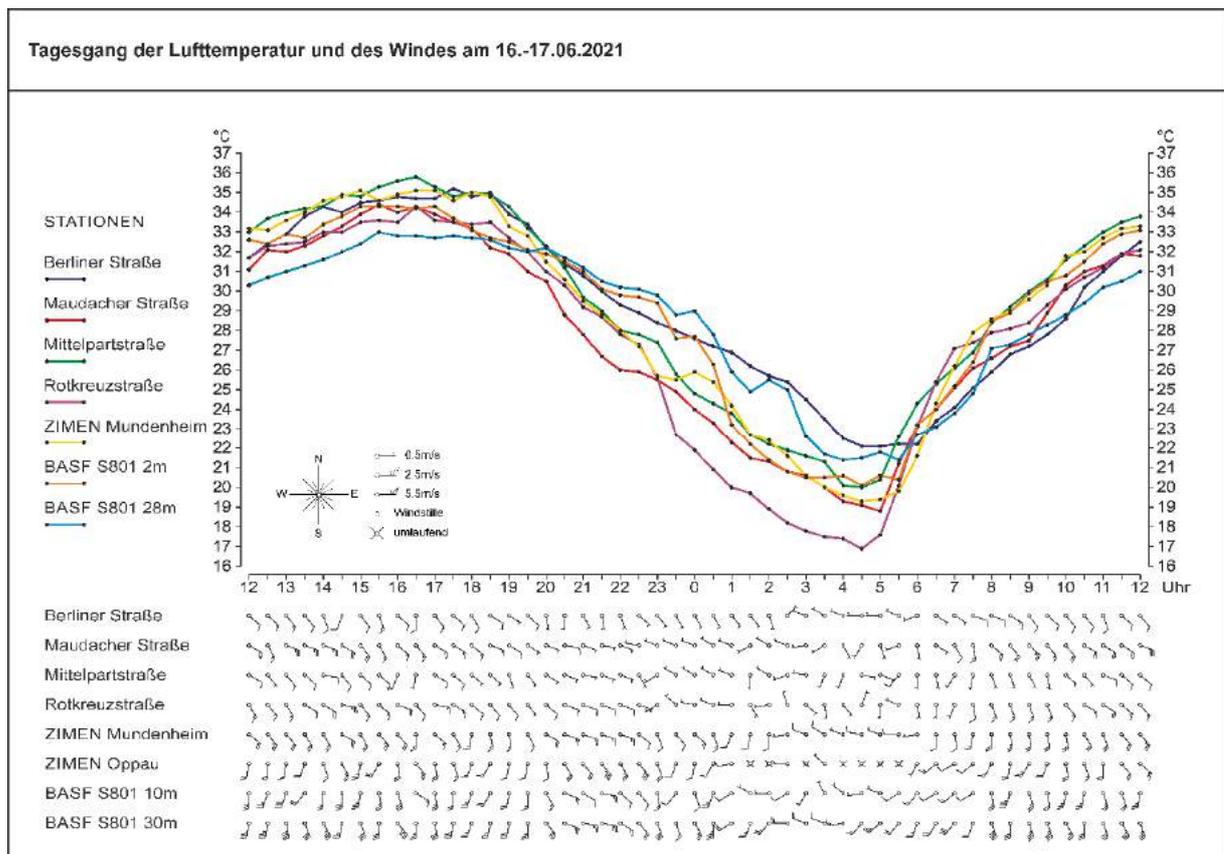


Abbildung 24.1: Tagesgänge der Lufttemperatur und des Windes am 16.-17.06.2021, heißer Sommertag

Am Abend und zu Beginn der Nacht setzt sich das allgemeine Strömungsgeschehen bei tendenzieller Winddrehung nach Südost zunächst fort, beginnt sich jedoch nach 22:00 Uhr in den bodennächsten Luftschichten Raum zunehmend von der Höhenströmung abzukoppeln. An den Messstandorten Maudach, Mittelpartstraße und Rotkreuzstraße zeigt sich dies anhand einer Winddrehung auf westliche bis westnordwestliche Richtungen, welche mit schwacher Strömungsintensität (ca. 0,5 m/s) assoziiert ist. Auffällig ist, dass die drei Stationen südwestlich, westlich und nordwestlich der Ludwigshafener Innenstadt liegen und die Windbewegungen in Richtung Stadtzentrum gerichtet sind. Dies lässt auf flurwindartige Ausgleichsströmungen schließen, wie sie im Osten auch in Mannheim (GEO-Net Umweltconsulting GmbH, ÖKOPLANA 2021) zu messen sind.

Analog zum Strömungsgeschehen gestalten sich auch die Temperaturverläufe. Während an der Station Maudach zwischen 18:00 Uhr und 23:00 Uhr die niedrigsten Lufttemperaturen registriert werden, zeigt sich nach 23:00 Uhr bis Sonnenaufgang der Freilandstandort Rotkreuzstraße am kühlfsten. Im Bereich des Standortes Maudach strömt zunächst aus dem östlich angrenzenden Freiraumgefüge die sich bodennah über den landwirtschaftlichen Flächen deutlich abkühlende Luft zu. Mit Winddrehung auf West um 23:00 Uhr wird hingegen weniger kühle Luft aus der angrenzenden Bebauung zugeführt, wie der tendenziell verharrende bzw. abgeflachte weitere Temperaturgang verdeutlicht. Im Gegensatz hierzu setzt sich an der Rotkreuzstraße bis 23:00 Uhr bei Windgeschwindigkeiten um 1 m/s noch teilweise die wärmere, über die Stadtflächen geführte Höhenluftmasse durch. Sie vermischt sich mit der sich bodennah im Umfeld bildenden Kaltluft und lässt das Temperaturniveau zunächst nur wenig unter jenes der dicht überbauten Bereiche sinken. Mit nachfolgender Abschwächung der Strömung und Winddrehung intensiviert sich die bodennahe Kaltluftbildung und die Lufttemperaturen sinken im Stationsumfeld markant ab.

Im weiteren Verlauf der Nacht dominiert schließlich an allen Stationen das lokalklimatische Geschehen mit schwachen Strömungsintensitäten. Hierbei zeigen sich nunmehr auch an Standorten BASF S801 im Norden und Mundenheim ZIMEN im Süden von Ludwigshafen am Rhein westliche Windrichtungen. Im Bereich des Standortes BASF S801 lässt sich hierbei nach 00:00 Uhr ein sehr markanter Temperaturrückgang beobachten. Während in der ersten Nachthälfte die Werte teilweise noch etwas über denen der Innenstadtstation Berliner Straße liegen, werden in zweiten Nachthälfte bis 4,5°C niedrigere Temperaturen gemessen. Die kühlen Luftmassen aus dem Freiraum Rosslache können bei dieser Situation effektiv über den angrenzenden Industrieflächen wirksam werden. Nach Sonnenaufgang setzt sich mit rascher Erwärmung der Bodenoberflächen wieder das übergeordnete Strömungsmuster mit auflebenden Windrichtungen aus Süd bis Südost durch.

Abbildung 24.2. zeigt das Geschehen am 13.-14.08.2021. An diesem Tag befindet sich Mitteleuropa in einer brückenförmigen Verbindung zwischen einem Azorenhoch und einem osteuropäischen Hoch. In einer nördlich der Hochdruckbrücke verlaufenden Frontalzone wandern Einzelstörungen ostwärts, beeinflussen jedoch nur zeitweise mit lockeren Wolkenfeldern das Witterungsgeschehen im Stadtgebiet von Ludwigshafen am Rhein.

Bei großräumig westlichen Strömungsrichtungen dominierten hochsommerlich warme Luftmassen das thermische Geschehen. Die Höchsttemperaturen erreichen am Nachmittag ca. 32,0 bis 34,0°C. Wie die Windrichtungsverteilungen belegen, setzt sich am Nachmittag der westliche Höhenwind bis in den bodennahen Raum durch. An Standorten mit freier Anströmung liegen die mittleren Windgeschwindigkeiten zwischen ca. 3,0 und 4,0 m/s.

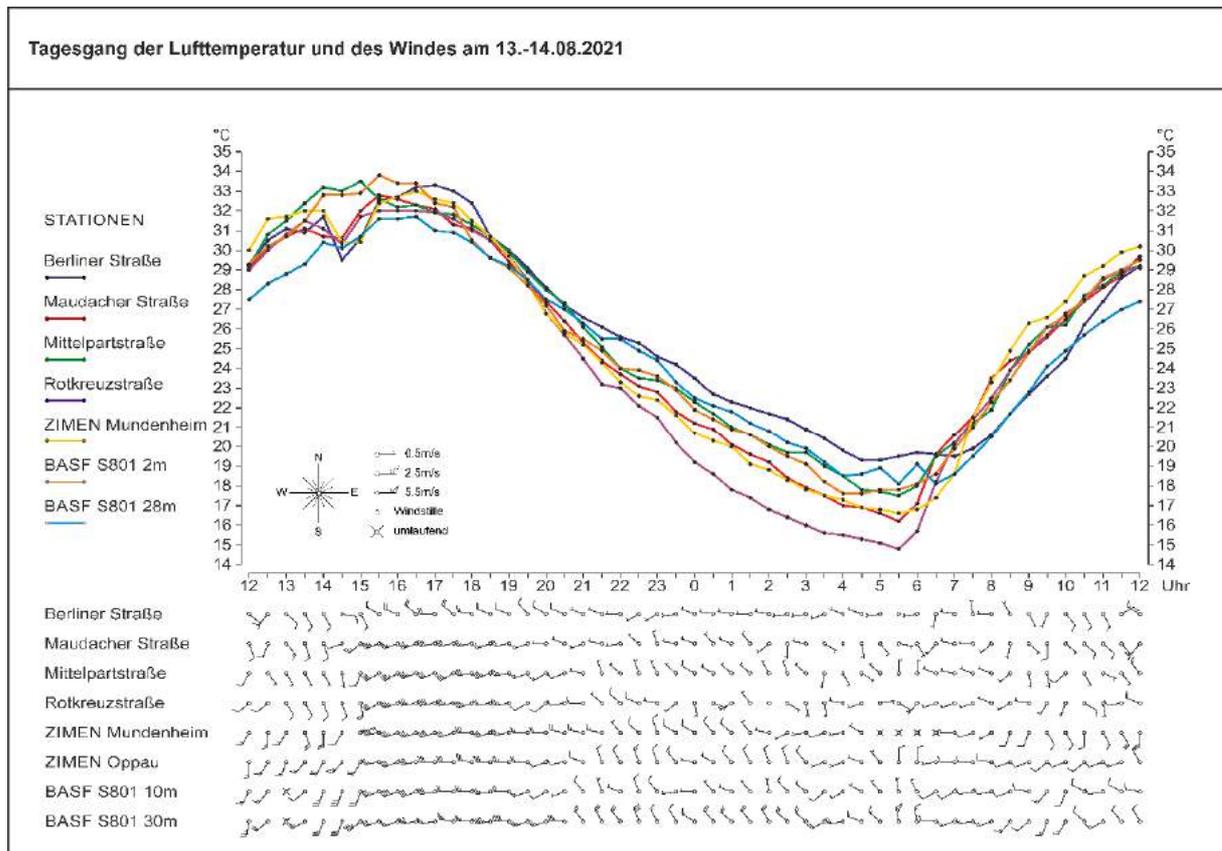


Abbildung 24.2: Tagesgänge der Lufttemperatur und des Windes am 13.-14.08.2021, heißer Sommertag

Am Abend und in der ersten Nachthälfte schwächt sich die Strömungsintensität zwar etwas ab, die westlichen Richtungskomponenten dominieren jedoch weiterhin im gesamten Stadtgebiet. Dementsprechend können sich zunächst kaum die flächennutzungsspezifischen Differenzierungen ausdrücken. Erst im weiteren Verlauf der ersten Nachthälfte zeigen sich bei weiter abnehmenden Windgeschwindigkeiten und Drehung auf nordwestliche Richtungen etwas deutlichere Temperaturunterschiede. Gegen 23:00 Uhr beträgt der Temperaturgegensatz zwischen dem Freilandstandort Rotkreuzstraße (21,6°C) und der Innenstadtstation Berliner Straße (24,5°C) 2,9°C.

In der zweiten Nachthälfte sind vor allem in den Freiräumen lokalklimatisch geprägte Entwicklungen zu erkennen. Unter dem Einfluss der schwach ausgeprägten nordwestlichen Regionalströmung intensiviert sich über den landwirtschaftlichen Flächen die bodennahe Kaltluftbildung. Sie liegt relativ ortsfest als flache Schicht dem Boden auf. Dies wird anhand der geringen Windgeschwindigkeiten (um 0,5 m/s) bei wechselnden Richtungsimpulsen an den Stationen Rotkreuzstraße und Maudach offenbar.

Die im Vergleich zur Rotkreuzstraße höheren Lufttemperaturen am Ortsrandstandort Maudach (Differenz ca. 1,5 - 2,0°C) deuten darauf hin, dass kühle Freilandluftmassen bei sehr schwachen Strömungsimpulsen nicht mehr effizient in Bebauungen eindringen können. Auffällig ist in diesem Zusammenhang, dass an der ZIMEN Station in Mundenheim im gesamten Verlauf der Nacht ähnlich niedrige Werte wie an der Station Maudach registriert werden.

3.4 Thermische Situation – Ergebnisse mobiler Messungen der Lufttemperatur

Wie bereits in Kap. 1 angeführt, wurden im Rahmen der Messkampagne 2021 zur Erfassung der Lufttemperaturverteilung im Ludwigshafener Stadtgebiet in einer sommerlichen Strahlungsnacht (22.-23.07.2021) zwischen 22:30 Uhr und 02:00 Uhr mit vier Messfahrzeugen Lufttemperaturmessungen durchgeführt.

Die Messungen erfolgten linienhaft auf den mit dem Auftraggeber festgelegten Fahrtrouten, die an den vier temporären Messstationen vorbeiführten. Das Gelände der BASF konnte ebenfalls befahren werden.

Die stationären Messwerte werden wie folgt zur zeitlichen Interpolation der mobilen Messwerte verwendet. In einem ersten Schritt werden die während der Messfahrten an den Stationen erfassten Temperaturmodifikationen ausgewertet. Hieraus resultieren Verlaufskurven der Lufttemperatur, die in einem zweiten Schritt den zeitcodierten Werten der Messfahrt zugeordnet werden.

Diese Methodik hat als Ergebnis zur Folge, dass alle Messwerte der Lufttemperaturmessungen auf einen Zeitpunkt (00:00 Uhr) korrigiert sind. Zuvor findet eine Filterung verkehrsbedingter Standzeiten aus den Messdaten statt. Durch mehrfaches Anfahren regelmäßig verteilter Fixpunkte abseits der Messstationen kann die Reduktion auf 00:00 Uhr auch in der Fläche zusätzlich gewährleistet werden.

Bei der Aufnahme der Lufttemperatur spielen die Wetterbedingungen eine entscheidende Rolle. Die Ausprägung flächennutzungsspezifischer, kleinräumiger Temperaturunterschiede zeigt sich am besten bei windschwachen Strahlungswetterlagen in den Nachtstunden.

Der gewählte Messtermin orientiert sich daher an folgenden Vorgaben:

- Geringe Bewölkung, d.h. intensive Ein- und Ausstrahlung,
- Geringe durchschnittliche Windgeschwindigkeit in freien Lagen (≤ 2.0 m/s),
- Wetterverlauf in den letzten sechs Stunden - heiter, höchstens wechselnd bewölkt. Während der Messfahrten weitgehend wolkenlos (Bedeckungsgrad $\leq 2/8$).

Wie **Abbildung 25** dokumentiert, herrschen am 22.-23.07.2021 während der Messfahrten unter dem Einfluss einer antizyklonalen Hochdruckwetterlage (HNa) schwache nordöstliche bis nordwestliche Winde vor. Da es zudem wolkenlos ist, liegen günstige Kaltluftbildungsverhältnisse vor.

Auch während der ergänzenden Messfahrten am 03.09.2021 (Mundenheim, Innenstadt, Oppau) und 13.09.2021 (Maudacher Bruch, Gartenstadt) liegen windschwache, wolkenlose Situationen vor.

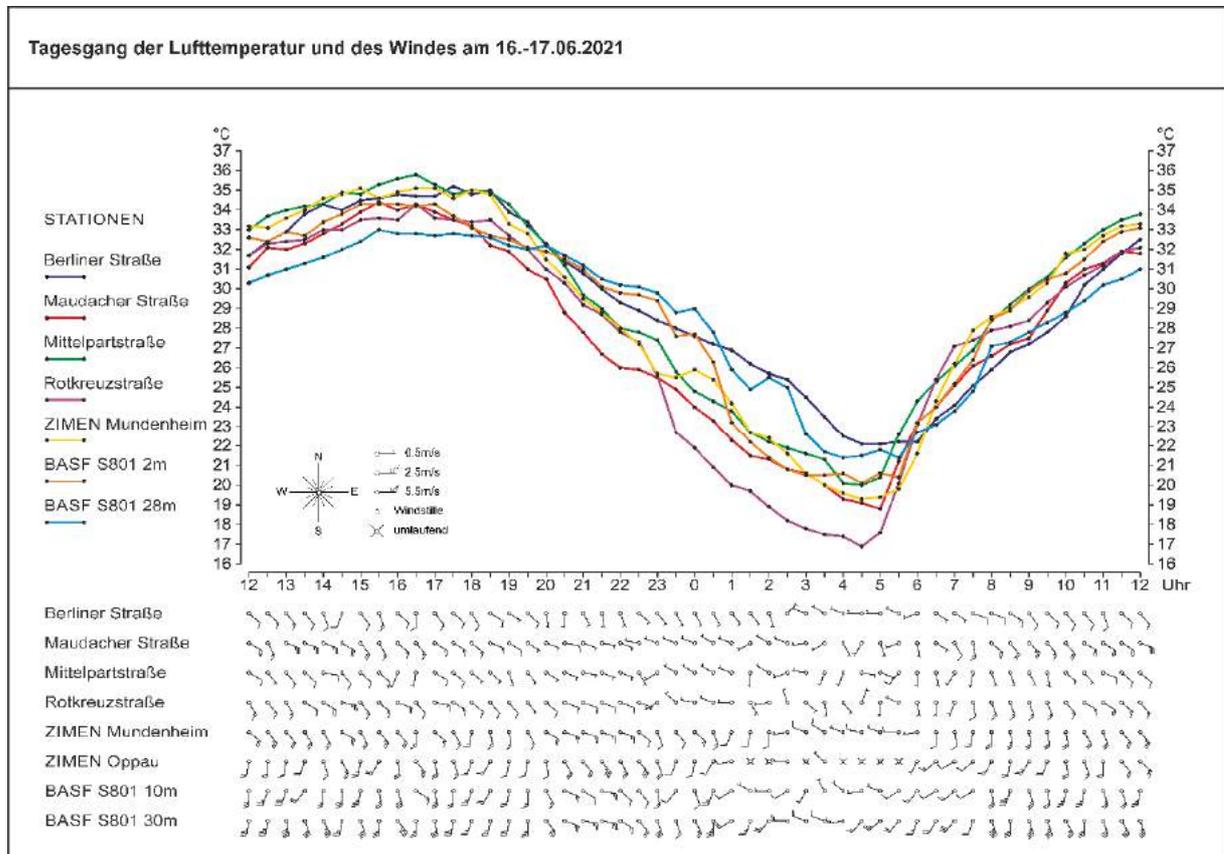


Abbildung 25: Tagesgänge der Lufttemperatur und des Windes am 22.-23.07.2021, Sommertag

Eine Analyse der Temperaturverteilung erfolgt in der Stadtklimatologie vorwiegend nach Sonnenuntergang, da sich im Verlauf der nächtlichen Abkühlungsphase die durch unterschiedliche Flächennutzung bzw. Oberflächenmaterialien (vegetationsbedeckte Oberflächen bzw. Baukörper) bedingten thermischen Unterschiede am deutlichsten ausbilden. Abhängig von der Flächennutzung, der Lagebeziehung zu klimaökologisch wirksamen Ausgleichsräumen und dem Geländere relief bilden sich nach Sonnenuntergang wärmere und kühlere Bereiche aus. Hierfür sind sowohl die kleinräumige als auch die großräumigere (regionaler Maßstab) Kaltluftentstehung und Kaltluftbewegung von wesentlicher Bedeutung.

Bereits vor Sonnenuntergang beginnen sich die Bodenoberfläche sowie die darauf befindlichen Materialien und damit auch die darüber liegenden Luftschichten abzukühlen. Über Vegetationsflächen (z.B. Wiesen, Ackerflächen) ist diese Abkühlung besonders intensiv. In ebenem Gelände stagniert die so entstehende Kaltluft größtenteils am Ort ihrer Entstehung, wenn sie nicht durch eine Luftströmung höherer Geschwindigkeit ausgeräumt wird.

Die flächenhafte Verteilung der Lufttemperatur wird dabei zum Indiz für diese Erscheinungen und somit für die klimaökologische Leistungsfähigkeit der Freiflächen und Freiräume.

Die Isothermenkarte (**Abbildung 26**) zeigt die flächenhafte Verteilung der Lufttemperatur während einer klimaökologisch relevanten Strahlungswetterlage.

In der Darstellung der Lufttemperaturverteilung markiert die jeweilige Isotherme (Linie gleicher Lufttemperatur) den Übergang zu einem anderen Temperaturwert. Im vorliegenden Fall umfasst die Fläche zwischen zwei Isothermen eine Änderung der Lufttemperatur von 1,0 °C.

Auf der Isothermenkarte lassen sich deutlich die flächennutzungsspezifischen thermischen Unterschiede im Stadtgebiet von Ludwigshafen erkennen. Die Lufttemperaturunterschiede erreichen während der vorliegenden Messfahrten Werte bis ca. 6,7 °C.

Die niedrigsten Lufttemperaturen (15,7°C) werden im Parkwald (Maudacher Bruch) erfasst. Im Bruchwald kommt es in den muldenartig tiefliegenden ehemaligen Flußmäandern zu Kaltluftbildung und Stagnationserscheinungen, wodurch die nächtliche Abkühlung beschleunigt und intensiviert wird. In ähnlicher Form, jedoch nicht ganz so markant ausgeprägt, zeigt sich dieser Abkühlungseffekt über dem Freiraumgefüge bei Ruchheim, in der Roßlache zwischen Melm, Oppau und Friesenheim, im Freiraum zwischen der A 650 und der K 8 sowie Oggersheim im Westen und Valentin-Bauer-Siedlung im Osten. Auch im Oberfeld zwischen Maudach und Rheingönheim ist großflächig eine prägnante Abkühlung zu erfassen.

Die stärkste Überwärmung stellt sich über der Ludwigshafener Innenstadt in einem von Rottstraße (Süden), AbbVie-Werksgelände (Westen), B 44 (Norden) und Mundenheimer Straße/Ludwigstraße (Osten) umrissenen Gebiet ein. Hier werden Lufttemperaturen bis 22,4°C registriert. Weitere „Hot Spots“ befinden sich im Stadtteil Hemshof (Umfeld der Dreifaltigkeitskirche) sowie auf dem Werksgelände der BASF. Auch dort werden Lufttemperaturen bis über 22,0°C gemessen.

Bei detaillierter Betrachtung der Temperaturverteilungen lässt sich in den Stadtteilen zumeist ein differenziertes Geschehen erkennen. Im Bereich der Innenstadt (Stadtteil Mitte) ist die Zone der intensivsten Überwärmung (über 22,0°C) allerdings relativ homogen verteilt. Dies deckt sich mit dem homogenen und hoch verdichteten Bebauungsbild, in welchem keine größeren Grünflächen eingebettet sind. Kleine Grünstrukturen, wie beispielsweise im Bereich zwischen der rückgebauten Hochstraße (B 37), Heinigstraße und Wörthstraße weisen ein geringes Abkühlungspotenzial auf, um sich im 1,0-Grad-Abstand der Isothermen deutlich hervorzuheben. Lokal zeigen sich hier während der Messfahrten gegenüber der angrenzenden Bebauung bis maximal 0,5°C niedrigere Werte. Ebenfalls lokal begrenzt bleibt die Wirkung begrünter Innenhöfe als Folge des Zusammenspiels mit den zumeist geschlossenen straßenseitigen Häuserfronten. Ein analoges Bild bietet sich im nördlichen Bereich des Stadtteils Süd. Auch hier zeigt sich keine wesentliche Differenzierung der Temperaturverteilung.

Östlich des Citybereichs begrenzt der Rheins das Stadtgebiet. Er wirkt zwar als Ventilationsachse, jedoch ist dessen temperaturabsenkende Wirkung, bedingt durch die sommerlich hohen Wassertemperaturen (ca. 24 – 25°C) und die jenseits des Rheines direkt angrenzende Wärmeinsel der Mannheimer Innenstadt deutlich reduziert. Die Lufttemperatur ist am Rheinufer zwischen der Konrad-Adenauer-Brücke und der Kurt-Schumacher-Brücke ca. 1,0 - 1,5°C niedriger als im Bereich Theaterplatz/Pfalzbau.

Im Stadtteil Süd zeigt sich eine deutliche thermische Differenzierung. Hier treten vor allem die großen Grünstrukturen im Bereich des Sportparks mit Werten teilweise unter 20,0°C (etwa 2,5°C kühler als der Citybereich) thermisch günstig hervor. Teilweise profitieren die aufgelockerten Baustrukturen im nördlich angrenzenden Viertel zwischen Saarlandstraße und Lagerhausstraße noch von diesem Effekt. Rheinseitig wird die Nähe zu den südlich angrenzenden Freiräumen erkennbar.

Auch der Stadtpark Parkinsel hebt sich als Kaltluftproduktionsfläche mit Lufttemperaturen von ca. 18,0 – 19,0°C von der wärmeren Umgebungsbebauung ab.

Im Westen wirkt das Freiraumgefüge „Große Blies“, Güterbahnhof und Kleingartenanlage westlich des Stadtteils Süd als klimaökologischer Gunstraum. Hier werden analog zur Parkinsel Temperaturen zwischen 18,0 und 19,0°C gemessen (im Bereich „Große Blies“ auch etwas unter 18,0°C). Bedingt durch den leichten Geländesprung zur Wohnbebauung bzw. durch Muldenlageneffekte (Schänzeldamm im Süden) neigt die bodennahe Kaltluft im Bereich der Kleingartenanlage allerdings verstärkt zu Stagnation, was durch den deutlichen Temperaturanstieg um 1,5 – 2,0°C auf kurzer Distanz am Bebauungsrand des Stadtteils Süd (Ganghoferstraße) zum Ausdruck kommt.

Unterbrochen wird der Freiraum durch das Gewerbegebiet Technologiemeile Postbank. Bedingt durch dessen relativ kleinräumige Ausdehnung, der an mehreren Seiten angrenzenden Grün- bzw. Freiflächen bleibt der Überwärmungsgrad hier mit Werten zwischen 18,5° - 19,2°C vergleichsweise gering.

Nach Süden schließt sich der Stadtteil Mundenheim mit seinem dicht bebauten Ortskern, den Industrieflächen am Kaiserwörthhafen sowie dem Gewerbegebiet Industriepark Süd an. Im Ortszentrum von Mundenheim werden mit bis zu 21,5°C um etwa 1,0°C niedrigere Werte als in der City gemessen. Die 21°C-Isotherme reicht dabei vom S-Bahnhof bis zur Hauptfeuerwache. Ein kleinerer Bereich mit Temperaturen über 21,0°C erstreckt sich von der Wegelnburgstraße über den Kaiserwörthdamm bis zu den Industrieflächen an der Shellstraße. Dieser Bereich ist von einem hohen Flächenversiegelungsgrad geprägt.

Im Ortskern Mundenheim wird diese Zone stärkster Überwärmung vom Zedtwitzpark unterbrochen. Die Grünfläche hebt sich mit Temperaturen von knapp unter 20,0°C als kühlerer Bereich von der benachbarten Bebauung ab. Die 20°C-Isotherme markiert Bereiche mit deutlicher Überwärmung. Im Westen reichen diese über den S-Bahnhof hinaus bis zum Gewerbegebiet Bruchwiesenstraße und überdecken im Osten große Bereiche des Industrie- und Gewerbegebiets.

Im Südwesten von Mundenheim profitiert die Bebauung noch zusätzlich von der Positivwirkung des angrenzenden Freiraumes (17,5 – 18,0°C) zwischen den Stadtteilen Gartenstadt und Rheingönheim. Die Temperaturen liegen hier mit Werten wenig über 19,0°C etwa 2,5°C unter dem Niveau des Mundenheimer Ortskerns.

Rheingönheim weist vergleichbar mit Mundenheim ebenfalls einen stark verdichteten, jedoch flächig kleineren Ortskern auf. Südlich des Brückweggraben schließt sich ein in den letzten Jahren neu erschlossenes Wohngebiet mit überwiegend Einzel-, Doppel- und Reihenhausbauung an. Südlich, westlich und östlich grenzen an Rheingönheim Landwirtschaftsflächen an, über denen Lufttemperaturen zwischen 16,5 bis 17,5°C zu erfassen sind. Im Vergleich hierzu zeigt sich der Ortskern von Rheingönheim mit Werten bis etwa 20,5°C mäßig überwärmt, wobei das Temperaturfeld infolge der relativ homogenen Bauungsstruktur gleichmäßig strukturiert ist. Im Neubaugebiet südlich des Brückweggraben liegt das Temperaturniveau mit etwa 19,0 – 20,0°C etwas niedriger und nimmt zum südöstlichen Bauungsrand deutlich ab. Hier wirkt sich die Kaltluft aus dem angrenzenden Freiraumgefüge thermisch positiv aus.

Als kleinräumige Wärmeinsel hebt sich im Freiraum östlich von Rheingönheim die Bauschuttdeponie vom Umfeld ab. Sie ragt als künstliche Aufschüttung mit mehr als 20 m Höhe über die bodennahe Kaltluftschicht hinaus.

Südwestlich der B 44-Anschlussstelle Ludwigshafen-Rheingönheim sind die Gewerbeflächen der Joseph Vögele AG in das weiträumige Freiraumgefüge zwischen Rheingönheim und Mudach eingebettet. Während über den angrenzenden landwirtschaftlichen Flächen Lufttemperaturen von ca. 16.3- 17.2°C gemessen werden, steigen die Werte zum Werksgelände hin bis auf etwa 18,0°C an.

Der Stadtteil Maudach ist gänzlich von Freilandstrukturen umgeben. Nördlich der Bauung grenzt das muldenförmig eingetiefte Maudacher Bruch an. Hier werden im Windschutz von Waldstreifen (Parkwald) stagnationsbedingt besonders niedrige Temperaturen (unter 16,0°C) gemessen, wobei die flache Kaltluftschicht bei der vorliegenden Situation vom schwachen nordöstlichen bis nordwestlichen Strömungsgeschehen kaum verfrachtet wird. Der deutliche Temperatursprung um bis zu 2,0°C an der etwa 5 - 8 m hohen Geländekante westlich des Parkwaldes und die Wärmeinsel des etwa 30 m hohen Michaelsberges (Bezug zum umgebenden Höhenniveau) verdeutlichen dies.

In analoger Form tritt dieser Effekt auch am Südrand des Bruchs am Übergang zur höher gelegenen Bauung von Maudach auf.

Bedingt durch die niedrigen Windgeschwindigkeiten können die Luftmassen der Freiräume generell nur in begrenztem Umfang in der angrenzenden Bauung wirksam werden. So zeigen die Windgeschwindigkeitsregistrierungen am Stationsstandort Maudach zwischen 22:00 Uhr und 00:00 Uhr mittlere Intensitäten von nur ca. 0,5 m/s.

Im Ortskern von Maudach liegen die Temperaturen mit Werten bis 20,3°C auf ähnlichem Niveau wie im Stadtteil Rheingönheim bzw. ca. 3.0 - 3.5°C über den Temperaturen der benachbarten Freiräume. Die Temperaturdifferenz zur exponierten Situation im Parkwald beträgt bis ca. 4.5°C.

Innerörtlich sind kleinräumige Lufttemperaturdifferenzierungen feststellbar. So heben sich die großen zusammenhängenden Hausgartenflächen (Quartier Breite Straße, Hindenburgstraße, Mittel-/Birkenstraße Blütenstraße) als Zonen mit niedrigeren Temperaturen von der benachbarten Bauung ab. Sie tragen dazu bei, den örtlichen Wärmeinseleffekt räumlich zu begrenzen.

Das südlich von Maudach angrenzende Gewerbegebiet Am unteren Grasweg ragt als wärmere Fläche zungenförmig in die angrenzenden landwirtschaftlich genutzten Flächen. Mit Lufttemperaturen bis etwa 19,5°C sind die Gewerbegebietsflächen kühler als der Maudacher Ortskern, da die Kaltluft aus den angrenzenden kühlen Landwirtschaftsflächen die örtliche Abkühlung forcieren.

Vergleichbar zur Situation in Maudach ist der Stadtteil Ruchheim gleichfalls von landwirtschaftlich genutzten Freilandstrukturen umgeben. Eine starke Überwärmung wird hier während der Messfahrten nicht ermittelt. Zur Ortsmitte hin steigen die Temperaturen auf maximal 19,5°C an. Die vergleichsweise geringe innerörtliche Differenzierung lässt sich mit der recht homogenen Verteilung der versiegelten und unversiegelten Nutzungen erklären. Der Temperaturgegensatz zwischen Ortsmitte und Freiland erreicht etwa 2.5 - 3.0°C.

Östlich des Maudacher Bruchs schließt sich der Stadtteil Gartenstadt an. Er ist locker durchgrünt und weist keinen gewachsenen Ortskern auf. Trotz des relativ hohen Grünflächenanteils sind die Temperaturen in der Gartenstadt in zentraler Ortslage mit Werten bis 21,2°C höher als in Maudach und Rheingönheim. Der überwiegende Teil der Bebauung zeigt Lufttemperaturen von ca. 20,0 – 21,0°C. Lediglich in etwas tiefer gelegenen Bereichen im Norden stellen sich im Zusammenspiel von Kleinrelief, Strömungsgeschehen und der benachbarten Freiräume etwas niedrigeren Lufttemperaturen (19,0–20,0°C) ein. So können hier bei schwachen nordwestlichen bis nordöstlichen Windrichtungen, trotz der Barrierewirkung des dammartig erhöhten Straßenverlaufs der A 650, aus dem Maudacher Bruch sowie der Großen Blies kühlere Luftmassen die nächtliche Abkühlung intensivieren.

Im Westen unterbindet die größere Höhendifferenz der Geländekante zum Maudacher Bruch und die z.T. dichten Gehölzbestände eine intensive Verfrachtung bodennaher Kaltluft aus dem Maudacher Bruch in Richtung Gartenstadt.

Eine differenzierte Lufttemperaturverteilung zeigt sich im Stadtteil Oggersheim, in den nordöstlich angrenzenden Siedlungsgebieten Notwende und Melm sowie entlang des Siedlungsbandes an der K 8.

Im Ortskern von Oggersheim werden Lufttemperaturen bis etwas über 21,0°C erreicht. Die 20°C-Isotherme überdeckt gleichmäßig verteilt weite Bereiche der Bebauung ohne deutlich erkennbare Abstufungen. Zu den Bebauungsrändern ist das thermische Bild uneinheitlicher. So zeigt sich im Südosten ein markantes Temperaturgefälle zu den muldenartig eingetieften Freiflächen der Botterwiesen. Hier beträgt das Temperaturgefälle zwischen Weimarer Straße und dem Bereich um den Hundesportplatz auf 250 m horizontaler Distanz etwa 3,5°C. Als Folge der schwachen Luftbewegung bildet sich über der bis zum Hauptfriedhof reichenden Freifläche ein bodennaher Kaltluftstagnationsraum aus.

Im Westen von Oggersheim ist ein eher gleitender Temperaturrückgang in Richtung Siedlungsrand zu verzeichnen. Hier schließen sich der zunehmend aufgelockerten Wohnbebauung die Trasse der autobahnartig ausgebauten B 9 und das Gewerbegebiet Oggersheim West an. Trotz des teilweise hohen Versiegelungsgrads in den Gewerbeflächen werden im Bereich der Oderstraße mit Werten um oder etwas unter 19,0°C etwa 2,0 - 2,5°C niedrigere Lufttemperaturen als im Ortskern von Oggersheim gemessen.

Offensichtlich sichern die achsenartigen Grünzonen entlang der K 11, am Affengrabens und an der Dürkheimer Straße sowie parallel zur B 9 einen intensiven bodennahen Luftaustausch mit dem benachbarten Freiraumgefüge, wodurch der Wärmeinseleffekt nachhaltig reduziert ist.

Nördlich der Bahntrasse Ludwigshafen – Frankenthal schließen sich das Gewerbegebiet Rheinhorststraße sowie die Wohngebiete Notwende und Melm an. Die Siedlung Melm wurde nach der Jahrtausendwende entwickelt. Die aktuellen Messfahrtergebnisse belegen, dass durch die Berücksichtigung bebauungsinterne Grünflächen/Kaltluftleitbahnen mit Anschluss an den Freiraum Roßlache die bebauungsbedingte Überwärmung auffallend begrenzt bleibt. Lufttemperaturen von 20,0 – 21,0°C werden nur kleinräumig in Teilbereichen mit höherer Verdichtung gemessen. Die flächige Grünstruktur im Zentrum des Wohngebietes hebt sich als innerörtliche kühle Insel hervor und wirkt zusätzlich begrenzend auf die bebauungsbedingte Überwärmung. Insgesamt überwiegen Lufttemperaturen von 18,0 – 20,0°C. Gegenüber dem angrenzenden Freiraum Roßlache bleibt die mittlere Überwärmung auf ca. 2,0 – 3,0°C begrenzt. Hier führt im südlichen Bereich des Freiraumes die Wärmeabgabe der Wasserflächen der Seen am Freibad Willersinnweiher zu einer etwas weniger markanten Abkühlung.

Im Osten von Oggersheim stellt das Gewerbegebiet Industriestraße eine nahezu geschlossene bauliche Verbindung zu den Stadtteilen Mitte und Nord/Hemshof dar. Über den hochversiegelten Flächen, welche entlang der Industriestraße ein ca. 300 m breites und ca. 3.000 m langes Band bilden, werden Lufttemperaturen bis über 20,0°C gemessen, d.h. etwa 3,0 - 3,5°C höhere Werte als über den sich nördlich und südlich anschließenden Freiräumen. Der Übergang Bebauungen - Freiland ist aufgrund der hohen baulichen Verdichtung stellenweise recht scharf ausgeprägt. So nimmt die Lufttemperatur, ausgehend von der Bahntrasse über die Saarburger und Mannheimer Straße bis zum Heinrich-Pesch-Haus und der Einmündung Wollstraße auf einer Distanz von weniger als 150 m um etwa 2,0°C ab.

Die positiv wirkende Abkühlungsleistung von Grünflächen bzw. von locker durchgrüneten Siedlungsflächen lässt sich anhand der flächig etwas niedrigeren Lufttemperaturen im Bereich des Gesundheitszentrums bzw. der BG Kiinik sowie im Quartier zwischen Schwedlerstraße und Sternstraße westlich des Friedhofs Friesenheim erkennen. Dort bleiben die Lufttemperaturen auf 19,0 – 20,0°C begrenzt. Auffallende Kühlwirkungen sind auch im „Grünverbund“ Ebertpark/Kleingartenanlage/Friedhof Friesenheim sowie am Alwin-Mittasch-Platz, Marienpark und Friedenspark zu erkennen. So werden im Ebertpark mit Werten unter 17,0°C ähnlich niedrige Lufttemperaturen erfasst wie im westlichen Freiraumgefüge.

Die abkühlende Wirkung der städtischen Grünanlagen strahlt auch bei schwachen Luftbewegungen noch in die angrenzenden Baustrukturen aus. Besonders deutlich ist dies im Bereich der Wohnbebauung parallel zu Ebertstraße sowie am Alwin-Mittasch-Park zu erkennen.

Gleiches gilt für die Grünstrukturen zwischen Feierabendhaus der BASF, Gesellschaftshaus der BASF und der Carl-Bosch-Straße. Während im weiteren Umfeld das Temperaturniveau zwischen 21,0°C und 22,0°C liegt, sinken die Werte hier noch unter 20,0°C ab.

Mit Werten von über 22,0°C wird im Zentrum des Stadtteils Nord/Hemshof ein nahezu ähnlich hoher Überwärmungsgrad wie im Stadtteil Mitte verzeichnet. Temperaturen von über 22,0°C stellen sich auf größeren Teilflächen des BASF-Werksareals ein. Die hohen Temperaturen korrespondieren mit dem Versiegelungsgrad. Vor allem die südlichen und mittleren Flächen des Werksgeländes sind nahezu vollständig versiegelt. Im Norden bzw. im Nordosten bewirken neben der weniger dichten Überbauung bei vorherrschenden Winden aus nördlichen Richtungssektoren auch Kaltluftbewegungen aus den Freiräumen Pfingstweide und NSG Wilhelmswörth (Mannheimer Gemarkung) ein niedrigeres Temperaturniveau. Im Westen des BASF-Geländes zeigt sich in Richtung Roßlache ein deutlicher Temperaturkontrast mit Lufttemperaturdifferenzen bis knapp 6,0°C einstellt. Auch hier lässt sich ein deutlicher Bezug zur Strömungsrichtung und -intensität erkennen. Am Stationsstandort BASF S801 werden während der Messfahrten in den Messhöhen 10 m ü. G. und 28 m ü. G. nur geringe nordnordwestliche Windbewegungen mit Geschwindigkeiten zwischen 0,5 - 1,3 m/s bzw. 1,2 – 2,4 m/s (10-Minuten-Mittelwerte) gemessen. Luftmassen aus den angrenzenden kühlen Freiflächen Roßlache können hierbei nicht effektiv in das Werksgelände einströmen. Die Kaltluft neigt im Freiraumgefüge südlich von Oppau vermehrt zu Stagnation.

Im Vergleich zu den angrenzenden Industrieflächen der BASF werden über der Siedlungsfläche des Stadtteils Oppau mit Lufttemperaturen bis 20,6°C um ca. 1,0 – 2,0°C niedrigere Lufttemperaturen gemessen. Zwischen Ortskern und Freiraum Roßlache beträgt der Überwärmungsgrad etwa 3,5 bis 4,0°C. Innerörtliche Differenzierungen zeigen sich insbesondere im Bereich größerer Grünstrukturen. So reicht eine kühle Zone entlang einer zur BASF führenden Gleistrasse (Gewann Doppelbrettchen) fingerartig in den Siedlungskörper und grenzt den sich nordwestlich anschließenden etwas kleinen Stadtteil Edigheim ab. Auffällig ist, dass sich der nördliche Teilbereich von Edigheim und das Siedlungsgebiet Pfingstweide mit Lufttemperaturwerten zwischen 19,0 und 20,0°C weniger überwärmt zeigt als bespw. ein Großteil von Oppau. Dies ist vorwiegend auf die direkte Lagebeziehung zu klimaökologischen Ausgleichsräumen (=Freiräume) zurückzuführen. So können bei den vorherrschenden Winden aus nördlichen Richtungssektoren kühlere Luftmassen aus den Bereichen Klostergarten, Mörschwiese und Rohrlache wirksam werden.

Auch das Gewerbegebiet Nachtweide ist durch die direkte Lagebeziehung zum LSG Nachtweise thermisch eher begünstigt. Trotz hohem Versiegelungsanteil werden nur max. Lufttemperaturen bis 19,3°C erfasst.

Zwischen den Ortsteilen Pfingstweide, Edigheim, Oppau und dem nördlichen Werksgelände der BASF bzw. dem Gewerbegebiet Nachtweide ist ein Freiraumgefüge mit landwirtschaftlicher Nutzung, Kleingartenanlagen, Wasserflächen (Sticklerweiher/Gehlenweiher) und einer Parkfläche (Stadtpark Oppau) eingebettet. Hier zeigen sich trotz der Kammerung des Geländes durch die L 523 ähnlich niedrige Lufttemperaturen wie in der Roßlache südlich von Oppau.

In **Abbildung 27** sind als Ergänzung zur Isothermenkarte die erfassten Lufttemperaturwerte in 0,5°C-Schritten entlang der Messfahrtprofile dokumentiert.

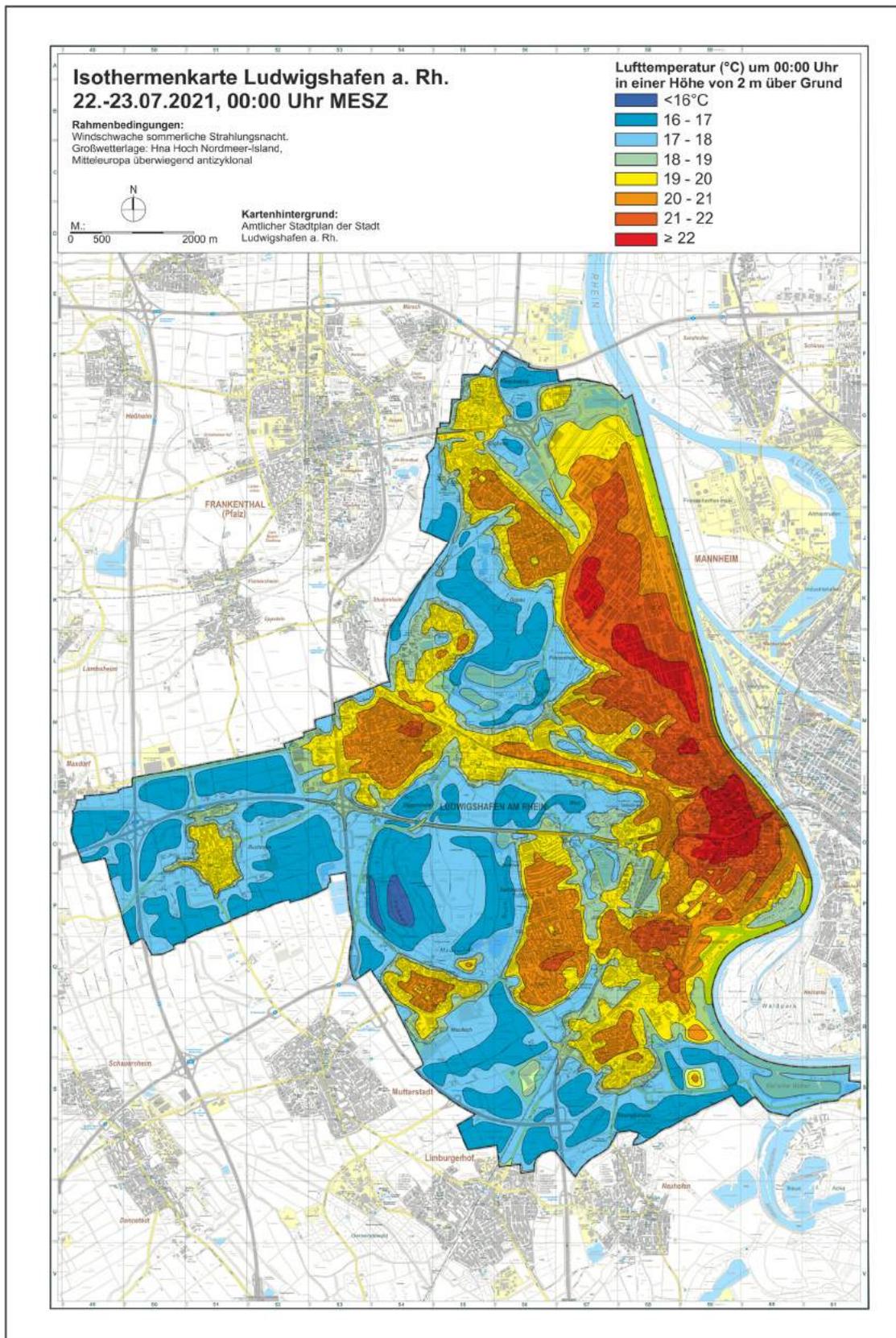


Abbildung 26: Isothermenkarte Ludwigshafen am Rhein vom 22.-23.07.2021 (00:00 Uhr)

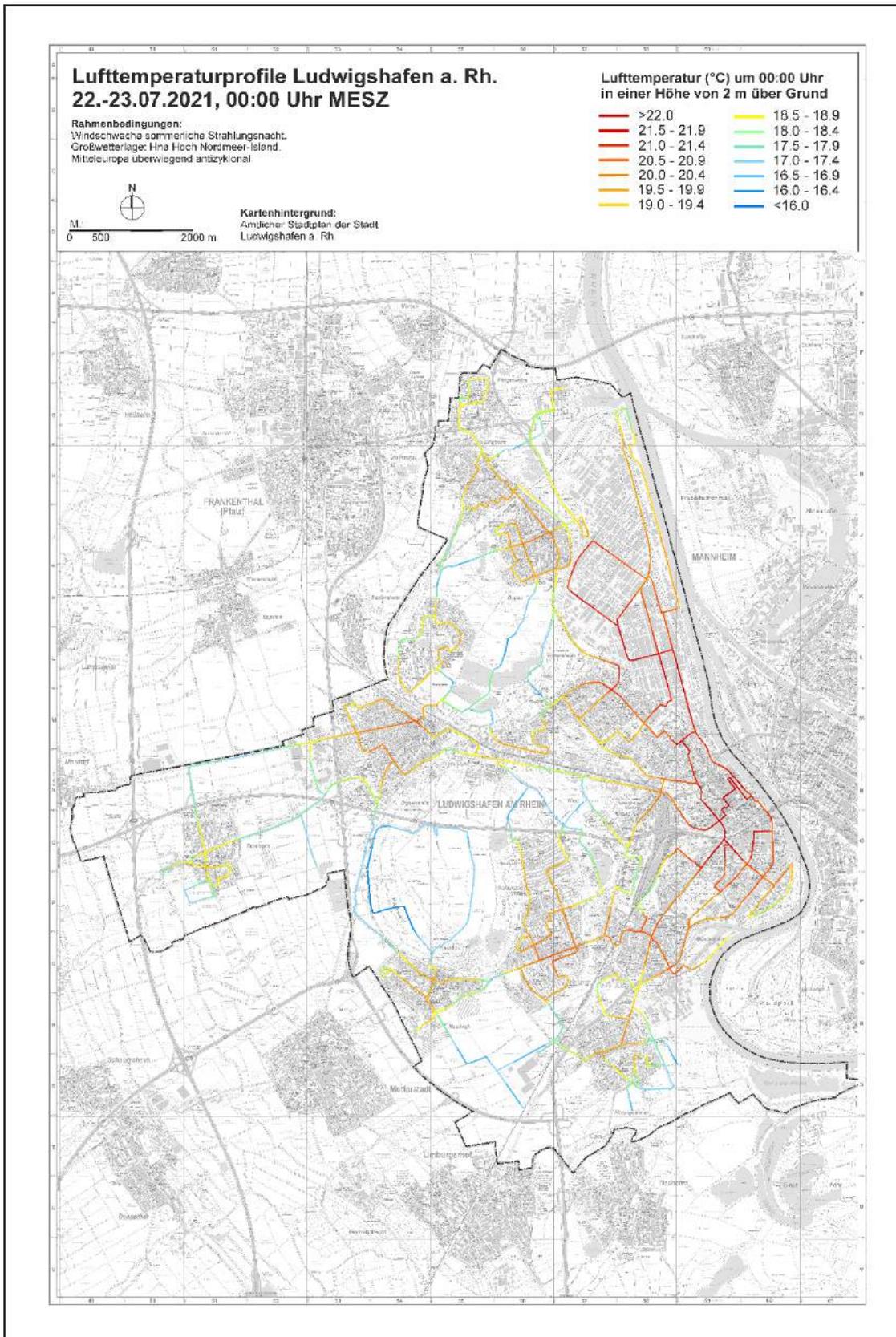


Abbildung 27: Lufttemperaturprofile Ludwigshafen am Rhein vom 22.-23.07.2021 (00:00 Uhr)

4 Schlussbemerkung

Mit den Ergebnissen der Klimamesskampagne Ludwigshafen am Rhein 2021 und der Auswertung von Klimadaten stationärer Messungen liegen aktuelle Lufttemperatur- und Winddaten für das Gesamtstadtgebiet vor. Sie können im Rahmen von planungsbezogenen Detailgutachten herangezogen werden, um als Eingangsdaten für numerische Modellrechnungen zu dienen bzw. um Ergebnisse von Modellrechnungen zu überprüfen.

Ein direkter Vergleich den Messfahrendergebnisse 2021 mit den Lufttemperaturerhebungen von 2000 (ARBEITSGRUPPE „KLIMA – LUFT – LÄRM“ UNIVERSITÄT TRIER 2000) ist aufgrund der unterschiedlichen Herangehensweise der Datenerhebung nur qualitativ möglich.

In Gebieten, wo die Stadtentwicklung seit dem Jahr 2000 fortgeschritten ist, lassen sich damit aber in deutlicher Form thermische Unterschiede erkennen.

So hat die Entwicklung der Wohnbauflächen in Rheingönheim-Süd zwar zu einer Ausdehnung der örtlichen Wärmeinsel geführt, die nächtliche Überwärmung in warmen Sommernächten erreicht durch die lockere Durchgrünung und die Anlage bebauungsinterner Grünachsen aber nicht die Intensität der Bebauung nördlich des Bahnwegs.

Auch die im Wohngebiet Melm westlich der Roßlache gewählten Bau- und Grünstrukturen sind aus klimaökologischer Sicht als günstig einzustufen. Das Wohngebiet verzeichnet eine Vielfalt an unterschiedlichen Mikroklimaten unter Ausschluss von Extremen, was den stadtklimatischen Zielvorstellungen entspricht. Mit Hilfe von bebauungsinternen Grünachsen wird der bodennahe Luftaustausch zwischen dem angrenzenden Freiraumgefüge und dem Wohngebiet unterstützt. Die Ausbildung einer ausgeprägten großflächigen Wärmeinsel unterbleibt.

In den seit 2000 entwickelten bzw. fortentwickelten Gewerbegebietsflächen lassen sich ebenfalls anhand der aktuell erfassten Lufttemperaturdaten Differenzierungen zum Jahr 2000 erkennen.

So hebt sich das Gelände „Joseph Vögele“ südwestlich von Rheingönheim trotz der großflächig versiegelten Flächen nur als vergleichsweise schwach ausgeprägte Wärmeinsel von den angrenzenden Landwirtschaftsflächen ab. Dies weist darauf hin, dass das thermischen Ausgleichspotenzial im Umfeld noch ausreichend ist, um eine deutlichere Überwärmung zu unterbinden.

Als klimatisch wirksam zeigen sich auch die in das Gewerbegebiet Oggersheim-West integrierten Grünachsen, die als Belüftungs- und Kaltluftleitbahnen fungieren. Eine prägnante additive Wärmeinselbildung in Richtung Oggersheim-Zentrum wird unterbunden.

Die genannten Beispiele lassen erkennen, dass bei Beachtung der ortsspezifischen klimaökologischen Funktionsabläufe und Berücksichtigung wirksamer grünordnerischer und baugestalterischer Maßnahmen eine lokalklimatisch verträgliche Stadtentwicklung möglich ist.



.....
gez. Achim Burst (Dipl.-Geogr.)

ÖKOPLANA

Mannheim, Juli 2022

Quellenverzeichnis / weiterführende Schriften

ARBEITSGRUPPE „KLIMA – LUFT – LÄRM“ UNIVERSITÄT TRIER (2000): Klimagutachten 2000 für den Flächennutzungs- / Landschaftsplan der Stadt Ludwigshafen am Rhein.

DEUTSCHER WETTERDIENST (1983): Klimatologische Untersuchungen für den Raum Ludwigshafen-Roßlache. Amtliches Gutachten. Offenbach a. M.

DEUTSCHER WETTERDIENST (1987): Amtliches Gutachten über die klimatischen Auswirkungen der geplanten Änderung des Flächennutzungsplanes für das Teilgebiet 1/4 „Roßlache“, Ludwigshafen. Offenbach a. M.

GEO-NET UMWELTCONSULTING GMBH / ÖKOPLANA (2009): Analyse der klima- und immissionsökologischen Funktionen für das Gebiet der Metropolregion Rhein-Neckar auf Basis einer GIS-gestützten Modellierung von stadtklimatisch und lufthygienisch relevanten Kenngrößen mit dem 3D-Klimamodell FITNAH. Hannover. Mannheim.

GEO-NET UMWELTCONSULTING GMBH / ÖKOPLANA (2021): Stadtklimaanalyse Mannheim 2020. Mannheim.

ÖKOPLANA (1994): Klimaökologische Untersuchung und Ableitung von planerischen Maßnahmen im Rahmen des BMBau-Forschungsprojektes „Ökologische Stadterneuerung des Altbauquartiers Karolina-Burger-Straße“. Mannheim.

ÖKOPLANA (2010): Stadtklimaanalyse Mannheim 2010. Mannheim.

STADT LUDWIGSHAFEN (2016): Luftreinhalteplan Ludwigshafen. Fortschreibung 2016 – 2020. Ludwigshafen a. Rh.

VDI-RICHTLINIE (2003): VDI 3787, Bl. 5. Lokale Kaltluft. Düsseldorf.

VDI-RICHTLINIE (2011 / 2021-ENTWURF): Umweltmeteorologie – Methoden bodengebundener Stadt- und Standortklimamessungen mit mobilen Messsystemen. Düsseldorf.

ZIMMERMANN, R. (1982): Klimawirkungen städtischer Freiräume in Ludwigshafen am Rhein und deren numerischer Zusammenhang mit Flächennutzungsfaktoren. Dissertation an der Univ. Heidelberg.