

Gesamtstädtische Klimaanalyse Gelsenkirchen

**Darstellung und Bewertung
der klimatischen und lufthygienischen Situation
unter zusätzlicher Berücksichtigung des globalen Klimawandels**

- Abschlussbericht -

Durchgeführt im Auftrag der Stadt Gelsenkirchen, Referat Umwelt

vorgelegt von:

Prof. Dr. rer. nat. W. Kuttler

M.Sc. Geogr. M. Mersmann

Dr. rer. nat. A.-B. Barlag

**Universität Duisburg Essen, Campus Essen
Fakultät für Biologie
Angewandte Klimatologie und Landschaftsökologie**

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	X
Kartenverzeichnis	XIII
Abbildungsverzeichnis Anhang	XIV
Tabellenverzeichnis Anhang	XVI
0 Zusammenfassung	1
1 Aufgabenstellung und Einleitung	4
2 Charakterisierung des Untersuchungsgebietes	5
3 Untersuchungsmethodik	9
3.1 Stationäres Messnetz	9
3.1.1 Stationsstandorte	9
3.1.2 Datenaufbereitung	11
3.2 Mobile Messungen	13
3.2.1 Lufttemperaturmessfahrten	14
3.2.2 SF ₆ -Tracerausbreitungskampagnen	14
3.2.3 Lufthygienische Profilmessfahrten	15
3.2.4 Lufthygienische 24 h-Standmessungen	17
4 Repräsentativität des Messzeitraumes	19
4.1 Auftreten der Großwetterlagen	19
4.2 Bestimmung und Auftreten austauscharmer Strahlungstage	21

5	Ergebnisse.....	23
5.1	Lufttemperatur.....	23
5.1.1	Charakteristika der punktuellen Lufttemperaturverteilung.....	24
5.1.1.1	<i>Mittleres Temperaturniveau im Untersuchungs-</i> <i>gebiet.....</i>	24
5.1.1.2	<i>Klimatologische Ereignistage.....</i>	27
5.1.1.3	<i>Unterschiede im Tagesgang der Lufttemperatur.....</i>	29
5.1.1.4	<i>Intensität der Wärmeinsel zwischen Stadt und</i> <i>Umland.....</i>	31
5.1.2	Charakteristika der flächenhaften Lufttemperaturverteilung.....	34
5.1.3	Vergleich der punktuellen und flächenhaften Lufttemperatur- verteilungen.....	37
5.2	Luftfeuchtigkeit.....	39
5.3	Windverhältnisse.....	43
5.3.1	Durchschnittliche Windverhältnisse.....	43
5.3.2	Häufigkeiten verschiedener Windrichtungen.....	45
5.3.3	Tages- und Jahresgang der Windgeschwindigkeit.....	48
5.3.4	Auftreten von Schwachwinden.....	50
5.4	Nachweis bodennaher Kaltluftdynamik.....	53
5.4.1	Untersuchungsgebiet Eckerresse.....	53
5.4.2	Untersuchungsgebiet Hegefeld.....	56
5.4.3	Untersuchungsgebiet Horst.....	58
5.5	Human-biometeorologische Verhältnisse.....	60
5.6	Luftqualität im Straßenraum.....	65
5.7	Tagesabhängigkeit der Luftqualität in verschiedenen Stadt- quartieren.....	75
5.7.1	Standort Sternschule (Altstadt).....	75
5.7.2	Standort Schloß Horst.....	84
5.7.3	Standort Resse.....	91
5.7.4	Standort Buer.....	100
5.8	Zusammenfassende Bewertung der klimatischen und lufthygie- nischen Ergebnisse.....	108
5.8.1	Bewertung der klimatischen Situation.....	108
5.8.2	Bewertung der lufthygienischen Situation.....	113

6	Die Stadt Gelsenkirchen im Zeichen des globalen Klimawandels	118
6.1	Globaler Klimawandel	118
6.2	Auswirkungen des globalen Klimawandels auf das Ruhrgebiet.....	121
6.3	Beobachtungen zum Klimawandel in Gelsenkirchen	124
7	Synthetische Klimafunktionskarte	130
7.1	Darstellungsebenen der Synthetischen Klimafunktionskarte	131
7.1.1	Klimatope	132
7.1.2	Klimatische Funktionen	135
7.1.3	Lufthygienische Verhältnisse.....	137
7.2	Klimatisch-lufthygienische Gliederung des Untersuchungsgebietes Gelsenkirchen in der Synthetischen Klimafunktionskarte.....	137
8	Planungshinweiskarte.....	143
8.1	Darstellungsebenen der Planungshinweiskarte	143
8.2	Gliederung der Stadt Gelsenkirchen anhand der Planungshin- weiskarte	144
8.2.1	Planräume	144
8.2.2	Planungshinweise	147
9	Literatur	153
	Anhang	158

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Stadtbezirke im Untersuchungsgebiet Gelsenkirchen (http://stadtplanung.gelsenkirchen.de/02_Projekte_Stadtbezirke/default.asp)	6
Abb. 2:	Aufbau einer Klimafeststation	10
Abb. 3:	Relative Häufigkeit der Großwettertypen für den Messzeitraum 01.03.2010 bis 28.02.2011 im Vergleich zum langjährigen Mittel von 1881 bis 2009	20
Abb. 4:	Relative Häufigkeit der Zirkulationsformen und des Witterungscharakters für den Messzeitraum 01.03.2010 bis 28.02.2011 im Vergleich zum langjährigen Mittel von 1881 bis 2009	20
Abb. 5:	Monatliche Verteilung der Strahlungstage für die Stadt Gelsenkirchen innerhalb der Messperiode vom 01.03.2010 bis 28.02.2011	22
Abb. 6:	Abweichung der jahreszeitlich gemittelten Lufttemperaturamplitude ($\Delta t_{(Amp)}$) und den Lufttemperaturmittelwerten ($\Delta t_{(mit)}$) der Klimafeststationen im Gelsenkirchener Untersuchungsgebiet vom Gebietsmittelwert (Messzeitraum: 01.03.2010 bis 28.02.2011)	26
Abb. 7:	Vergleich der durchschnittlichen Tagesgänge der Lufttemperatur im Gesamtzeitraum sowie an autochthonen Tagen im Gelsenkirchener Untersuchungsgebiet (Messzeitraum: 01.03.2010 bis 28.02.2011)	30
Abb. 8:	Mittlere Tagesgänge der Wärmeinselintensität (K) zwischen der Stadtstation Altstadt (Station 2) und der Umlandstation Sutumer Feld (Station 4) differenziert nach Jahreszeiten (Messzeitraum: 01.03.2010 bis 28.02.2011)	33
Abb. 9:	Mittlere Isoplethen der Wärmeinselintensität (K) anhand der Temperaturdifferenz zwischen den Standorten Altstadt (Station 2) und Sutumer Feld (Station 4) (Messzeitraum: 01.03.2010 bis 28.02.2011)	33
Abb. 10:	Profildarstellung der mittleren Temperaturanomalie auf Basis der nächtlichen Lufttemperaturmessfahrten am 06./07.04.2010 (21:00 – 01:55 MEZ) und 14./15.10.2010 (21:55 – 03:15 MEZ)	35
Abb. 11:	Vergleich der durchschnittlichen Tagesgänge der relativen Luftfeuchtigkeit im Gesamtzeitraum sowie an autochthonen Tagen im Gelsenkirchener Untersuchungsgebiet (Messzeitraum: 01.03.2010 bis 28.02.2011)	40

Abb. 12: Dampfdruck e und Dampfdruckdifferenz Δe der Standorte Altstadt (Station 2) und Sutumer Feld (Station 4) für den Zeitraum vom 31.08.2010 bis 05.09.2010.....	42
Abb. 13: Häufigkeit des Auftretens verschiedener Windrichtungen für den Gesamtzeitraum und die autochthonen Tage im Gelsenkirchener Untersuchungsgebiet sowie an der Umlandstation Harscheidweg in Essen (Messzeitraum: 01.03.2010 bis 28.02.2011).....	47
Abb. 14: Mittlerer Tagesgang der Windgeschwindigkeit im Gelsenkirchener Untersuchungsgebiet (Messzeitraum: 01.03.2010 bis 28.02.2011).....	49
Abb. 15: Mittlerer Jahresgang der Windgeschwindigkeit im Gelsenkirchener Untersuchungsgebiet (Messzeitraum: 01.03.2010 bis 28.02.2011).....	49
Abb. 16: Kumulative Häufigkeiten der Windgeschwindigkeiten im Untersuchungsgebiet Gelsenkirchen (Messzeitraum: 01.03.2010 bis 28.02.2011).....	51
Abb. 17: Jahresgänge der relativen Häufigkeiten von Schwachwindstunden im Untersuchungsgebiet Gelsenkirchen (Messzeitraum: 01.03.2010 bis 28.02.2011).....	52
Abb. 18: Fisheye-Aufnahmen der fünf Stationsstandorte im Gelsenkirchener Untersuchungsgebiet mit Angabe der durch „RayMan Pro“ berechneten Horizonteinschränkung (Sky View Factor, SVF).....	61
Abb. 19: Mittlerer Tagesgang der PET-Werte an den verschiedenen Stationen im Gelsenkirchener Untersuchungsgebiet (Datenbasis: Stundenmittelwerte der 32 sommerlichen Strahlungstage).....	64
Abb. 20: Durchschnittliche CO- (mg m^{-3}), NO-, NO ₂ -, O ₃ - und PM ₁₀ -Konzentrationen ($\mu\text{g m}^{-3}$) entlang unterschiedlicher Straßentypen und Flächennutzungen (Datenbasis: Streckenabschnittswerte der lufthygienischen Messfahrten vom 23.03.2010 (09:32 – 14:24 MEZ), 16.04.2010 (08:47 – 13:50 MEZ) und 10.01.2011 (10:30 – 14:57 MEZ)).....	67
Abb. 21: Tagesgang der CO- und NO-Konzentrationen während der 36 h-Standmessung am Standort Sternschule (Messzeitraum: 22.06.2010 11:00 MEZ bis 23.06.2010 23:00 MEZ; Datenbasis: 10 min-Mittelwerte).....	80
Abb. 22: Tagesgang der NO ₂ - und O ₃ -Konzentrationen während der 36 h-Standmessung am Standort Sternschule (Messzeitraum: 22.06.2010 11:00 MEZ bis 23.06.2010 23:00 MEZ; Datenbasis: 10 min-Mittelwerte).....	80

Abb. 23: Tagesgang des NO/NO ₂ -Verhältnisses und der CO ₂ -Konzentration während der 36 h-Standmessung am Standort Sternschule (Messzeitraum: 22.06.2010 11:00 MEZ bis 23.06.2010 23:00 MEZ; Datenbasis: 10 min-Mittelwerte).....	81
Abb. 24: Tagesgang der PM _x -Konzentrationen während der 36 h-Standmessung am Standort Sternschule (Messzeitraum: 22.06.2010 11:00 MEZ bis 23.06.2010 23:00 MEZ; Datenbasis: 10 min-Mittelwerte).....	81
Abb. 25: Tagesgang der BETX-Konzentrationen und des Toluol/Benzol-Verhältnisses während der 36 h-Standmessung am Standort Sternschule (Messzeitraum: 22.06.2010 11:00 MEZ bis 23.06.2010 23:00 MEZ; Datenbasis: Stundenmittelwerte).....	82
Abb. 26: Mittlere Massenflussdichte der verschiedenen Spurenstoffe und Partikelgrößenfraktionen während der 36 h-Standmessung am Standort Sternschule (Altstadt) (Messzeitraum: 22.06.2010 11:00 MEZ bis 23.06.2010 23:00 MEZ Datenbasis: 1 min-Mittelwerte).....	83
Abb. 27: Tagesgang der CO- und NO-Konzentrationen während der 24 h-Standmessung am Standort Schloß Horst (Messzeitraum: 19.07.2010 23:00 MEZ bis 20.07.2010 23:00 MEZ; Datenbasis: 10 min-Mittelwerte).....	88
Abb. 28: Tagesgang der NO ₂ - und O ₃ -Konzentrationen während der 24 h-Standmessung am Standort Schloß Horst (Messzeitraum: 19.07.2010 23:00 MEZ bis 20.07.2010 23:00 MEZ; Datenbasis: 10 min-Mittelwerte).....	88
Abb. 29: Tagesgang des NO/NO ₂ -Verhältnisses und der CO ₂ -Konzentrationen während der 24 h-Standmessung am Standort Schloß Horst (Messzeitraum: 19.07.2010 23:00 MEZ bis 20.07.2010 23:00 MEZ; Datenbasis: 10 min-Mittelwerte).....	89
Abb. 30: Tagesgang der PM _x -Konzentrationen während der 24 h-Standmessung am Standort Schloß Horst (Messzeitraum: 19.07.2010 23:00 MEZ bis 20.07.2010 23:00 MEZ; Datenbasis: 10 min-Mittelwerte).....	89
Abb. 31: Tagesgang der BETX-Konzentrationen und des Toluol/Benzol-Verhältnisses während der 24 h-Standmessung am Standort Schloß Horst (Messzeitraum: 19.07.2010 23:00 MEZ bis 20.07.2010 23:00 MEZ; Datenbasis: Stundenmittelwerte).....	90

Abb. 32: Mittlere Massenflussdichte der verschiedenen Spurenstoffe und Partikelgrößenfraktionen während der 24 h-Standmessung am Standort Schloß Horst (Messzeitraum: 19.07.2010 23:00 MEZ bis 20.07.2010 23:00 MEZ Datenbasis: 1 min-Mittelwerte)	91
Abb. 33: Tagesgang der NO- und CO-Konzentrationen während der 24 h-Standmessung am Standort Resse (Messzeitraum: 21.09.2010 23:00 MEZ bis 22.09.2010 23:00 MEZ; Datenbasis: 10 min-Mittelwerte)	96
Abb. 34: Tagesgang der NO ₂ - und O ₃ -Konzentrationen während der 24 h-Standmessung am Standort Resse (Messzeitraum: 21.09.2010 23:00 MEZ bis 22.09.2010 23:00 MEZ; Datenbasis: 10 min-Mittelwerte)	96
Abb. 35: Tagesgang des NO/NO ₂ -Verhältnisses und der CO ₂ -Konzentrationen während der 24 h-Standmessung am Standort Resse (Messzeitraum: 21.09.2010 23:00 MEZ bis 22.09.2010 23:00 MEZ; Datenbasis: 10 min-Mittelwerte)	97
Abb. 36: Tagesgang der PM _x -Konzentrationen während der 24 h-Standmessung am Standort Resse (Messzeitraum: 21.09.2010 23:00 MEZ bis 22.09.2010 23:00 MEZ; Datenbasis: 10 min-Mittelwerte)	97
Abb. 37: Tagesgang der BETX-Konzentrationen während der 24 h-Standmessung am Standort Resse (Messzeitraum: 21.09.2010 23:00 MEZ bis 22.09.2010 23:00 MEZ; Datenbasis: Studienmittelwerte)	98
Abb. 38: Mittlere Massenflussdichte der verschiedenen Spurenstoffe und Partikelgrößenfraktionen während der 24 h-Standmessung am Standort Resse (Messzeitraum: 21.09.2010 23:00 MEZ bis 22.09.2010 23:00 MEZ; Datenbasis: 1 min-Mittelwerte)	99
Abb. 39: Tagesgang der NO- und CO-Konzentrationen während der 27 h-Standmessung am Standort Buer (Messzeitraum: 31.01.2011 17:00 MEZ bis 01.02.2011 20:00 MEZ; Datenbasis: 10 min-Mittelwerte)	104
Abb. 40: Tagesgang der NO ₂ - und O ₃ -Konzentrationen während der 27 h-Standmessung am Standort Buer (Messzeitraum: 31.01.2011 17:00 MEZ bis 01.02.2011 20:00 MEZ; Datenbasis: 10 min-Mittelwerte)	104
Abb. 41: Tagesgang des NO/NO ₂ -Verhältnisses und der CO ₂ -Konzentrationen während der 27 h-Standmessung am Standort Buer (Messzeitraum: 31.01.2011 17:00 MEZ bis 01.02.2011 20:00 MEZ; Datenbasis: 10 min-Mittelwerte)	105

Abb. 42: Tagesgang der PM _x -Konzentrationen während der 27 h-Standmessung am Standort Buer (Messzeitraum: 31.01.2011 17:00 MEZ bis 01.02.2011 20:00 MEZ; Datenbasis: 10 min-Mittelwerte) ..	105
Abb. 43: Tagesgang der BETX-Konzentrationen während der 27 h-Standmessung am Standort Buer (Messzeitraum: 31.01.2011 17:00 MEZ bis 01.02.2011 20:00 MEZ; Datenbasis: 10 min-Mittelwerte) ..	106
Abb. 44: Mittlere Massenflussdichte der verschiedenen Spurenstoffe und Partikelgrößenfraktionen während der 27 h-Standmessung am Standort Buer (Messzeitraum: 31.01.2011 17:00 MEZ bis 01.02.2011 20:00 MEZ; Datenbasis: 1 min-Mittelwerte) ..	107
Abb. 45: Darstellung der simulierten globalen Erwärmung an der Erdoberfläche für verschiedene Szenarien im Vergleich zum Bezugszeitraum 1980-99 (verändert nach IPCC 2007) ..	120
Abb. 46: Globale Projektion der Veränderung der Erdoberflächentemperatur für das frühe und späte 21. Jahrhundert im Vergleich zum Bezugszeitraum 1980-99 (verändert nach IPCC 2007) ..	121
Abb. 47: Simulierte relative Veränderung der globalen Niederschlagssummen für die letzte Dekade des 21. Jahrhunderts (2090-99) im Vergleich zum Bezugszeitraum 1980-99 differenziert nach Sommer- und Wintermonaten ..	121
Abb. 48: Differenz der Jahresmitteltemperaturen im Ruhrgebiet zwischen den Dekaden 1991-2000 und 2051-2060 von vier verschiedenen regionalen Klimamodellen basierend auf dem Emissionsszenario A1B des IPCC (verändert nach MUNLV 2010) ..	123
Abb. 49: Prozentuale Differenz der Jahresniederschlagssummen im Ruhrgebiet zwischen den Dekaden 1991-2000 und 2051-2060 von verschiedenen regionalen Klimamodellen basierend auf dem Emissionsszenario A1B des IPCC (verändert nach MUNLV 2010) ..	124
Abb. 50: Mittlere Verhältnisse der Monatsmitteltemperaturen und –niederschlagssummen an der Wetterstation Max-Planck-Gymnasium in Buer bezogen auf den Zeitraum 1968-2010 ..	125
Abb. 51: Entwicklung der Jahresmitteltemperaturen und –niederschlagssummen sowie deren lineare Trends an der Wetterstation Max-Planck-Gymnasium in Buer für den Zeitraum 1968-2010 ..	126
Abb. 52: Nach Jahreszeiten differenzierte Entwicklung der mittleren Lufttemperatur sowie deren lineare Trends an der Wetterstation Max-Planck-Gymnasium in Buer für den Zeitraum 1968-2010 ..	127

- Abb. 53: Nach Jahreszeiten differenzierte Entwicklung der mittleren Niederschlagssumme sowie deren lineare Trends an der Wetterstation Max-Planck-Gymnasium in Buer für den Zeitraum 1968-2010.....127
- Abb. 54: Temperatur- und Niederschlagsveränderung im Vergleich der letzten (2001-10) zur ersten (1971-80) vollständigen Dekade des Untersuchungszeitraums 1968-2010 an der Wetterstation Max-Planck-Gymnasium in Buer128

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Absoluter und prozentualer Anteil der Flächennutzung an der Gesamtfläche des Stadtgebietes von Gelsenkirchen (Stand: 2009, Datengrundlage: Freiflächenmonitoring der Stadt Gelsenkirchen).....	7
Tab. 2:	Prozentualer Anteil der Emittentengruppen an den Gesamtemissionen im Stadtgebiet Gelsenkirchen (Stand 2004, LANUV 2011a)	8
Tab. 3:	Lage, Charakteristika und Messgrößen der Klimafeststationen im Untersuchungsgebiet.....	10
Tab. 4:	Übersicht der Datenverfügbarkeit des Gelsenkirchener Stationsmessnetzes bezogen auf die Stundenmittelwerte des Messzeitraums vom 01.03.2010 bis 28.02.2011	12
Tab. 5:	Übersicht der zur Datenergänzung verwendeten Stationen und den jeweiligen Bestimmtheitsmaßen (r^2) sowie der Verfügbarkeit nach Datenergänzung	12
Tab. 6:	Übersicht der mobilen Untersuchungsmethoden, Messgrößen, Termine und vorherrschenden Wetterlage	13
Tab. 7:	Analysemethoden und Nachweisgrenzen des mobilen Messlabors.....	16
Tab. 8:	Charakteristika der LUQS-Vergleichsstationen (LANUV 2011c).....	16
Tab. 9:	Definition der Pasquill'schen Diffusionskategorien nach Polster (1969) auf Basis der Strahlungsbilanz (Q) und der Windgeschwindigkeit (v)	21
Tab. 10:	Arithmetischer Mittelwert der Lufttemperatur (\bar{t}), sowie die absoluten Lufttemperaturminima ($t_{(\min)}$) und –maxima ($t_{(\max)}$) während des Gesamtzeitraums und für die autochthonen Tage (Messzeitraum: 01.03.2010 bis 28.02.2011; Basis: Stundenmittelwerte)	24
Tab. 11:	Anzahl klimatologischer Ereignistage an den Klimafeststationen im Stadtgebiet von Gelsenkirchen (Messzeitraum: 01.03.2010 bis 28.02.2011).....	28
Tab. 12:	Arithmetischer Mittelwert der relativen Luftfeuchtigkeit (\overline{rF}), sowie die absoluten Minima der relativen Luftfeuchtigkeit ($rF_{(\min)}$) während des Gesamtzeitraums und für die autochthonen Tage (Messzeitraum: 01.03.2010 bis 28.02.2011; Basis: Stundenmittelwerte)	39

Tab. 13: Statistische Angaben zur Dampfdruckdifferenz Δe zwischen Altstadt (Station 2) und Sutumer Feld (Station 4) sowie die Häufigkeit des Auftretens des UME-Effektes	42
Tab. 14: Statistische Angaben zur Windgeschwindigkeit und Windrichtungshäufigkeit im Gelsenkirchener Untersuchungsgebiet (Messzeitraum: 01.03.2010 bis 28.02.2011).....	44
Tab. 15: Schwachwindhäufigkeit und maximale Andauer der Schwachwindepisoden im Untersuchungsgebiet Gelsenkirchen (Messzeitraum: 01.03.2010 bis 28.02.2011)	51
Tab. 16: Klassifizierung der PET-Werte anhand des thermischen Empfindens und der entsprechenden thermophysiologischen Belastungsstufen (verändert nach Matzarakis et al. 1999)	62
Tab. 17: Übersicht der statistischen Kennwerte der Physiologisch äquivalenten Temperatur (PET) im Gelsenkirchener Untersuchungsgebiet (Datenbasis: Stundenmittelwerte der 32 sommerlichen Strahlungstage)	63
Tab. 18: Mittlere Konzentrationen von NO, NO ₂ , O ₃ sowie PM ₁₀ an den LUQS-Stationen GELS und BOTT bezogen auf den Zeitraum der lufthygienischen Messfahrten im Untersuchungsgebiet Gelsenkirchen	65
Tab. 19: Statistische Angaben für NO, NO ₂ , O ₃ sowie PM ₁₀ am Messpunkt Sternschule im Vergleich zur Situation an den umliegenden LUQS-Stationen (Messzeitraum: 22.06.2010 11:00 MEZ bis 23.06.2010 23:00 MEZ).....	82
Tab. 20: Statistische Angaben für NO, NO ₂ , O ₃ und PM ₁₀ am Messpunkt Schloß Horst im Vergleich zur Situation an den umliegenden LUQS-Stationen (Messzeitraum: 19.07.2010 23:00 MEZ bis 20.07.2010 23:00 MEZ).....	90
Tab. 21: Statistische Angaben für NO, NO ₂ , O ₃ und PM ₁₀ am Standort Resse im Vergleich zur Situation an den umliegenden LUQS-Stationen (Messzeitraum: 21.09.2010 23:00 MEZ bis 22.09.2010 23:00 MEZ).....	98
Tab. 22: Statistische Angaben für NO, NO ₂ , O ₃ und PM ₁₀ am Standort Buer im Vergleich zur Situation an den umliegenden LUQS-Stationen (Messzeitraum: 31.01.2011 17:00 MEZ bis 01.02.2011 20:00 MEZ).....	106
Tab. 23: Bewertungsgrenzen verschiedener klimatologischer Kennwerte basierend auf den 33,3- und 66,6-Perzentilen der jeweiligen Größen im Untersuchungsgebiet Gelsenkirchen	109

Tab. 24: Bewertung der thermischen, austauschrelevanten und humanbiometeorologischen Verhältnisse im Gelsenkirchener Untersuchungsgebiet.....	111
Tab. 25: Statistische Angaben der über drei Messfahrten (23.03.2010, 16.04.2010, 10.01.2011) gemittelten Streckenabschnittswerte von CO, NO, NO ₂ und PM ₁₀	113
Tab. 26: Statistische Angaben der Konzentrationen von CO, NO, NO ₂ und PM ₁₀ während der vier lufthygienischen Standmessungen sowie der jeweilige aus Grenzwertüberschreitungen resultierende Immissionsindex	114

Kartenverzeichnis

Karte 1: Übersicht über die Lage der Feststationen und mobilen Mess-einsätze im Untersuchungsgebiet Gelsenkirchen (Messzeitraum: 01.03.2010 – 28.02.2011).....	18
Karte 2: Anomalie der nächtlichen Lufttemperaturverteilung im Unter-suchungsgebiet Gelsenkirchen auf Basis der Messfahrten am 06./07.04 (21:00 – 01:55 MEZ) und 13./14.10.2010 (21:55 – 03:15 MEZ).....	36
Karte 3: Kaltluftausbreitung der SF6-Tracergaskampagne am 24./25.04. 2010 im Untersuchungsgebiet GE-Eckerresse.....	55
Karte 4: Kaltluftausbreitung der SF6-Tracergaskampagne am 04./05.06. 2010 im Untersuchungsgebiet GE-Hegefeld.....	57
Karte 5: Kaltluftausbreitung der SF6-Tracergaskampagne am 19./20.07. 2010 im Untersuchungsgebiet GE-Horst.....	59
Karte 6: CO-Streckenabschnittswerte der lufthygienischen Mess-fahrten im Untersuchungsgebiet Gelsenkirchen.....	70
Karte 7: NO-Streckenabschnittswerte der lufthygienischen Mess-fahrten im Untersuchungsgebiet Gelsenkirchen.....	71
Karte 8: NO ₂ -Streckenabschnittswerte der lufthygienischen Mess-fahrten im Untersuchungsgebiet Gelsenkirchen.....	72
Karte 9: O ₃ -Streckenabschnittswerte der lufthygienischen Mess-fahrten im Untersuchungsgebiet Gelsenkirchen.....	73
Karte 10: PM ₁₀ -Streckenabschnittswerte der lufthygienischen Mess-fahrten im Untersuchungsgebiet Gelsenkirchen.....	74
Karte 11: Übersichtskarte und Windrose der 36 h-Standmessung am Standort Sternschule (Altstadt) vom 22./23.06.2010.....	76
Karte 12: Übersichtskarte und Windrose der 24 h-Standmessung am Standort Schloß Horst vom 19./20.07.2010.....	85
Karte 13: Übersichtskarte und Windrose der 24 h-Standmessung am Standort Resse vom 21./22.09.2010.....	93
Karte 14: Übersichtskarte und Windrose der 27 h-Standmessung am Standort Buer vom 31.01./01.02.2011.....	101
Karte 15: Immissionsindex der Streckenabschnittswerte der lufthy-gienischen Messfahrten sowie der Standorte der lufthygie-nischen Standmessung im Untersuchungsgebiet Gelsenkirchen....	117
Karte 16: Synthetische Klimafunktionskarte der Stadt Gelsenkirchen.....	142
Karte 17: Planungshinweiskarte der Stadt Gelsenkirchen.....	152

Abbildungsverzeichnis Anhang

Abb. A1: Prozentuale Veränderung der Flächennutzung der Stadt Gelsenkirchen zwischen den Jahren 1969 und 2009 (Datengrundlage: Freiflächenmonitoring der Stadt Gelsenkirchen)	159
Abb. A2: Großwettertypenzuordnung der Strahlungstage für die Stadt Gelsenkirchen innerhalb der Messperiode vom 01.03.2010 bis 28.02.2011	159
Abb. A3: Kumulative Häufigkeit (%) der Temperaturdifferenzen zwischen den Stationen Buer, Altstadt, Hassel sowie Nordsternpark und der Station Sutumer Feld (Messzeitraum: 01.03.2010 bis 28.02.2011).....	160
Abb. A4: Streckenverlauf der Temperaturanomalien der drei nächtlichen Temperaturmessfahrten am 06./07.04.2010 (21:00 – 01:55 MEZ), 24./25.06.2010 (22:20 – 02:35 MEZ) und 14./15.10.2010 (21:55 – 03:15 MEZ) im Vergleich.....	161
Abb. A5: Korrektur der Lufttemperaturmessfahrt vom 06./07.04.2010 (21:00 – 01:55 MEZ) im Untersuchungsgebiet der Stadt Gelsenkirchen anhand linearer Regression	162
Abb. A6: Korrektur der Lufttemperaturmessfahrt vom 14./15.10.2010 (21:55 – 03:15 MEZ) im Untersuchungsgebiet der Stadt Gelsenkirchen anhand linearer Regression	162
Abb. A7: Häufigkeitsverteilung der thermophysiologischen Belastungsstufen an den fünf Klimastationen im Untersuchungsgebiet Gelsenkirchen bezogen auf das Gesamtkollektiv und differenziert nach Tag- und Nachtstunden (Datenbasis: Stundenmittelwerte der 32 sommerlichen Strahlungstage).....	163
Abb. A8: Massenflussdichtedosen der verschiedenen Spurenstoffe und Partikelgrößenfraktionen während der 36 h-Standmessung am Standort Sternschule (Altstadt) (Messzeitraum: 22.06.2010 11:00 MEZ bis 23.06.2010 23:00 MEZ; Datenbasis: 1 min-Mittelwerte)	164
Abb. A9: Massenflussdichtedosen der verschiedenen Spurenstoffe und Partikelgrößenfraktionen während der 24 h-Standmessung am Standort Schloß Horst (Messzeitraum: 19.07.2010 23:00 MEZ bis 20.07.2010 23:00 MEZ; Datenbasis: 1 min-Mittelwerte).....	165

Abb. A10: Massenflussdichtedosen der verschiedenen Spurenstoffe und Partikelgrößenfraktionen während der 24 h-Standmessung am Standort Resse (Messzeitraum: 21.09.2010 23:00 MEZ bis 22.09.2010 23:00 MEZ; Datenbasis: 1 min-Mittelwerte)	166
Abb. A11: Massenflussdichtedosen der verschiedenen Spurenstoffe und Partikelgrößenfraktionen während der 27 h-Standmessung am Standort Buer (Messzeitraum: 31.01.2011 17:00 MEZ bis 01.02.2011 20:00 MEZ; Datenbasis: 1 min-Mittelwerte)	167
Abb. A12: Prozentuale Anteile der jeweiligen Immissionsindex-Werte für die verschiedenen Straßentypen	168
Abb. A13: Vergleich der Lufttemperaturverhältnisse an den Klimafeststationen Buer und Sutumer Feld während der beiden Messperioden Nov 1998 – Okt 1999 und Mrz 2010 – Feb 2011	168

Tabellenverzeichnis Anhang

Tab. A1: Prozentualer Anteil der Flächennutzung an der Gesamtfläche der Stadtbezirke bzw. -teile (Stand: 2009, Datengrundlage: Freiflächenmonitoring der Stadt Gelsenkirchen)	169
Tab. A2: Relative Häufigkeit der Großwetterlagen im Messzeitraum vom 01.03.2010 bis 28.02.2011 (nach Deutscher Wetterdienst 2010/11) im Vergleich zum langjährigen Mittel von 1881 bis 2009 (nach Gerstengarbe u. Werner 2010)	170
Tab. A3: Mittlere Windgeschwindigkeit (m s^{-1}) an der Umlandstation Sutumer Feld (Station 4) während austauscharmer Strahlungstage (Messzeitraum: 01.03.2010 – 28.02.2011).....	171
Tab. A4: Arithmetischer Mittelwert der Lufttemperatur (\bar{t}), absolute Lufttemperaturminima ($t_{(\text{min})}$) und –maxima ($t_{(\text{max})}$) für die Jahreszeiten und die einzelnen Monate des Untersuchungszeitraums (Messzeitraum: 01.03.2010 – 28.02.2011; Datengrundlage: Stundenmittelwert)	172
Tab. A5: Mittlere tägliche Wärmeinselintensität (K) anhand der Temperaturdifferenz zwischen der Stadtstation Buer (Station 1) und der Umlandstation Sutumer Feld (Station 4) im Untersuchungsgebiet Gelsenkirchen (Messzeitraum: 01.03.2010 bis 28.02.2011).....	173
Tab. A6: Mittlere tägliche Wärmeinselintensität (K) anhand der Temperaturdifferenz zwischen der Stadtstation Altstadt (Station 2) und der Umlandstation Sutumer Feld (Station 4) im Untersuchungsgebiet Gelsenkirchen (Messzeitraum: 01.03.2010 bis 28.02.2011).....	173
Tab. A7: Mittlere tägliche Wärmeinselintensität (K) anhand der Temperaturdifferenz zwischen der Vorortstation Hassel (Station 3) und der Umlandstation Sutumer Feld (Station 4) im Untersuchungsgebiet Gelsenkirchen (Messzeitraum: 01.03.2010 bis 28.02.2011).....	174
Tab. A8: Mittlere tägliche Wärmeinselintensität (K) anhand der Temperaturdifferenz zwischen der Parkstation Nordsternpark (Station 5) und der Umlandstation Sutumer Feld (Station 4) im Untersuchungsgebiet Gelsenkirchen (Messzeitraum: 01.03.2010 bis 28.02.2011).....	174

Tab. A9: Übersicht der gesetzlichen Grenz- und Schwellenwerte nach 39. BImSchV sowie die nach VDI-Richtlinien empfohlenen maximalen Immissionskonzentrationen (MIK) der untersuchten Spurenstoffe und Partikelgrößenfraktionen (verändert nach LANUV 2010).....	175
---	-----

0 Zusammenfassung

Die Angewandte Klimatologie und Landschaftsökologie der Universität Duisburg-Essen wurde mit Vertrag vom 14./17.12.2009 durch das Referat Umwelt der Stadt Gelsenkirchen zur Aktualisierung der aus dem Jahre 2000 vorliegenden **Gesamtstädtischen Klimaanalyse Gelsenkirchen** mit stadtklimatologischen und lufthygienischen Messungen beauftragt. Innerhalb der einjährigen Messperiode vom 01.03.2010 bis 28.02.2011 wurden an fünf Klimafeststationen die meteorologischen Standardgrößen Lufttemperatur, relative Luftfeuchtigkeit sowie Windgeschwindigkeit und –richtung kontinuierlich erfasst. Zudem wurden jeweils drei Temperatur- und Lufthygienische Messfahrten sowie vier lufthygienische 24 h-Standmessungen und drei Tracerausbereitungskampagnen zur Bestimmung lokaler Kaltluftdynamik durchgeführt. Die Auswahl der Standorte, Untersuchungsgebiete und Messrouten erfolgte in enger Absprache mit dem Auftraggeber. Auf Basis der Messergebnisse sowie anhand der aktuellen Flächennutzung und Geländebeschaffenheit im Gelsenkirchener Stadtgebiet wurden eine aktualisierte **Synthetische Klimafunktionskarte** und **Planungshinweiskarte** erstellt.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse der stationären und mobilen Messungen einen deutlichen Einfluss der Bebauung auf die klimatischen Verhältnisse innerhalb des Stadtgebietes von Gelsenkirchen:

Insbesondere bezüglich der **Lufttemperaturverhältnisse** ließ sich anhand der Messfahrt- und Stationsdaten eine deutliche Orientierung der nächtlichen Überwärmung innerhalb der bebauten Gebiete feststellen. Die beiden Stadtzentren Buer (Station 1) und Altstadt (Station 2) wiesen dabei mit einem absoluten Maximum während sommerlicher Strahlungsnächte von 5 K gegenüber dem Umland die stärkste Überwärmung auf, während u.a. das Waldgebiet Resser Mark, der Nordsternpark und die landwirtschaftlichen Flächen nördlich von Scholven kühlere Bereiche innerhalb des Stadtgebietes darstellen. Der städtische Einfluss wird jedoch nicht nur während sommerlicher Strahlungsnächte deutlich, sondern ist über den gesamten Jahresverlauf hinweg erkennbar, wie anhand der erhöhten Anzahl sommerlicher und geringeren Anzahl winterlicher klimatologischer Ereignistage an den Stadtstationen gegenüber dem Umland deutlich wird.

Neben der thermischen Anomalie einer Stadt weisen urbane Strukturen gegenüber dem unbebauten Umland aufgrund der erhöhten Oberflächenrauigkeit ebenfalls eine Modifikation der **Windverhältnisse** auf, mit z.T. deutlicher Verringerung der Windgeschwindigkeiten in der Stadt. So wurden an den

Umland- bzw. Parkstationen Sutumer Feld (Station 4) und Nordsternpark (Station 5) im Mittel höhere Windgeschwindigkeiten gemessen als an den urban geprägten Standorten Buer (Station 1), Altstadt (Station 2) und Hassel (Station 3). Innerhalb der Stadtstrukturen gibt es jedoch unterschiedliche Ausprägungen auf mikroklimatischer Ebene, welche auf die unmittelbaren Umgebungseigenschaften eines Standortes zurückzuführen sind und in Form von Düseneffekten und erhöhter Böigkeit auch erhöhte Windgeschwindigkeiten in der Stadt erzeugen können. Dies konnte am Standort Altstadt (Station 2) aufgezeigt werden, welcher sich im Vergleich zu den weiteren urbanen Stationen durch höhere mittlere und maximale Windgeschwindigkeiten sowie einem geringeren Auftreten von Schwachwindstunden (Windgeschwindigkeit $\leq 1,5 \text{ m s}^{-1}$) auszeichnet. Zudem kommt es innerhalb der Stadtstrukturen zur Modifikation der Windrichtung. Während die übergeordnete Hauptwindrichtung für den gesamten Messzeitraum gemessen an den freianströmbaren Standorten Sutumer Feld (Station 4) und Nordsternpark (Station 5) Südwest bzw. Südsüdwest beträgt, weisen insbesondere die urbanen Standorte Altstadt (Station 2) und Hassel (Station 3) mit einer Hauptkomponente aus West bzw. Süd eine Abweichung auf, welche durch die Ausrichtung des jeweiligen Straßenzuges erklärt werden kann.

Des Weiteren wurde anhand von SF₆-Tracerausbreitungskampagnen in den Untersuchungsgebieten Eckerresse, Hegefeld und Horst die **nächtliche, bodennahe Kaltluftdynamik** und mögliche Eindringtiefe in angrenzende Bauungsgebiete (Wirkgebiet) untersucht. Während austauscharmer Strahlungsnächte können Grün- und Freiflächen (Quellgebiet) einen positiven Effekt auf die städtische Überwärmung oder Immissionssituation in den Wirkgebieten ausüben. Eine Kaltluftdynamik konnte in allen drei Untersuchungsgebieten beobachtet werden, jedoch lediglich für die ehemaligen Galopprennbahn (heutiger Golfplatz) in Horst wurde ein effektiver Transport der bodennahen Kaltluft in die angrenzende Wohnbebauung nachgewiesen, weshalb diese innerstädtische Grünfläche während austauscharmer Strahlungsnächte eine wichtige klimawirksame Fläche für die Belüftungssituation des Stadtteils Horst darstellt.

Die Analyse der **human-biometeorologischen Verhältnisse** erfolgte für die Stationsstandorte bezogen auf die sommerlichen Strahlungstage anhand des mit Hilfe des Modells RayMan Pro (Matzarakis et al. 2010) ermittelten PET-Wertes. Die im Mittel höchste sommerliche Wärmebelastung für die Bevölkerung tritt demnach mit einem PET-Wert von 24,9 °C an der Stadtstation Buer (Station 1) auf, während die Umland- bzw. Parkstandorte Sutumer Feld (Station 4) und Nordsternpark (Station 5) mit einem mittleren PET-Wert von jeweils 17,1 °C weniger starke thermische Wärmebelastungen aufweisen.

Die **lufthygienische Situation** wurde auf Grundlage der vier 24 h-Standmessungen und der drei lufthygienischen Messfahrten für die Spurenstoffe CO, NO, NO₂ und O₃ sowie BETX und die Partikel PM_x erfasst. Die während der lufthygienischen Messfahrten und Standmessungen erhobenen Konzentrationen der Spurenstoffe und Partikelgrößenfraktionen wiesen in stärker frequentierten Verkehrsbereichen, wie der Bundesstraße 224, den Autobahnen 2 und 42 und entlang einiger Hauptstraßen und Abschnitten mit eingeschränkten Austauschbedingungen höhere Werte auf, allerdings war das Immissionsniveau nur in Ausnahmefällen im Bereich der geltenden Grenz- und Richtwerte angesiedelt. Insgesamt sind die lufthygienischen Verhältnisse im Stadtgebiet von Gelsenkirchen daher, insbesondere unter Berücksichtigung der Lage im größten Ballungsraum der Bundesrepublik Deutschland, zusammenfassend als eher günstig zu bewerten.

Basierend auf den Ergebnissen der stationären und mobilen Messungen sowie unter Berücksichtigung der aktuellen Flächennutzung und Topographie wurden abschließend eine aktualisierte **Synthetische Klimafunktionskarte** und eine **Planungshinweiskarte** erarbeitet. Diese stellen zum einen eine bewertende, flächenhafte Übersicht der klimatischen und lufthygienischen Verhältnisse im Stadtgebiet dar und liefern zum anderen Planungshinweise zur Verbesserung bzw. Sicherung der klimatischen und lufthygienischen Verhältnisse.

Ein besonderes Augenmerk lag zudem auf der Auswertung potentieller **Klima-Veränderungen in Gelsenkirchen** im Rahmen des globalen Klimawandels. Hierzu konnte auf eine 43-jährige Messreihe des Max-Planck-Gymnasiums in Buer zurückgegriffen werden, die kontinuierliche Daten der meteorologischen Parameter Lufttemperatur und Niederschlag liefert. Demnach war das vergangene Jahr 2010, mit einer Jahresmitteltemperatur von 8,3 °C das kälteste Jahr seit Beginn der Messung am Max-Planck-Gymnasium. Der lineare Trend der Jahresmitteltemperatur lässt jedoch einen leichten Anstieg erkennen. Unter Berücksichtigung dieses linearen Trends hat sich die durchschnittliche Temperatur seit Beginn der Messung von 9,9 °C auf 10,9°C um 1 K erhöht. Unter der Annahme einer weiterhin linearen Temperaturerhöhung dieses Ausmaßes würde das durchschnittliche Jahresmittel der Lufttemperatur in Gelsenkirchen im Jahre 2100 13,2 °C betragen.

Die Ergebnisse dieser Gesamtstädtischen Klimaanalyse Gelsenkirchen gehen weiterhin als Basisdaten in die Erstellung eines Konzeptes zur städtebaulichen Anpassung an den Klimawandel in Gelsenkirchen (Stadtklimamanagement) und die Erarbeitung eines Leitfadens mit Darstellungen von Handlungsstrategien und Maßnahmenkatalogen zur Mitigation und Adaptation des Global Climate Change auf das Stadtklima Gelsenkirchens ein.

1 Aufgabenstellung und Einleitung

Die klimatischen und lufthygienischen Verhältnisse eines städtischen Siedlungsraums zeichnen sich durch erhebliche Modifikationen gegenüber dem unbebauten Umland aus. Insbesondere erhöhte Lufttemperaturen, geringere Luftfeuchtigkeit und eine stärkere Luftverschmutzung können in Städten zur Verminderung der Lebensqualität und zu gesundheitlichen Belastungen der Bewohner führen. Die Ursachen der klimatischen Defizite einer Stadt liegen u.a. in einem hohen Versiegelungsgrad, einem geringen Grünflächenanteil, den thermischen Eigenschaften der urbanen Oberflächen und dreidimensionalen Baukörper sowie der Emissionsart und -intensität begründet. Die Bebauungsstruktur einer Stadt nimmt somit eine zentrale Funktion bezüglich der lokalen klimatischen und lufthygienischen Ausprägungen ein (Kuttler 2010a).

Der Relevanz dieser Stadtklimaproblematik wird in der Gesetzgebung durch die Berücksichtigung der Belange von „Klima und Luft“ im Rahmen der Bauleitplanung Rechnung getragen (vgl. §1 Abs.6 Nr.7 BauGB, Baugesetzbuch 2004). Für eine nachhaltige und klimawandelgerechte Stadtentwicklung ist die genaue Kenntnis der aktuellen, lokalklimatischen und lufthygienischen Verhältnisse daher unabdingbar und von öffentlichem Interesse.

Aus diesem Grund wurde die Angewandte Klimatologie und Landschaftsökologie der Universität Duisburg-Essen mit Vertrag vom 14./17.12.2009 durch das Referat Umwelt der Stadt Gelsenkirchen mit der Aktualisierung der aus dem Jahre 2000 vorliegenden **Gesamtstädtischen Klimaanalyse Gelsenkirchen** beauftragt.

Der vorliegende Bericht präsentiert die Ergebnisse der im Zeitraum vom 01.03.2010 bis 28.02.2011 durchgeführten stationären und mobilen Messungen im Stadtgebiet Gelsenkirchens. Auf Basis dieser Erkenntnisse erfolgt zudem eine Aktualisierung der Synthetischen Klimafunktionskarte und der Planungshinweiskarte, anhand derer Maßnahmen zur Erhaltung positiver Klimafunktionen bzw. Minimierung negativer Auswirkungen auf das Stadtklima aufgezeigt werden. Des Weiteren wird mittels einer 43-jährigen Messreihe des Max-Planck-Gymnasiums in Gelsenkirchen-Buer die klimatische Entwicklung der Stadt im Zeichen des globalen Klimawandels untersucht, wobei die Stationen Buer (Station 1) und Sutumer Feld (Station 4), die in beiden Messzeiträumen an identischen Standorten betrieben wurden, zur Analyse möglicher Klimawandel bedingter Modifikationen ebenfalls herangezogen werden.

2 Charakterisierung des Untersuchungsgebietes

Die Stadt Gelsenkirchen liegt im Zentrum des nördlichen Ruhrgebietes und umfasst eine Gesamtfläche von 104,8 km². Bei einer Einwohnerzahl von 259.002 ergibt sich eine Bevölkerungsdichte von 2.470 Einw./km² (Stand: 31.12.2010, Stadt Gelsenkirchen 2011), womit Gelsenkirchen im Mittel der großen Ruhrgebietsstädte angesiedelt ist. Das Stadtgebiet ist in fünf Bezirke mit insgesamt 18 Stadtteilen gegliedert. Während sich im Norden weitestgehend unbebautes Umland anschließt, grenzt Gelsenkirchen im Westen bis Süden an die Städte Gladbeck und Essen und im Süden bis Osten an Bochum, Herne und Herten.

Naturräumlich gehört das Untersuchungsgebiet der Westfälischen Bucht an, wobei im Wesentlichen zwischen den beiden Haupteinheiten Emscherland und Westenhellweg zu differenzieren ist. Lediglich am nördlichsten Rand des Stadtgebietes sind noch kleine Ausläufer des Westmünsterlandes zu vermerken (LANUV 2009). Die Westfälische Bucht zeichnet sich insgesamt durch ein schwach ausgeprägtes Relief mit Höhen unter 100 m ü. NN aus (MUNLV 2010). Das Stadtgebiet von Gelsenkirchen lässt sich naturräumlich sowie topographisch in drei Teilräume untergliedern.

Der nördliche Teil wird durch einen Ausläufer des Vestischen Höhenrückens geprägt und stellt insbesondere im Bereich Buer und Löchterheide die höchste natürliche Geländeerhebung (bis 95 m ü. NN) von Gelsenkirchen dar. Lediglich die künstlich angelegten Bergehalden erreichen Höhen über 100 m ü. NN. Den höchsten Punkt im Stadtgebiet nimmt daher mit ca. 200 m ü. NN die Halde Scholven ein. Das Zentrum des Stadtgebietes wird durch die Emscherniederung dominiert, welche sich aus den Landschaftsräumen nördliche und südliche Emscherrandplatte sowie der Emschertalung zusammensetzt. Südlich der BAB 2 und nördlich der BAB 42 fällt das Gelände in Richtung Emscher und Rhein-Herne-Kanal hin ab und nimmt in diesem Bereich Höhen zwischen 22 und 50 m ü. NN an. Der südliche Teil des Untersuchungsgebietes, welcher naturräumlich dem Westenhellweg angehört, weist hingegen mit Geländehöhen von 40 bis 60 m ü. NN wieder ein leicht ansteigendes Relief auf.

Makroklimatisch ist Gelsenkirchen dem maritim geprägten nordwestdeutschen Klimabereich zuzuordnen. Durch die Nähe zum Atlantik und der Lage im Westwindgürtel herrschen überwiegend mäßig warme Sommer und milde, schneearme Winter vor. Gelegentlich können kontinental geprägte Wetterlagen mit trockenen, heißen (Sommer) bzw. trockenen, kalten (Winter) Perioden auftreten.

Die Niederschlagsverteilung weist insgesamt einen relativ ausgeprägten Jahrgang auf, wobei das Hauptmaximum im Sommermonat Juli und ein sekundäres Maximum im Dezember auftritt (MURL 1989). Diese großräumigen Charakteristika werden auf der lokalen Ebene durch gelände- und insbesondere stadtklimatische Einflüsse, welche in Abhängigkeit zur Stadtstruktur stehen, stark überprägt (Hupfer, P. u. Kuttler, W. 2006).

Das Untersuchungsgebiet Gelsenkirchen weist insgesamt eine dezentrale Gliederung mit zwei Stadtzentren (Altstadt/Schalke und Buer) auf. Bezüglich der Flächennutzung und Bebauungsstruktur ergeben sich diverse Unterschiede zwischen den in Abbildung 1 dargestellten Stadtbezirken.

Der **Stadtbezirk Nord** (vgl. Abb. 1) hat mit 31,4 % den insgesamt größten Flächenanteil am Untersuchungsgebiet. Außerhalb des relativ hochverdichteten Stadtkerns Buer weisen die nördlichen Stadtteile Scholven und Hassel eine lockere Bebauung auf. Durch die ausgedehnten landwirtschaftlichen Flächen im Norden, die Löchterheide im Osten und den Buer'schen Grüngürtel verfügt der Stadtbezirk Nord über eine Vielzahl unbebauter, teils miteinander verbundener, Flächen, die weitestgehend Umlandeigenschaften aufweisen. Andererseits ist mit dem BP Werk Scholven auch einer der größten Emittenten für Luftverunreinigungen im Norden des Stadtgebietes angesiedelt.

Die **Stadtbezirke Ost** und **West** weisen eine Mischung verschiedener Flächennutzungen auf. Neben den Wohngebieten (Horst, Beckhausen, Erle und Resse) verfügen die Stadtbezirke über größere Industriegebiete (BP Werk Horst, Emscherstraße), sowie land- und forstwirtschaftliche Flächen. Während im Stadtbezirk Ost die Freiflächen im Bereich Resser Mark, Emscherbruch und Eckerresse einen großen Verbund darstellen, treten derart unbebaute Flächen im Stadtbezirk West nur inselförmig (Sutumer Feld, ehem. Galopprennbahn Horst) auf.

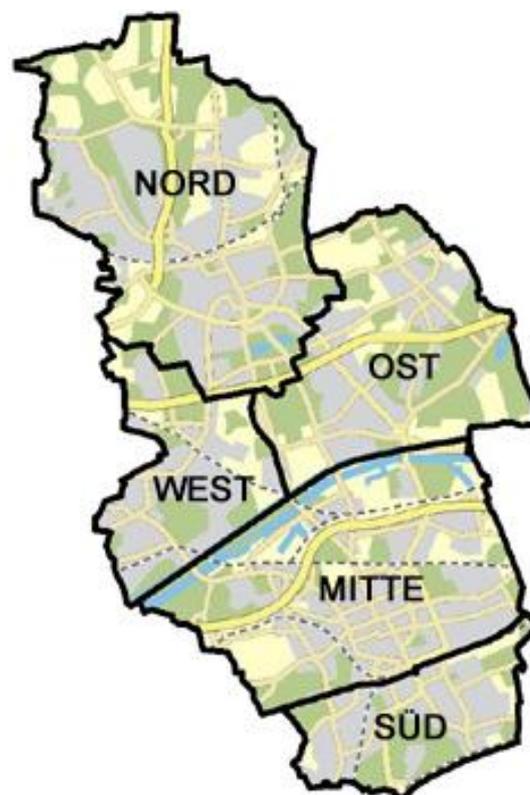


Abb. 1: Stadtbezirke im Untersuchungsgebiet Gelsenkirchen (http://stadtplanung.gelsenkirchen.de/02_Projekte_Stadtbezirke/default.asp)

Der **Stadtbezirk Mitte** beinhaltet den zweiten Stadtkern von Gelsenkirchen. Die Stadtteile Altstadt, Schalke und Bulmke-Hüllen zählen mit einem Flächenanteil zwischen 60 und 83 % an Bau- und Verkehrsflächen zu den am stärksten anthropogen überbauten Bereichen von Gelsenkirchen (s. Tab. A1). Insbesondere im Norden des Bezirks bestimmen ausgedehnte Industriegebiete und industrielle Brachflächen das Stadtbild. Freiflächen sind überwiegend in Form vereinzelter, kleiner Grünflächen zu verzeichnen.

Mit einem Flächenanteil von lediglich 10 % an der Gesamtfläche von Gelsenkirchen bilden die Stadtteile Neustadt, Ückendorf und Rotthausen den **Bezirk Süd**. Dieser zeichnet sich durch die höchste Einwohnerdichte (3.547 Einw./km²) aus, was allerdings hauptsächlich auf Gelsenkirchen-Neustadt zurückzuführen ist. Die Stadtteile Rotthausen und Ückendorf weisen hingegen eine lockere Bebauungsstruktur mit einem relativ durchgrünten Charakter auf.

Aus Tabelle 1 gehen einige charakteristische Merkmale bezüglich der Flächennutzung in Gelsenkirchen hervor. Detaillierte Informationen hinsichtlich der Flächennutzung innerhalb der einzelnen Stadtbezirke bzw. -teile sind ferner Tabelle A1 im Anhang zu entnehmen. Abbildung A1 verdeutlicht die Veränderungen der Flächennutzung im Stadtgebiet Gelsenkirchens zwischen den Jahren 1969 und 2009. Trotz des Strukturwandels und rückläufiger Einwohnerzahlen ist sowohl für die bebaute Fläche als auch für die Verkehrsfläche (Straßen und Gleise) ein Zuwachs von 4,4 % bzw. 1,9 % zu verzeichnen. Positiv zu bewerten ist der Anstieg der Grün- und Waldflächen, allerdings wird deutlich, dass dies auf Kosten der landwirtschaftlichen Fläche basiert.

Tab. 1: Absoluter und prozentualer Anteil der Flächennutzung an der Gesamtfläche des Stadtgebietes von Gelsenkirchen (Stand: 2009, Datengrundlage: Freiflächenmonitoring der Stadt Gelsenkirchen)

Nutzungsart	Fläche (ha)	Anteil (%)
Bebaute Fläche	3.786	36,1
Straßen, Gleise	1.267	12,1
Landwirtschaft	1.220	11,6
Wald, Kleingehölz	1.678	16,0
Park, Friedhof, Garten	1.453	13,9
Brache	373	3,6
Halde	56	0,5
Rekultivierte Halde	407	3,9
Gewässer, Feuchtgebiete	248	2,4
Gesamtfläche	10.487	100

Hinsichtlich der großräumigen lufthygienischen Verhältnisse kann sich bei Windrichtungen aus Südwest die Lage Gelsenkirchens in Lee der industriell geprägten Ruhrgebietsstädte Essen, Duisburg und Oberhausen auf die Immissionssituation im Stadtgebiet auswirken. Die Emissionssituation ist dem Emissionskataster Luft NRW 2004 (LANUV 2011a) zu entnehmen. Demnach ist der Verkehr Hauptverursacher der CO- (71,4 %) und Benzolemissionen (63,4 %), während die CO₂-, NO₂- und PM₁₀-Emissionen im Wesentlichen auf die Industrie zurückzuführen sind. Den Kleinf Feuerungsanlagen kommt lediglich bei den CO-Emissionen eine stärkere Bedeutung zu (s. Tab. 2).

Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass dem Emissionskataster Luft NRW bereits aktuellere Daten zu entnehmen sind, die Angaben der Emissionen sich hierbei für die verschiedenen Emittentengruppen allerdings auf unterschiedliche Erklärungszeiträume beziehen, weshalb der einheitlich für das Jahr 2004 vorliegenden Datensatz zur Darstellung der Emissionssituation in Gelsenkirchen verwendet wurde.

Tab. 2: Prozentualer Anteil der Emittentengruppen an den Gesamtemissionen im Stadtgebiet Gelsenkirchen (Stand 2004, LANUV 2011a)

	CO	CO₂	NO₂	PM₁₀	Benzol
Industrie	7,3	94,4	84,8	80,8	30,9
Verkehr	71,4	2,7	12,7	14,5	63,4
Kleinf Feuerungsanlagen	21,3	2,9	2,5	4,7	5,8

3 Untersuchungsmethodik

Die Untersuchungen zur Aktualisierung der Gesamtstädtischen Klimaanalyse Gelsenkirchen umfassen sowohl stationäre als auch mobile meteorologische und lufthygienische Messungen. Im Einzelnen wurden folgende Methoden zur Erfassung der zeitlichen und räumlichen Auflösung der klimatischen und lufthygienischen Situation in Gelsenkirchen angewandt:

- fünf Klimafeststationen
- drei nächtliche Lufttemperaturmessfahrten
- drei SF₆-Tracerausbreitungskampagnen (Kaltluft)
- drei lufthygienische Profilmessfahrten
- vier lufthygienische 24 h-Standmessungen

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

Es sei darauf hingewiesen, dass die Angabe von Uhrzeiten in sämtlichen Ausführungen und Abbildungen einheitlich der Mitteleuropäischen Zeit (MEZ) entspricht. Dies ist insbesondere bei der Darstellung und Bewertung der Ergebnisse für das Sommerhalbjahr zu berücksichtigen.

3.1 Stationäres Messnetz

In diesem Kapitel soll zunächst auf die Lage der fünf Klimafeststationen im Gelsenkirchener Untersuchungsgebiet eingegangen und deren charakteristische Merkmale sowie technische Ausstattung beschrieben werden. Im Anschluss erfolgt die Vorstellung der methodischen Verfahrensweise bei der Aufbereitung der Stationsdaten. Karte 1 (S. 18) zeigt die Standorte der Klimafeststationen und mobilen Einsätze sowie die Routen der Messfahrten.

3.1.1 Stationsstandorte

Für den Zeitraum vom 01.03.2010 bis 28.02.2011 wurde im Stadtgebiet Gelsenkirchens ein Stationsmessnetz mit insgesamt fünf Klimafeststationen der Fa. Friedrichs, Schenefeld, betrieben. Tabelle 3 liefert einen Überblick der wichtigsten Informationen zur Lage, den charakteristischen Merkmalen und den erfassten Messgrößen der einzelnen Stationen.

Tab. 3: Lage, Charakteristika und Messgrößen der Klimafeststationen im Untersuchungsgebiet

Nr./ Kürzel	Standort	Charakteristika der Umgebung	Adresse	Lage		Messgrößen*
				Position	Höhe ü. NN (m)	
1 BUE	Buer	Innenstadt, mehrgeschossige Bebauung	Horster Str.21	51° 34.605'N 7° 3.108'E	88	t, rF, u, WR
2 AST	Altstadt	Innenstadt, mehrgeschossige Bebauung	Pastoratstr.2	51° 30.748'N 7° 5.848'E	53	t, rF, u, WR
3 HAS	Hassel	Stadtrand, lockere Wohnbebauung	Bußmannstr.11	51° 36.478'N 7° 3.282'E	62	t, rF, u, WR
4 SUT	Sutumer Feld	Umlandstation, landwirtschaftl. Nutzfläche	Ekhofstr.90	51° 33.409'N 7° 3.278'E	47	t, rF, u, WR
5 NOP	Nordstern- park	städtische Grünfläche	Europaplatz	51° 31.296'N 7° 2.600'E	36	t, rF, u, WR, Q

* t: Lufttemperatur (°C) in ca. 3,5 m ü. Gr. u: Windgeschwindigkeit (m s^{-1}) in ca. 3,5 m ü. Gr.
rF: relative Feuchtigkeit (%) in ca. 3,5 m ü. Gr. WR: Windrichtung (°) in ca. 3,5 m ü. Gr.
Q: Strahlungsbilanz (W m^{-2}) in 2 m ü. Gr.

Die Auswahl der Standorte erfolgte unter Berücksichtigung verschiedener Flächennutzungsarten und Höhenlagen innerhalb des Untersuchungsgebiets. Durch die Stationen Buer (Station 1) und Altstadt (Station 2) wird der bipolaren Bebauungsstruktur von Gelsenkirchen Rechnung getragen und die klimatischen Verhältnisse innerhalb der hochverdichteten Innenstadtbereiche untersucht. Der Standort Hassel (Station 3) repräsentiert die Stadtrandsituation mit lockerer Bebauung, während die beiden Umland- bzw. Parkstationen Sutumer Feld (Station 4) und Nordsternpark (Station 5) die Bedingungen einer landwirtschaftlichen Nutzfläche bzw. eines innerstädtischen Parks widerspiegeln. Die Lage der Stationen innerhalb des Untersuchungsgebietes ist Karte 1 (S.18) zu entnehmen. Abbildung 2 zeigt exemplarisch den Aufbau einer Klimafeststation in Gelsenkirchen-Buer.

An den fünf Stationen wurden über den gesamten Untersuchungszeitraum die meteorologischen Standardmessgrößen Lufttemperatur, relative Luftfeuchtigkeit sowie Windgeschwindigkeit und Windrichtung in einer Höhe von ca. 3,5 m über Grund kontinuierlich erfasst.



Abb. 2: Aufbau einer Klimafeststation

Anhand dieser Datengrundlage lässt sich ferner eine Aussage über die thermische Komponente der human-biometeorologischen Verhältnisse treffen (s. Kap. 5.5). An dem Grünflächenstandort Nordsternpark (Station 5) erfolgte zudem die Erhebung der Strahlungsbilanz (2 m ü. Gr.).

Die Erfassung von Lufttemperatur und relativer Luftfeuchtigkeit erfolgte in einer Strahlungsschutzhütte mittels Thermohygrogebern (jeweils bestehend aus einem Pt-100-Widerstandsthermometer und einem kapazitivem Feuchtesensor), während die Windverhältnisse durch eine Windfahne und ein Schalensternanemometer gemessen wurden.

Aufgrund der kontinuierlichen Messung über den Zeitraum von einem Jahr und der Verteilung der Standorte innerhalb des Untersuchungsraums können anhand der stationären Messungen zeitliche Variabilitäten und über einen interstationären Vergleich auch räumliche Unterschiede bezüglich der erhobenen Klimaelemente dargestellt werden (s. Kap. 5.1 bis 5.3).

Zudem wurde bei der Wahl der Stationsstandorte darauf geachtet, dass Vergleiche zur Klimaanalyse aus dem Jahre 2000 vorgenommen werden können. Dies konnte insbesondere bei der Stadtstation Buer (Station 1) sowie der Umlandstation Sutumer Feld (Station 4) realisiert werden.

3.1.2 Datenaufbereitung

Die fünf Klimafeststationen im Untersuchungsgebiet Gelsenkirchen waren mit einer automatischen Messwerterfassung ausgestattet, welche die erhobenen meteorologischen Elemente sekundlich erfasste und als Drei-Minuten-Mittelwerte auf einem COMBILOG-Datenlogger der Fa. Friedrichs, Schenefeld, abgespeichert hat. Diese Daten wurden in einem wöchentlichen Rhythmus ausgelesen und auf ihre Plausibilität geprüft. Die Darstellungen der Ergebnisse des Stationsmessnetzes in den folgenden Kapiteln 4 und 5 basieren i.d.R. auf Grundlage der aus den Rohdaten gebildeten Stundenmittelwerten.

Tabelle 4 enthält eine Übersicht zur Datenverfügbarkeit der einzelnen Stationen bezogen auf die aggregierten Stundenmittelwerte. Die temporären Messausfälle innerhalb des einjährigen Untersuchungszeitraums vom 01.03.2010 bis 28.02.2011 sind sehr gering. Die Datenverluste an den einzelnen Stationen belaufen sich demnach auf lediglich 1,4 bis 2,3 % des gesamten Kollektivs.

Tab. 4: Übersicht der Datenverfügbarkeit des Gelsenkirchener Stationsmessnetzes bezogen auf die Stundenmittelwerte des Messzeitraums vom 01.03.2010 bis 28.02.2011

Stationsname	Station 1 (Buer)	Station 2 (Altstadt)	Station 3 (Hassel)	Station 4 (Sutumer Feld)	Station 5 (Nordsternpark)
Datenverfügbarkeit (%)	98,3	98,3	98,1	98,6	97,7

Anhand von Regressionsanalysen konnten die Datenlücken teilweise aus den Werten der anderen Stationen geschlossen werden. Aus Tabelle 5 gehen die zur Vervollständigung der Daten jeweils eingesetzten Stationen und die entsprechenden Bestimmtheitsmaße der linearen Regressionen hervor. Für die relative Luftfeuchtigkeit und Windgeschwindigkeit konnte auch infolge der Datenergänzung keine 100 %-ige Vervollständigung der Messwerte erfolgen, da vereinzelt ein Messausfall an mehreren Stationen zugleich bestand. Daher gibt Tabelle 5 weiterhin Auskunft über die Verfügbarkeit nach der Datenergänzung. Für die Werte der Lufttemperatur an Station 4 (Sutumer Feld) war eine Regressionsanalyse, aufgrund eines bereits vollständigen Datenkollektivs, nicht notwendig. Bezüglich der Windrichtung ergaben sich keine hohen Korrelationen zwischen den einzelnen Stationen, weshalb auf eine Datenergänzung verzichtet wurde und die Auswertungen der Windrichtung auf einem etwas geringeren Datenkollektiv beruhen.

Tab. 5: Übersicht der zur Datenergänzung verwendeten Stationen und den jeweiligen Bestimmtheitsmaßen (r^2) sowie der Verfügbarkeit nach Datenergänzung

	Lufttemperatur	rel. Luftfeuchtigkeit	Windgeschwindigkeit
Station 1 (Buer)	St.2: Altstadt $r^2 = 0,998$	St.2: Altstadt $r^2 = 0,978$	St.5: Nordsternpark $r^2 = 0,833$
Station 2 (Altstadt)	St.1: Buer $r^2 = 0,998$	St.1: Buer $r^2 = 0,978$	St.1: Buer $r^2 = 0,699$
Station 3 (Hassel)	St.4: Sutumer Feld $r^2 = 0,995$	St.4: Sutumer Feld $r^2 = 0,971$	St.5: Nordsternpark $r^2 = 0,77$
Station 4 (Sutumer Feld)	-	St.3: Hassel $r^2 = 0,971$	St.5: Nordsternpark $r^2 = 0,742$
Station 5 (Nordsternpark)	St.4: Sutumer Feld $r^2 = 0,991$	St.4: Sutumer Feld $r^2 = 0,946$	St.1: Buer $r^2 = 0,833$
Verfügbarkeit nach Datenergänzung	100 %	99,98 %	99,16 %

3.2 Mobile Messungen

Die räumliche Repräsentanz stationärer Messungen bezieht sich, aufgrund der punktuellen Erhebung, ausschließlich auf die Standorte der Klimastationen und ist somit begrenzt (Kuttler, W. u. Dütemeyer, D. 2003). Daher wurde das Messprogramm um diverse mobile Messungen ergänzt, anhand derer eine räumliche, teils flächenhafte Aussage bezüglich der nächtlichen Lufttemperaturverteilung, der Kaltluftdynamik und der lufthygienischen Situation im Gelsenkirchener Stadtgebiet ermöglicht wird. Tabelle 6 zeigt eine Zusammenfassung der durchgeführten mobilen Messungen, die dabei erhobenen meteorologischen und lufthygienischen Größen sowie die Termine und jeweils vorherrschende Wetterlage. Die Standorte der mobilen Messeinsätze und die Streckenführung der Messfahrten sind Karte 1 (S. 18) zu entnehmen.

Tab. 6: Übersicht der mobilen Untersuchungsmethoden, Messgrößen, Termine und vorherrschenden Wetterlage

Untersuchungsmethode	Anzahl	Messgrößen	Datum	Wetterlage
Temperaturmessfahrt	3 (nachts)	t_2	06./07.04.10 24./25.06.10 13./14.10.10	aS/1,3 m s ⁻¹ aS/1,0 m s ⁻¹ aS/0,5 m s ⁻¹
Lufthygienische Profilmessfahrt	3 (tags)	CO, NO, CO ₂ , NO ₂ , NO _x , O ₃ , PM ₁₀ , PM _{2,5} , PM ₁ , BETX	23.03.10 16.04.10 10.01.11	aS/1,1 m s ⁻¹ aS/1,4 m s ⁻¹ aS/0,8 m s ⁻¹
Lufthygienische 24 h-Standmessung	4	t_2 , rF ₂ , t_{10} , rF ₁₀ , u, WR, CO, NO, CO ₂ , NO ₂ , NO _x , O ₃ , PM ₁₀ , PM _{2,5} , PM ₁ , BETX	22./23.06.10 (SS) 19./20.07.10 (SH) 21./22.09.10 (SR) 31.01./01.02.11 (SB)	aS/0,6 m s ⁻¹ aS/0,6 m s ⁻¹ aS/0,6 m s ⁻¹ aW/1,6 m s ⁻¹
SF ₆ -Tracerausbreitungskampagne	3 (nachts)	SF ₆ -Konzentration zur Bestimmung der Kaltluftdynamik	24./25.04.10 (UER) 04./05.06.10 (UHF) 20./21.07.10 (UHO)	aS/1,0 m s ⁻¹ aS/0,7 m s ⁻¹ aS/0,9 m s ⁻¹

Wetterlage:

(aS) austauscharme Strahlungswetterlage / (aW) austauscharme, bedeckte Wetterlage / Gebietsmittel der Windgeschwindigkeit an den Messtagen

Meteorologische Größen:

t_2 : Lufttemperatur in 2 m ü. Gr. (°C) / t_{10} : Lufttemperatur in 10 m ü.Gr. (°C) / rF₂: relative Luftfeuchtigkeit in 2 m ü. Gr. (%) / rF₁₀: relative Luftfeuchtigkeit in 10 m ü. Gr. (%) / u: Windgeschwindigkeit in 10 m ü.Gr. (m s⁻¹) / WR: Windrichtung in 10 m ü.Gr. (°) / GS: Globalstrahlung (W m⁻²) / UV: UV-Strahlung (W m⁻²)

Lufthygienische Größen:

CO: Kohlenmonoxid (mg m⁻³) / NO: Stickstoffmonoxid (µg m⁻³) / NO₂: Stickstoffdioxid (µg m⁻³) / O₃: Ozon (µg m⁻³) / PM_x: Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser von 10, 2,5 bzw. 1 µm (µg m⁻³) / BETX: Konzentrationen von Benzol, Ethylbenzol, Toluol und Xylole (µg m⁻³)

Ortsangaben:

(SS) Standort Sternschule (Altstadt) / (SH) Standort Schloß Horst / (SR) Standort Resse / (SB) Standort Buer / (UER) Untersuchungsgebiet Eckerresse / (UHF) Untersuchungsgebiet Hegefeld / (UHO) Untersuchungsgebiet Horst

3.2.1 Lufttemperaturmessfahrten

Um flächenhafte Aussagen bezüglich der nächtlichen Temperaturverteilung treffen zu können und somit die räumliche Ausprägung der städtischen Überwärmung zu untersuchen, wurden insgesamt drei nächtliche Lufttemperaturmessfahrten während austauscharmer Strahlungswetterlagen durchgeführt. Die Termine dieser nächtlichen Messfahrten sind Tabelle 6 zu entnehmen. Die Streckenführung der Messfahrten wird in Karte 1 (S. 18) dargestellt.

Die Route wurde unter Berücksichtigung verschiedener Flächennutzungsstrukturen und Höhenlagen erstellt und umfasst eine Gesamtlänge von etwa 113 km. Das Messfahrzeug legte diese Strecke mit einer Geschwindigkeit von ca. 30 km h^{-1} (bzw. 60 km h^{-1} auf Autobahnen und Schnellstraßen) zurück. Dabei wurde die Lufttemperatur in 2 m ü. Gr. mit Hilfe eines strahlungsgeschützten Pt-100-Widerstandsthermometers gemessen, welcher an einem Ausleger im Abstand von etwa 1,5 m vor dem Fahrzeug befestigt war. Durch die sekundliche Datenerfassung der Messtechnik ergibt sich eine räumliche Auflösung von etwa 8 (bzw. 16) m. Die Daten wurden zunächst anhand einer linearen Regression des Datensatzes auf den Startzeitpunkt der Messung umgerechnet, um somit den Effekt der übergeordneten, nächtlichen Abkühlung während der etwa fünfstündigen Messdauer zu nivellieren. Anschließend wurden die Daten zur weiteren Auswertung zu insgesamt 206 Streckenabschnittswerten zusammengefasst, deren Abgrenzung auf Grundlage verschiedener Straßentypen und angrenzender Flächennutzung erfolgte. Für die flächenhafte Darstellung der nächtlichen Temperaturverteilung im Stadtgebiet von Gelsenkirchen, in Form einer Isanomalienkarte (s. Karte 2, S. 36), erfolgte mit Hilfe eines Geoinformationssystems eine Voronoi-Interpolation („natural neighbor interpolation“) der mittleren Abweichungen vom Gebietsmittelwert der Lufttemperatur anhand der einzelnen Streckenabschnitte.

3.2.2 SF₆-Tracerausbreitungskampagnen

Während ausgewählter austauscharmer Strahlungsnächte wurden zum Nachweis der Kaltluftbewegung und deren Eindringtiefe in potentielle Wirkgebiete (angrenzende Bebauung) insgesamt drei Tracerausbreitungskampagnen durchgeführt. Bei dem dabei eingesetzten Tracer Schwefelhexafluorid (SF₆) handelt es sich um ein geruchs- und farbloses sowie chemisch inertes Gas, welches in der Atmosphäre im Allgemeinen in nicht erwähnenswerter Konzentration auftritt.

Das Tracergas wurde auf den potentiellen Kaltluftproduktionsflächen über mehrere Stunden hinweg in einer Quellhöhe von 1 m ü. Gr. bei einem geringen Massenstrom ($< 0,7 \text{ g s}^{-1}$) emittiert. Die Emissionspunkte der Messkampagnen sind in Karte 1 (S. 18) eingezeichnet. Mit Hilfe eines optischen Tracers (Rauchtabletten) konnte zuvor die Strömungsrichtung bestimmt werden. Anschließend wurde jeweils an bis zu 30 Messpunkten in Lee der Emissionsstandorte die SF_6 -Konzentration in der Atmosphärenluft mittels in-situ-Analyse bestimmt. Dies geschah mit Hilfe eines mobil einsetzbaren Gaschromatographen, dessen Nachweisgrenze 10 ppt beträgt. Auf diese Weise konnte die Struktur und Größe des Wirkgebietes ermittelt und quantifiziert werden (s. Kap. 5.4).

3.2.3 Lufthygienische Profilmessfahrten

Lufthygienische Profilmessfahrten dienen zur Ermittlung und Bewertung der linienhaften Verteilung verschiedener Spurenstoffkonzentrationen, wobei aus Gründen der urbanen Primärquellen insbesondere die Kfz-bürtigen Stoffe erfasst werden. Die Route der lufthygienischen Profilmessfahrten ist zum Großteil identisch mit der Streckenführung der Lufttemperaturmessfahrten, lediglich im Norden des Stadtgebietes gibt es eine leichte Abweichung (s. Karte 1, S. 18).

Es wurden insgesamt drei Messfahrten innerhalb des Untersuchungszeitraumes durchgeführt. Dabei wurde auf der etwa 108 km langen Strecke kontinuierlich, in 1,5 m Höhe auf der verkehrsabgewandten Seite des Messfahrzeugs, Probeluft aus dem Straßenraum angesaugt und unmittelbar mit sekundlicher Auflösung auf die Spurenstoffe Stickstoffmonoxid (NO), Stickstoffdioxid (NO_2), Kohlenstoffmonoxid (CO) sowie Kohlendioxid (CO_2) und Ozon (O_3) analysiert. Die Erfassung der Immissionssituation bezüglich der Staubpartikel erfolgte ebenfalls in einem 1 s-Intervall auf dem Dach des mobilen Messlabors in einer Höhe von 4 m ü. Gr.. Tabelle 7 liefert eine Übersicht der erfassten Spurenstoffe, deren Analysemethoden und Nachweisgrenzen.

Um eine temporäre Beeinflussung der räumlichen Konzentrationsverteilungen durch ein erhöhtes Verkehrsaufkommen möglichst zu minimieren, wurden die Messfahrten jeweils zwischen den morgendlichen und abendlichen Hauptverkehrszeiten durchgeführt. Allerdings konnte eine sporadisch auftretende Erfassung direkter Verkehrsemissionen (z.B. durch vorausfahrenden LKW) nicht vermieden werden, so dass diese Daten vor der weiteren Analyse eliminiert wurden.

Tab. 7: Analysemethoden und Nachweisgrenzen des mobilen Messlabors

Spurenstoff	Methode	Nachweisgrenze
Kohlenstoffmonoxid (CO)	NDIR-Spektrometrie	0,1 ppm
Kohlendioxid (CO ₂)	IR-Photometrie	0,1 ppm
Stickstoffmonoxid (NO) Stickstoffdioxid (NO ₂) Stickoxide (NO _x)	Chemilumineszens	0,4 ppb
Ozon (O ₃)	UV-Photometrie	0,5 ppb
Staubpartikel (PM _x)	Streulicht-Photometrie	0,1 µg m ⁻³
BETX	Gaschromatographie	

Ähnlich dem in Kapitel 3.2.1 beschriebenen Verfahren wurden zur Auswertung und Beurteilung der lufthygienischen Situation während der Messfahrten ebenfalls Streckenabschnittsmittelwerte für die einzelnen Spurenstoffe gebildet. Aufgrund der leicht veränderten Streckenführung gegenüber den Lufttemperaturmessfahrten ergeben sich für die Lufthygienischen Profilmessfahrten insgesamt 203 Abschnitte, anhand derer die räumliche Immissionssituation im Stadtgebiet von Gelsenkirchen dargestellt werden kann.

Des Weiteren wurden die erhobenen Daten mit den Werten der LUQS-Stationen (Luftqualitäts-Überwachungssystem) des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW (LANUV) in Gelsenkirchen-Bismarck und den umliegenden Ruhrgebietsstädten verglichen. Tabelle 8 enthält eine Übersicht der LUQS-Vergleichsstationen und deren wichtigste Charakteristika.

Tab. 8: Charakteristika der LUQS-Vergleichsstationen (LANUV 2011c)

Station	Lage		Art	relevante Spurenstoffe
	Standort	Höhe ü. NN (m)		
GELS Gelsenkirchen	Trinenkamp 45889 Gelsenkirchen	40	Hintergrund (vorstädtisch)	NO, NO ₂
BOTT Bottrop	Welheimer Str. 46238 Bottrop	40	Industrie (städtisches Gebiet)	NO, NO ₂ , PM ₁₀ , O ₃
EVOG Essen	Hafenstr. 45326 Essen	47	Hintergrund (städtisches Gebiet)	NO, NO ₂ , PM ₁₀
VEAE Essen	Gladbecker Str. 45326 Essen	55	Verkehr (städtisches Gebiet)	NO, NO ₂ , PM ₁₀

3.2.4 Lufthygienische 24 h-Standmessungen

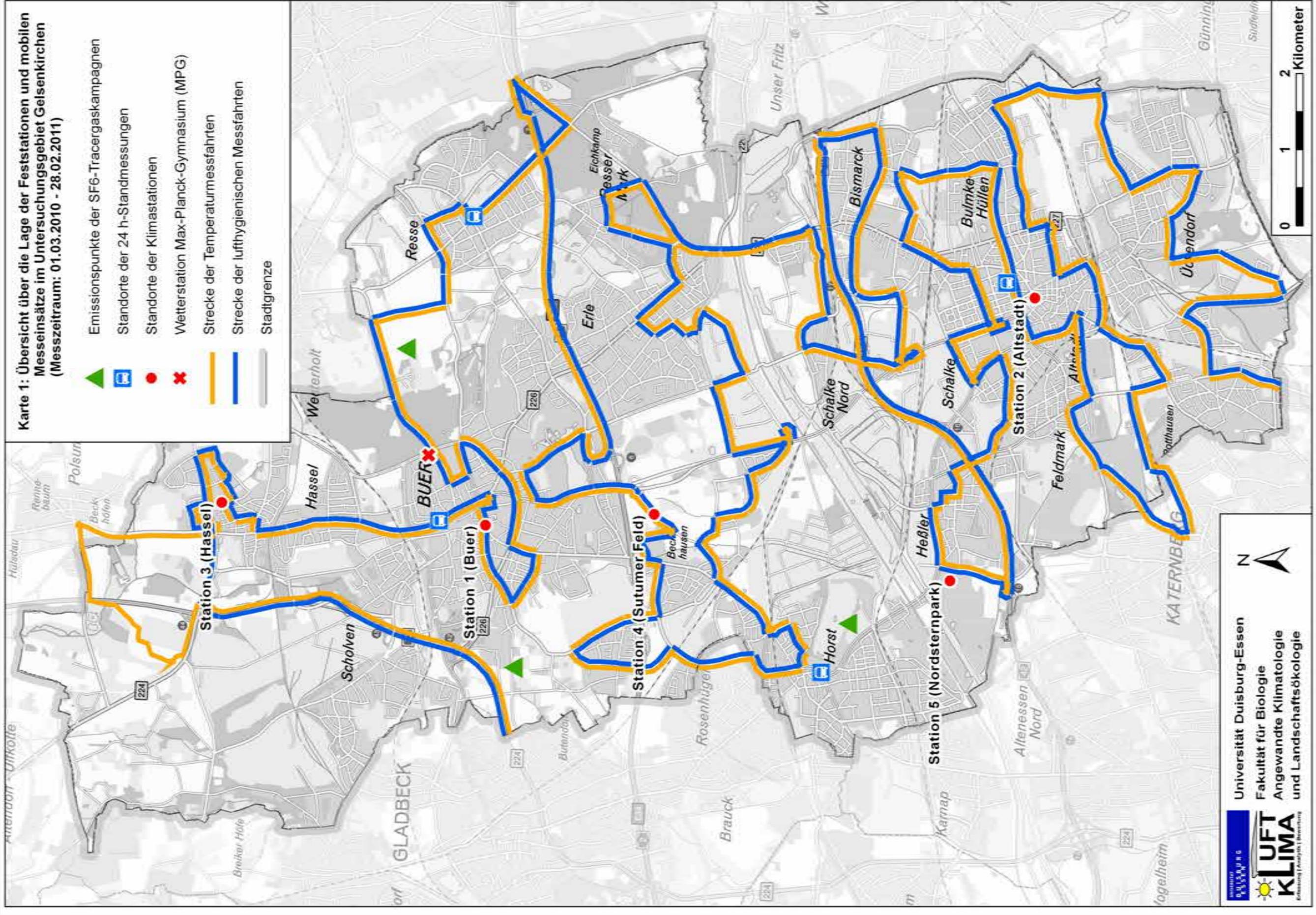
Zur weiteren Untersuchung der lufthygienischen Situation im Stadtgebiet von Gelsenkirchen wurden insgesamt vier 24 h-Standmessungen durchgeführt, anhand derer die Immissionskonzentrationen im Tagesgang sowie deren Abhängigkeit von meteorologischen Parametern (z.B. Windrichtung) beschrieben werden. Die Standorte wurden in enger Absprache mit dem Auftraggeber abgestimmt und stellen alle stark urban geprägte Räume dar. Während der Standort Sternschule (Altstadt) den Hintergrund im hochverdichteten, innerstädtischen Bereich repräsentiert, handelt es sich bei den Standorten Schloß Horst (Turfstraße), Resse (Ewaldstraße) und Buer (Königswiese) um direkte Verkehrsstandorte. Das durchschnittliche, tägliche Verkehrsaufkommen (DTV) weist zwar eine große Spanne von etwa 7.800 (Resse) bis 30.100 (Buer) Kraftfahrzeugen auf. Allerdings unterscheiden sich die Untersuchungspunkte auch hinsichtlich der umgebenden Bebauungsstruktur. Während die Standorte Buer und Schloß Horst jeweils in einem weitläufigem Kreuzungsbereich einer vierspurigen Hauptstraße mit begrüntem Mittelstreifen gelegen sind, kann die Bebauungsstruktur am Standort Resse als relativ enge Straßenschlucht bezeichnet werden, bei der eine eingeschränkte Durchlüftungssituation gegenüber den Standorten Buer und Schloß Horst angenommen werden kann. Die Messungen wurden während austauscharmer, meist strahlungsreicher, Wetterlagen mit dem mobilen Messlabor durchgeführt. Die erhobenen meteorologischen und lufthygienischen Messgrößen sind in Tabelle 6 (S. 13) aufgelistet und die entsprechenden Analysemethoden werden in Tabelle 7 (S. 16) dargestellt.

Die Probenahme der lufthygienischen Größen erfolgte in einer Höhe von 4 m ü. Gr., während die Messung der meteorologischen Elemente Lufttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit in 2 und 10 m ü. Gr. erfolgte. An dem auf 10 m ausfahrbaren Mast wurde zudem die Windgeschwindigkeit und Windrichtung gemessen.

Sämtliche Daten dieser Untersuchungen liegen als 1-Minuten-Mittelwerte vor und wurden zur Auswertung in unterschiedliche Zeitintervalle übertragen. Die Ausnahme stellen die Daten der BETX-Konzentrationen dar, welche aufgrund der messtechnischen Analysemethode lediglich als 15-Minuten-Mittelwert aufgezeichnet werden.

Karte 1: Übersicht über die Lage der Feststationen und mobilen Messeinsätze im Untersuchungsgebiet Gelsenkirchen (Messzeitraum: 01.03.2010 - 28.02.2011)

-  Emissionspunkte der SF6-Tracergaskampagnen
-  Standorte der 24 h-Standmessungen
-  Standorte der Klimastationen
-  Wetterstation Max-Planck-Gymnasium (MPG)
-  Strecke der Temperaturmessfahrten
-  Strecke der lufthygienischen Messfahrten
-  Stadtgrenze



Universität Duisburg-Essen
 Fakultät für Biologie
 Angewandte Klimatologie
 und Landschaftsökologie



4 Repräsentativität des Messzeitraumes

Die Repräsentativität des Messzeitraumes vom 01.03.2010 bis 28.02.2011 soll im Folgenden anhand der Häufigkeitsverteilung der nach Gerstengarbe u. Werner (2010) klassifizierten Großwetterlagen und dem Auftreten der für stadtklimatische Fragestellungen besonders relevanten austauscharmen Strahlungstage beurteilt werden.

4.1 Auftreten der Großwetterlagen

Das Auftreten der Großwetterlagen während des Untersuchungszeitraums wird mittels der Wetterlagenklassifikationen Großwettertypen und Zirkulationsform sowie nach dem Witterungscharakter analysiert. Während durch eine Großwetterlage der wesentliche Charakter eines mehrtägigen Zeitraums anhand aufeinanderfolgender, gleichbleibender Züge der Wetterlage bestimmt wird, sind unter dem Begriff Großwettertyp verwandte Großwetterlagen mit gleicher Strömungsrichtung zusammengefasst (Gerstengarbe u. Werner 2010).

Die Daten des Messzeitraums beziehen sich auf den monatlich erscheinenden Witterungsreport des Deutschen Wetterdienstes (2010/11). Als Vergleichsgrundlage dient die 128-jährige Datenreihe des Katalogs der Großwetterlagen in Europa von Gerstengarbe u. Werner (2010). Eine Übersicht über das Auftreten der einzelnen Großwetterlagen ist Tabelle A2 zu entnehmen.

Abbildung 3 zeigt eine vergleichende Darstellung der Häufigkeitsverteilung der Großwettertypen während des Untersuchungszeitraums und dem langjährigen Mittel. Demnach tritt der Großwettertyp West im langjährigen Mittel am häufigsten auf, während sich die Westwetterlagen bezogen auf die Messperiode unterrepräsentiert darstellen. Die Großwettertypen Nordwest, Nordost und Südost traten im Messzeitraum ebenfalls seltener auf als in der Vergleichsreihe. Demgegenüber steht ein erhöhtes Vorkommen der Großwettertypen Nord, Süd, Südwest und Hochmitteleuropa während der Untersuchungsperiode. Folglich wies der Messzeitraum eine unterdurchschnittliche Häufigkeit zonaler Zirkulationsformen auf, während das Auftreten gemischter und meridionaler Zirkulation leicht über dem langjährigen Mittelwert lag (s. Abb. 4). Unterschiede zwischen den beiden Bezugszeiträumen ergeben sich auch bezüglich des Witterungscharakters.

Angesichts der nur einjährigen Messperiode sind die aufgezeigten Abweichungen im Auftreten der Großwetterlagen gegenüber dem langjährigen Mittel allerdings nicht ungewöhnlich. Daher wird für die Beurteilung der Repräsentativität

tivität des Messzeitraums der Fokus auf die Häufigkeit des Auftretens der für stadtklimatische Untersuchungen interessanten austauscharmen Strahlungswetterlagen gelegt.

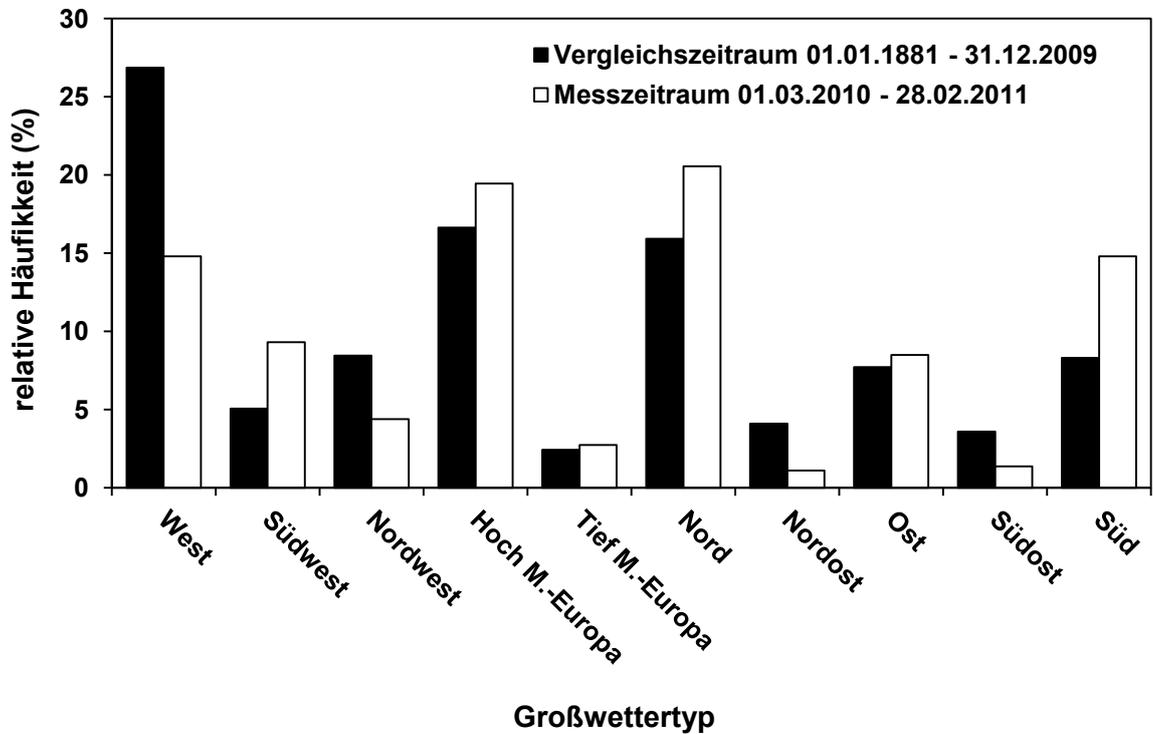


Abb. 3: Relative Häufigkeit der Großwettertypen für den Messzeitraum 01.03.2010 bis 28.02.2011 im Vergleich zum langjährigen Mittel von 1881 bis 2009

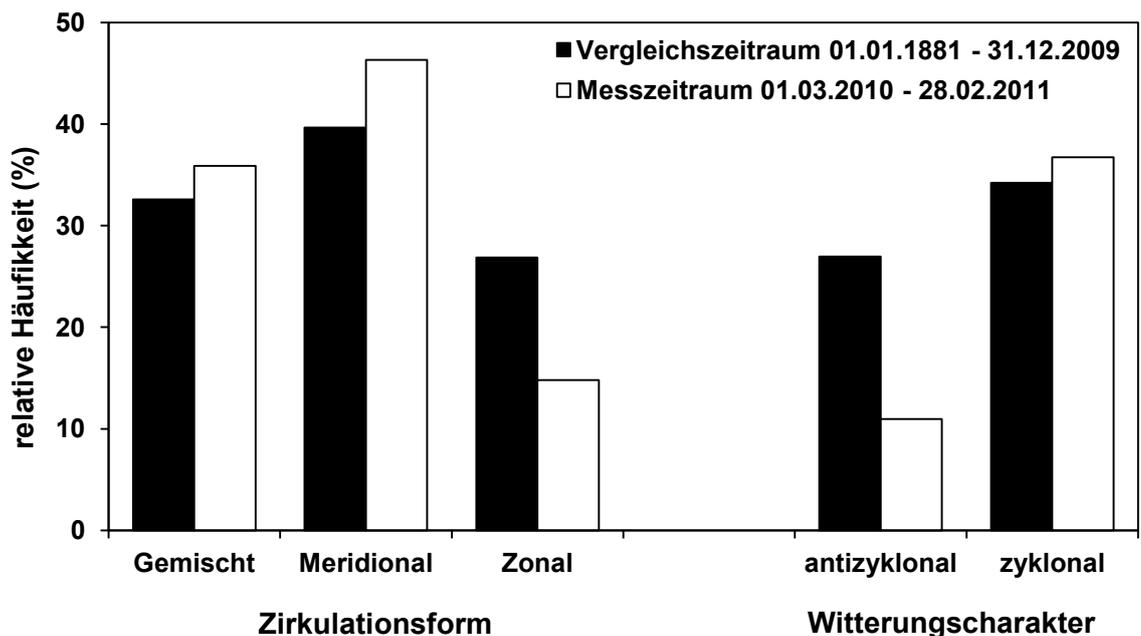


Abb. 4: Relative Häufigkeit der Zirkulationsformen und des Witterungscharakters für den Messzeitraum 01.03.2010 bis 28.02.2011 im Vergleich zum langjährigen Mittel von 1881 bis 2009

4.2 Bestimmung und Auftreten austauscharmer Strahlungstage

Die lokalklimatischen Unterschiede eines Untersuchungsraums mit heterogener Flächennutzung weisen ihre stärkste Ausprägung während autochthoner Witterung auf. Daher sind diese Zeiträume von besonderer Relevanz für stadtklimatische Untersuchungen. Charakteristisch für eine derartige, hauptsächlich in Verbindung mit antizyklonalen Hochdruckwetterlagen auftretende, Witterung sind geringe Windgeschwindigkeiten, weitestgehend wolkenfreier Himmel und somit im Sommer eine starke, ungestörte Ein- und Ausstrahlung. Aufgrund dieser Merkmale werden entsprechende Witterungsabschnitte auch als **austauscharme Strahlungswetterlagen** bezeichnet (Kuttler 2009).

Zur Bestimmung des Auftretens der Strahlungstage innerhalb des Untersuchungszeitraums wurde das häufig verwendete Klassifizierungssystem für Diffusionskategorien nach Pasquill (1961) und Polster (1969) verwendet. Bei diesem indirekten Verfahren wird ein Aussage über den atmosphärischen Schichtungszustand anhand der Windgeschwindigkeit (v) und der Strahlungsbilanz (Q) getroffen (s. Tab. 9).

Als Grundlage zur Bestimmung der Diffusionskategorien dienten daher die Stundenmittelwerte der Strahlungsbilanz (Q) gemessen an der Parkstation Nordsternpark (Station 5) und der Gebietsmittelwert aller fünf Klimafeststationen für die Windgeschwindigkeit.

Tab. 9: Definition der Pasquill'schen Diffusionskategorien nach Polster (1969) auf Basis der Strahlungsbilanz (Q) und der Windgeschwindigkeit (v)

v (m s ⁻¹)	Q (W m ⁻²)						
	≤ -34,8	-34,7 bis -13,9	-13,8 bis 62,5	62,6 bis 111,2	111,3 bis 243,5	243,6 bis 417,6	> 417,6
≤ 0,8	G	G	D	C	B	A	A
0,9 bis 1,6	G	G	D	C	B	B	A
1,7 bis 2,6	F	E	D	D	C	B	A
2,7 bis 4,3	E	D	D	D	C	B	B
4,4 bis 6,2	E	D	D	D	D	C	C
≥ 6,3	D	D	D	D	D	D	D
Diffusionskategorien des atmosphärischen Schichtungszustandes							
A: stark labil		D: indifferent (adiabatisch)			E: leicht stabil		
B: mäßig labil					F: mäßig stabil		
C: leicht labil					G: stark stabil		

Ein austauscharmer Strahlungstag liegt vor, wenn die folgenden Kriterien erfüllt sind:

- mindestens 50 % der Tagstunden weisen mäßig bis stark labile Schichtungszustände (Diffusionskategorie A oder B) auf und
- mindestens 75 % der Nachtstunden gehören den Diffusionskategorien F oder G (mäßig bis stark stabile Schichtung) an.

Unter Anwendung dieses Verfahrens und Berücksichtigung der genannten Kriterien konnten vorerst insgesamt 72 austauscharme Strahlungstage für den einjährigen Messzeitraum ermittelt werden. Da dieser Wert, insbesondere angesichts des relativ geringen Auftretens von Wetterlagen mit antizyklonalem Witterungscharakter (vgl. Abb. 4), sehr hoch angesetzt ist, wurde das Datenkollektiv dieser 72 Tage zunächst zusätzlich auf Plausibilität bezüglich der typischen Charakteristika eines Strahlungstages geprüft. Anschließend wurden lediglich jene Tage selektiert, an denen das nächtliche Maximum der Temperaturdifferenz zwischen dem urbanen Standort Altstadt (Station 2) und der Umlandstation Sutumer Feld (Station 4) mindestens 3 K und die mittlere Windgeschwindigkeit an der Umlandstation (St. 4 Sutumer Feld) höchstens 2 m s^{-1} betrug.

Demnach weist die Messperiode mit insgesamt 40 Strahlungstagen (11%) einen repräsentativen Wert an autochthonen Wetterlagen auf (Kuttler 2010b). Die mittleren Windgeschwindigkeiten der entsprechenden Tage sind Tabelle A3 zu entnehmen. Abbildung 5 zeigt die Verteilung der Strahlungstage im Jahresverlauf mit deutlichem Übergewicht (80 %) während der Sommermonate. Mit 23 Strahlungstagen stellte das Hoch Mitteleuropa den dominierenden Großwettertyp für autochthone Witterungen dar (vgl. Abb. A2).

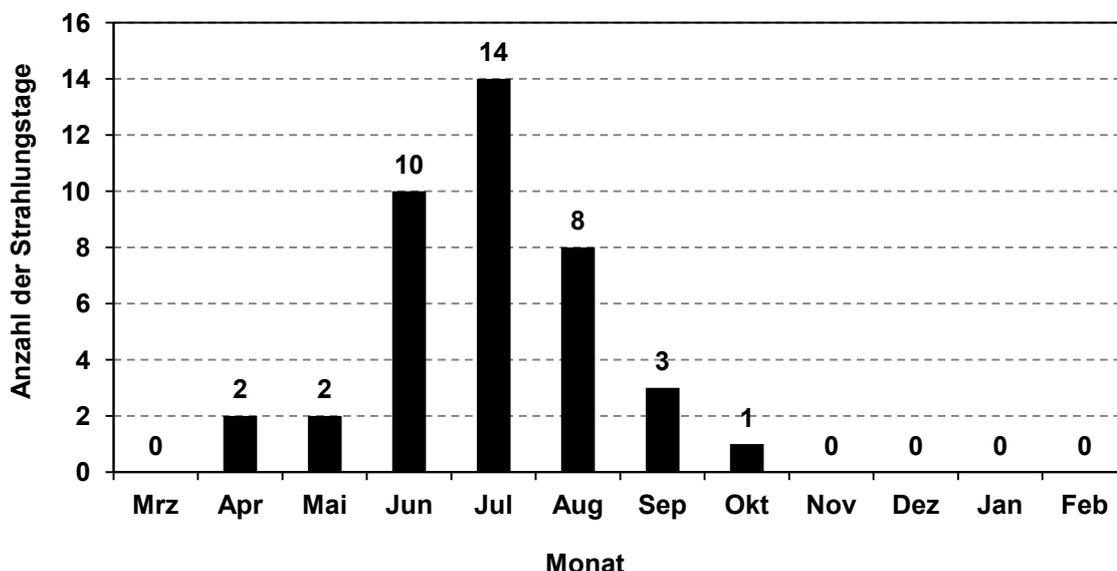


Abb. 5: Monatliche Verteilung der Strahlungstage für die Stadt Gelsenkirchen innerhalb der Messperiode vom 01.03.2010 bis 28.02.2011

5 Ergebnisse

Anhand der im Messzeitraum vom 01.03.2010 bis 28.02.2011 durchgeführten stationären und mobilen Messungen lassen sich detaillierte Aussagen über flächennutzungs- und geländespezifische Charakteristika bezüglich der klimatischen und lufthygienischen Verhältnisse innerhalb des Stadtgebietes von Gelsenkirchen treffen. Im Folgenden soll zunächst auf die meteorologischen Eigenschaften unter Betrachtung des Stationsmessnetzes, der nächtlichen Lufttemperaturmessfahrten und der SF₆-Tracerausbreitungskampagnen eingegangen werden. Anschließend werden die Ergebnisse der lufthygienischen Standortmessungen sowie der lufthygienischen Profilmessfahrten vorgestellt.

5.1 Lufttemperatur

Für stadtklimatische Untersuchungen ist die Betrachtung der räumlichen und zeitlichen Ausprägung der Lufttemperatur innerhalb eines Stadtgebietes von wesentlichem Interesse. Allgemein sind in stärker urban geprägten Räumen gegenüber dem unbebauten Umland höhere Werte für die Lufttemperatur zu erwarten. Dieses Phänomen der städtischen Wärmeinsel ist auf diverse Ursachen zurückzuführen und unterliegt in seiner Form und Intensität u.a. einer Abhängigkeit von der Flächennutzung, der Jahres- und Tageszeit sowie der Witterung (Kuttler 2010a).

Gründe für die Ausprägung der städtischen Überwärmung sind in dem erhöhten Versiegelungsgrad zu sehen, wodurch sich in Folge der verminderten Verdunstung der Anteil des sensiblen Wärmestroms gegenüber dem latenten Wärmestrom (Bowen-Verhältnis) erhöht, der Oberflächenvergrößerung durch die Dreidimensionalität der urbanen Baukörper und deren thermischen Eigenschaften sowie in dem durch erhöhte Rauigkeit beeinflussten verringerten atmosphärischen Austausch zu sehen. Des Weiteren haben auch anthropogene Wärmeemissionen aus technischen Prozessen einen Einfluss auf die Lufttemperaturverhältnisse einer Stadt (Hupfer u. Kuttler 2006).

Die Darstellung und Beurteilung der thermischen Verhältnisse innerhalb des Stadtgebietes von Gelsenkirchen erfolgt zunächst anhand des Stationsmessnetzes und wird im Anschluss durch die Ergebnisse der nächtlichen Temperaturmessfahrten ergänzt.

5.1.1 Charakteristika der punktuellen Lufttemperaturverteilung

Die fünf im Untersuchungsgebiet für den Zeitraum von einem Jahr (01.03.2010 – 28.02.2011) installierten Klimafeststationen liefern einen hochaufgelösten Überblick der zeitlichen Variabilität der Lufttemperaturverhältnisse in Gelsenkirchen. Durch einen interstationären Vergleich lassen sich zudem in begrenztem Maße räumliche Aussagen über die Intensität der Wärmeinsel zwischen Stadt und Umland treffen.

5.1.1.1 Mittleres Temperaturniveau im Untersuchungsgebiet

Das mittlere Temperaturniveau der fünf Stationsstandorte innerhalb des Untersuchungsgebietes von Gelsenkirchen wird anhand der arithmetischen Jahresmittelwerte der Lufttemperatur (\bar{t}) sowie der absoluten Temperaturminima ($t_{(\min)}$) und -maxima ($t_{(\max)}$) für den Gesamtzeitraum und die autochthonen Tage in Tabelle 10 dargestellt.

Daraus geht hervor, dass die Jahresmitteltemperaturen bezogen auf den Gesamtzeitraum in Abhängigkeit des Standortes zwischen 10,1 °C und 11,0 °C schwanken. Die beiden Klimastationen des urban geprägten Raums in Buer (Station 1) und Altstadt (Station 2) weisen dabei sowohl die höchsten Jahresmitteltemperaturen, als auch die wärmsten höchsten Werte der absoluten Lufttemperaturminima und -maxima auf. Während die Unterschiede zwischen den Stationen bezogen auf die absoluten Lufttemperaturmaxima relativ gering sind (St.2 Altstadt: 35,5 °C und St. 4 Sutumer Feld: 34,5 °C), beträgt die Differenz der absoluten Lufttemperaturminima zwischen der wärmsten (St. 2 Altstadt: -7,1 °C) und kältesten (St. 5 Nordsternpark: -11,4 °C) Station 4,3 K.

Tab. 10: Arithmetischer Mittelwert der Lufttemperatur (\bar{t}), sowie die absoluten Lufttemperaturminima ($t_{(\min)}$) und -maxima ($t_{(\max)}$) während des Gesamtzeitraums und für die autochthonen Tage (Messzeitraum: 01.03.2010 bis 28.02.2011; Basis: Stundenmittelwerte)

Zeitraum	Lufttemperatur (°C)	St. 1 BUE	St. 2 AST	St. 3 HAS	St. 4 SUT	St. 5 NOP
Gesamtzeitraum	\bar{t}	10,7	11,0	10,2	10,4	10,1
	$t_{(\min)}$	-7,3	-7,1	-10,0	-8,3	-11,4
	$t_{(\max)}$	35,1	35,5	34,6	34,5	34,7
autochthone Tage	\bar{t}	20,8	21,0	19,5	19,9	19,2
	$t_{(\min)}$	3,6	3,4	-0,2	1,4	-0,6
	$t_{(\max)}$	35,1	35,5	34,6	34,5	34,7

Die allgemein höheren Werte der Kenngrößen \bar{t} und $t_{(\min)}$ für autochthone Tage sind auf die wesentliche Konzentration des Auftretens der Strahlungswetterlagen im Sommerhalbjahr zurückzuführen. Während sich die interstationären Differenzen für die absoluten Lufttemperaturminima (4,2 K) und -maxima (1,0 K) nahezu identisch mit dem Gesamtzeitraum verhalten, ist der Unterschied des Mittelwertes der Lufttemperatur zwischen der wärmsten (St.2 Altstadt: 21,0 °C) und kältesten Station (St.5 Nordsternpark: 19,2 °C) mit 1,8 K doppelt so groß wie im Gesamtzeitraum (0,9 K).

In Tabelle A4 sind zusätzlich die entsprechenden statistischen Kennwerte für die einzelnen Monate und Jahreszeiten des Messzeitraums aufgeführt. Demnach wurden an dem Innenstadtstandort Altstadt (Station 2) jeden Monat die höchsten Werte der mittleren Lufttemperatur und des absoluten Lufttemperaturminimums erreicht. Die Parkstation Nordsternpark (Station 5) wies hingegen fast jeden Monat die geringsten Werte für \bar{t} und $t_{(\min)}$ auf. Die größten Differenzen der Monatsmitteltemperatur zwischen diesen beiden Standorten ergaben sich dabei während der beiden Sommermonate Juni (1,2 K) und Juli (1,5 K). Bei einer vergleichenden Betrachtung der Jahreszeiten fällt auf, dass sich die durch landwirtschaftliche Flächennutzung geprägte Umlandstation Sutumer Feld (Station 4) bei fast allen aufgeführten Kenngrößen wärmer darstellt als der Vorortstandort Hassel (Station 3).

Dies wird insbesondere durch Abbildung 6 verdeutlicht, in der die Abweichungen vom Gebietsmittelwert der jahreszeitlich gemittelten täglichen Lufttemperaturamplitude ($\Delta t_{(\text{Amp})}$) und Lufttemperaturmittelwerte ($\Delta t_{(\text{mit})}$) für die fünf Standorte dargestellt werden. Anhand dieser Abbildung lässt sich das thermische Niveau eines Standortes im Kontext des gesamten Stationskontingentes beschreiben sowie Unterschiede und Gemeinsamkeiten der Stationen aufdecken.

Unverkennbar weisen einerseits die beiden Stadtstationen Buer (Station 1) und Altstadt (Station 2) mit einer durchweg positiven Abweichung der mittleren Lufttemperatur sowie geringeren Temperaturamplituden gegenüber dem Gebietsmittel eine ähnliche Ausprägung des thermischen Niveaus auf. Andererseits zeichnen sich die Standorte Nordsternpark (Station 5) und Hassel (Station 3) durch negative Abweichungen der Lufttemperaturmittelwerte und erhöhte Amplituden der Lufttemperatur im Vergleich zum Gebietsmittelwert aus. Daher lässt sich die Vorortstation Hassel (Station 3) eher dem thermischen Niveau des Umlandes als dem stärker urban geprägten Raum zuordnen. Als Gründe für die etwas kühleren Verhältnisse in Hassel sind der offengestaltete Bebauungscharakter mit einer relativ geringen Versiegelung und hohem Grünflächenanteil im Norden von Hassel und die Anbindung zu

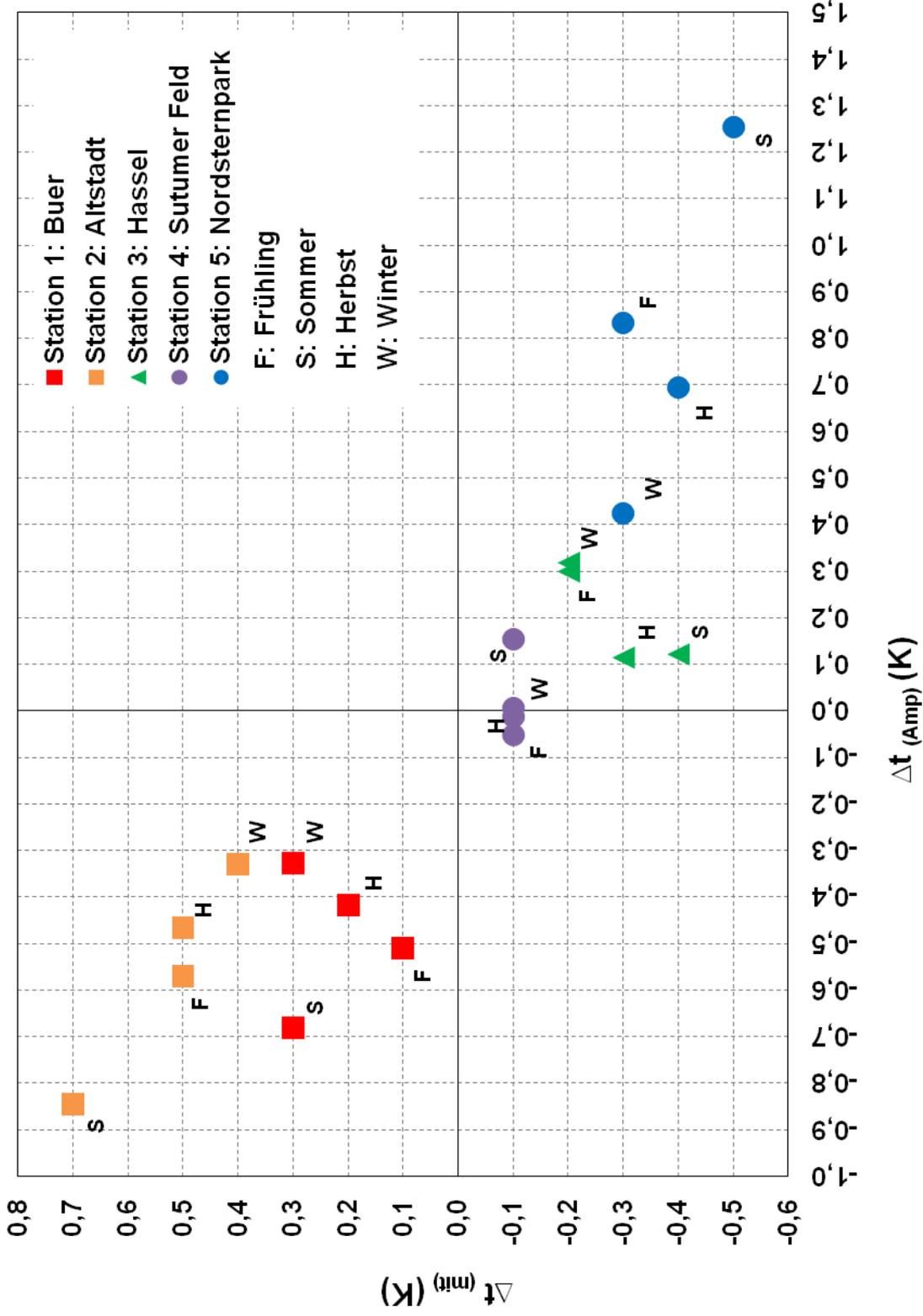


Abb. 6: Abweichung der jahreszeitlich gemittelten Lufttemperaturamplitude ($\Delta t_{(Amp)}$) und den Lufttemperaturmittelwerten ($\Delta t_{(mitt)}$) der Klimafeststationen im Gelsenkirchener Untersuchungsgebiet vom Gebietsmittelwert (Messzeitraum: 01.03.2010 bis 28.02.2011)

großflächigen, meist landwirtschaftlich genutzten Freiflächen im Norden des Stadtgebietes zu sehen. Zudem befand sich die Messstation im Einflussbereich einer leichten Geländevertiefung im Bereich des Hasseler Baches, bei der von einer Nord-Süd-ausgerichteten Kaltluftbewegung ausgegangen werden kann. Obwohl der Standort Hassel (Station 3) gegenüber dem Gutachten der „Gesamtstädtischen Klimaanalyse Gelsenkirchen“ aus dem Jahre 2000 (Kuttler et al. 2000) verlagert wurde, sind für die beiden Messperioden ähnliche lokalklimatische Charakteristika zu verzeichnen.

An der Umlandstation Sutumer Feld (Station 4) stellten sich insgesamt die geringsten Abweichungen vom Gebietsmittelwert ein. Die Ursache für das etwas gedämpfte thermische Verhalten dieses Standortes ist in der Geländebeschaffenheit begründet. Das Relief fällt im Bereich des Sutumer Feldes in Richtung West und Südwest ab. Dies hat, wie bereits im Rahmen der Gesamtstädtischen Klimaanalyse Gelsenkirchen aus dem Jahre 2000 anhand einer Tracerausbreitungskampagne nachgewiesen werden konnte, ein Abfließen der auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen gebildeten nächtlichen Kaltluft in Richtung der Wohnbebauung von Beckhausen zur Folge (Kuttler et al. 2000).

Bezüglich der jahreszeitlich bedingten Unterschiede lässt sich an fast allen Stationen die größte Abweichung vom Gebietsmittel sowohl für den Lufttemperaturmittelwert ($\Delta t_{(mit)}$), als auch für die Temperaturamplitude ($\Delta t_{(Amp)}$) im Sommer feststellen, während die geringsten Abweichungen im Winter zu verzeichnen sind. Eine Ausnahme bildet Station 3 (Hassel), an der sich dieses Verhalten bezogen auf $\Delta t_{(Amp)}$ umgekehrt zeigt.

Insgesamt lässt sich bereits anhand dieser Darstellungen zum mittleren Temperaturniveau im Untersuchungsgebiet eine deutliche Überwärmung infolge des städtischen Einflusses an den beiden Standorten Buer (Station 1) und Altstadt (Station 2) feststellen. Die Ausprägungen der Form und Intensität der urbanen Wärmeinsel von Gelsenkirchen soll in den folgenden Kapiteln daher noch näher untersucht werden.

5.1.1.2 Klimatologische Ereignistage

Ein weiteres Instrument zur Aufdeckung interstationärer Differenzen des thermischen Verhaltens im Jahresverlauf stellen klimatologische Ereignistage dar. Diese geben die absolute Häufigkeit des Auftretens von Über- bzw. Unterschreitungstagen bestimmter Schwellenwerte der Lufttemperatur an. Eine Übersicht über klimatologische Ereignistage während des Messzeitraums im Untersuchungsgebiet von Gelsenkirchen gibt Tabelle 11. Die Auswertung der

Ereignistage bezieht sich dabei jeweils auf das gesamte Datenkollektiv des einjährigen Messzeitraums. Die jahreszeitliche Klassifizierung in Sommer und Winter orientiert sich hierbei lediglich an der Definition der Ereignistage als Über- oder Unterschreitung des jeweiligen Schwellenwertes der Lufttemperatur. Daher werden beispielsweise auch Tage des Sommermonates August mit einer Tagesmitteltemperatur kleiner 15 °C als Heiztag bezeichnet und somit als winterlicher klimatologischer Ereignistag gewertet.

Die städtisch geprägten Standorte Buer (Station 1) und Altstadt (Station 2) weisen insgesamt die höchsten Werte für die sommerlichen und gleichzeitig die niedrigsten Werte für die winterlichen Ereignistage auf. Dabei können die Differenzen zwischen Stadt und Umland beachtliche Ausmaße annehmen. Für die Eis- und Frosttage (Def. s. Tab. 11) kann an den Stadtstationen eine Reduzierung um bis zu 20 % bzw. 25% festgestellt werden, während Grillpartytage und heiße Nächte hier bis zu 37 % bzw. 57% häufiger auftreten.

Insbesondere das erhöhte Auftreten heißer Nächte im städtischen Bereich kann zu einer bioklimatischen Belastung der Bewohner führen. Dieser Thematik wird allerdings im weiteren Verlauf ein gesondertes Kapitel (s. Kap. 5.5) gewidmet und daher an dieser Stelle nicht vertieft.

Ein besonders auffälliges Verhalten bezüglich des Auftretens der verschiedenen klimatologischen Ereignistage weist zudem die Vorortstation Hassel (Station 3) auf. Hier traten neben dem Maximum an Heiz- und Eistagen, auch die Minimumwerte für die Sommertage und heißen Tage auf. Dieses atypische Verhalten für eine Vorortstation ist durch die bereits beschriebenen Standort-eigenschaften zu begründen.

Tab. 11: Anzahl klimatologischer Ereignistage an den Klimafeststationen im Stadtgebiet von Gelsenkirchen (Messzeitraum: 01.03.2010 bis 28.02.2011)

	Ereignistage	Definition	St. 1 BUE	St. 2 AST	St. 3 HAS	St. 4 SUT	St. 5 NOP
Winter	Heiztage	$\bar{t} < 15\text{ °C}$	249	244	257	253	254
	kalte Tage	$\bar{t} < 0\text{ °C}$	36	35	40	39	42
	Frosttage	$t_{(\min)} \leq 0\text{ °C}$	56	53	66	64	71
	Eistage	$t_{(\max)} < 0\text{ °C}$	17	16	20	20	19
Sommer	warme Tage	$\bar{t} \geq 20\text{ °C}$	41	44	33	37	31
	Sommertage	$t_{(\max)} > 25\text{ °C}$	36	39	34	35	35
	heiße Tage	$t_{(\max)} > 30\text{ °C}$	13	14	11	12	13
	Grillpartytage	$t_{(21\text{ h})} > 20\text{ °C}$	50	62	39	43	36
	heiße Nächte	$t_{(0\text{ h})} > 20\text{ °C}$	25	28	15	18	12

Insgesamt kann durch das unterschiedliche Auftreten der Ereignistage innerhalb des Stationskontingentes ein städtischer Einfluss auf die Lufttemperatur über den gesamten Jahresverlauf hinweg abgeleitet werden.

5.1.1.3 Unterschiede im Tagesgang der Lufttemperatur

In Abbildung 7 werden die durchschnittlichen diurnalen Verläufe der Lufttemperatur an den fünf Klimafeststationen für den Gesamtzeitraum sowie die autochthonen Tage aufgezeigt. Da die in Kapitel 4.2 bestimmten austausch-
armen Strahlungstage vorwiegend im Sommerhalbjahr auftraten, sind die Werte der mittleren Lufttemperatur insgesamt höher angesiedelt. Von besonderem Interesse bei einer vergleichenden Betrachtung der dargestellten Tagesgänge sind daher die unterschiedlichen Verläufe der Temperaturkurven und somit einerseits die tageszeitlich variierenden Differenzen zwischen den Standorten und andererseits die Amplituden der Lufttemperatur an den einzelnen Stationen.

Bezogen auf den **Gesamtzeitraum** betragen die Amplituden der Lufttemperatur im Tagesgang zwischen 4,9 K (St. 2 Altstadt) und 5,9 K (St. 5 Nordsternpark). Dabei stellen sich die beiden Stadtstationen Buer (Station 1) und Altstadt (Station 2) am wärmsten dar. Allerdings sind die Differenzen zwischen den Standorten insbesondere in den Vormittagsstunden bei einer maximalen Abweichung von 0,3 K (St. 2 Altstadt - St. 5 Nordsternpark) relativ gering. In der Nacht nimmt die maximale Diskrepanz der Lufttemperatur zwischen der Stadtstation Altstadt (Station 2) und der Parkstation Nordsternpark (Station 5) mit 1,5 K einen größeren Wert an.

Für die **autochthonen Tage** ergeben sich noch weitaus größere nächtliche Unterschiede in der Lufttemperatur zwischen den verschiedenen Standorten. So stellt sich die maximale mittlere Differenz von 4 K bezogen auf das Stationspaar Altstadt (Station 2) und Nordsternpark (Station 5) zwischen 03:00 Uhr und 05:00 Uhr (MEZ) ein. Die Unterschiede der Stadtstation Altstadt (Station 2) zur Umlandstation Sutumer Feld (Station 4) belaufen sich im selben Zeitraum auf lediglich 2,1 K bis 2,2 K. In Folge des Schattenwurfes der Gebäude und insbesondere durch die thermischen Eigenschaften der urbanen Oberflächen gegenüber den natürlichen, unversiegelten Flächen des Umlandes (höhere Temperatur- und Wärmeleitfähigkeit sowie höherer Wärmeeindringkoeffizient) weisen die städtisch geprägten Standorte Buer (Station 1) und Altstadt (Station 2) eine geringere Erwärmungsrate in den frühen Morgenstunden auf (Kuttler 2009). Während sich die Lufttemperatur am Standort Nord-

sternpark (Station 5) an Strahlungswettertagen zwischen 05:00 Uhr und 09:00 Uhr (MEZ) um durchschnittlich 8,2 K erhöht, erfährt Station 2 (Altstadt) im selben Zeitraum lediglich eine Erwärmung um 4,2 K. Diese thermische Trägheit des urbanen Raumes führt dazu, dass sich die Werte der Lufttemperatur im Laufe des Vormittags immer weiter annähern. In eingeschränktem Maße lässt sich dies auch bei der Betrachtung des Gesamtzeitraums beobachten. Im Falle der autochthonen Tage ist dabei sogar eine Umkehr des Temperaturgradienten zwischen den Standorten Altstadt (Station 2) und Nordsternpark (Station 5) festzustellen. Das bedeutet, dass die Lufttemperatur an der Parkstation (St. 5 Nordsternpark) zwischen 09:00 Uhr und 12:00 Uhr (MEZ) geringfügig höher (0,1 K) ist als an der Stadtstation (St. 2 Altstadt). Analog zur morgendlichen Erwärmungsrate stellt sich auch die Abkühlung der Lufttemperatur in den Abendstunden an den Stadtstationen (St. 1 Buer und St. 2 Altstadt) gegenüber den übrigen Standorten verringert dar.

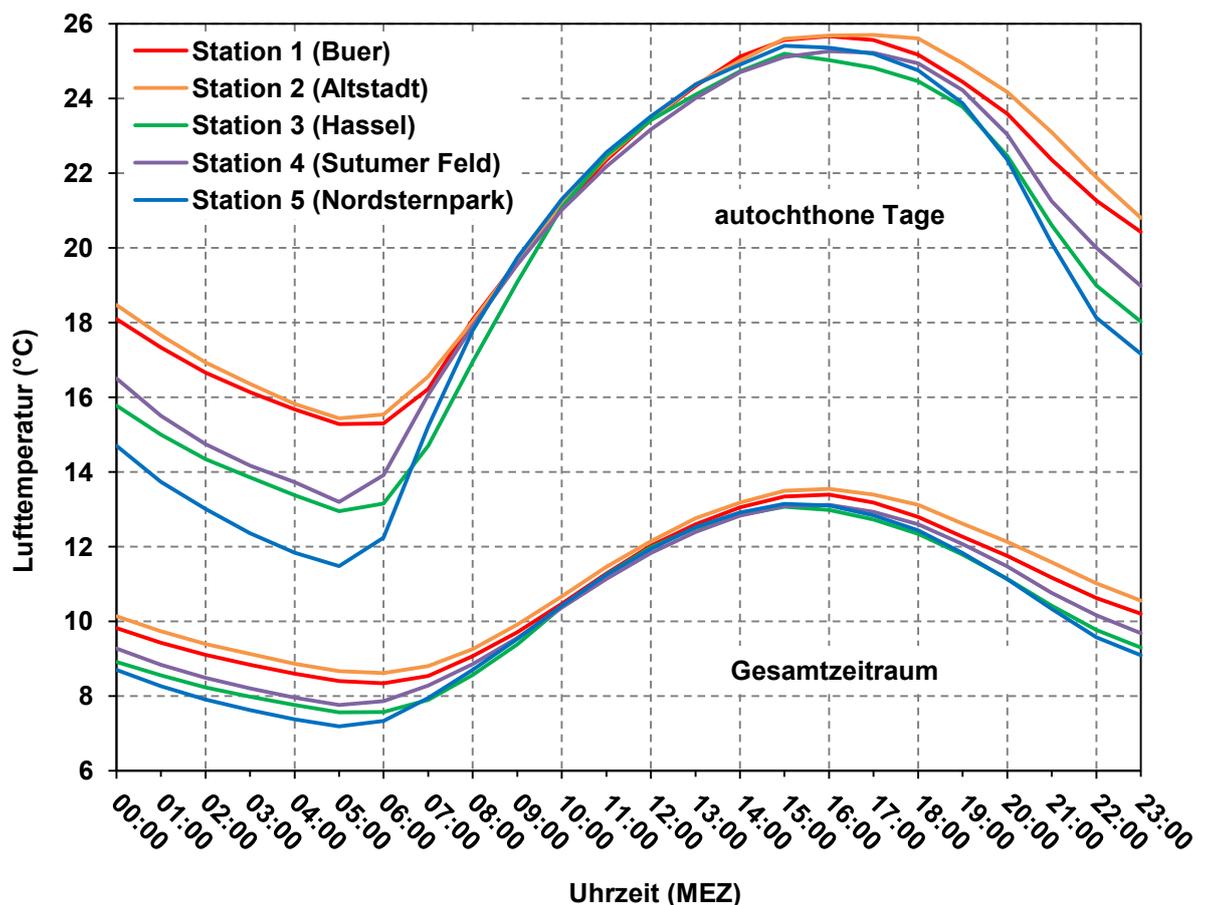


Abb. 7: Vergleich der durchschnittlichen Tagesgänge der Lufttemperatur im Gesamtzeitraum sowie an autochthonen Tagen im Gelsenkirchener Untersuchungsgebiet (Messzeitraum: 01.03.2010 bis 28.02.2011)

Folglich nimmt auch die Amplitude im Tagesgang der Stadtstationen (St. 1 Buer und St. 2 Altstadt) geringere Werte an. Während die Standorte Buer (Station 1) und Altstadt (Station 2) eine Temperaturspanne von 10,4 K bzw. 10,3 K aufweisen, beträgt dieser Wert an der Parkstation Nordsternpark (Station 5) 13,9 K. Bezüglich der Temperaturamplituden gilt insgesamt (sowohl für den Gesamtzeitraum als auch für die autochthonen Tage), dass je höher das Temperaturniveau eines Standortes ist, sich umso geringer die Amplitude der Lufttemperatur im Tagesverlauf darstellt.

5.1.1.4 Intensität der Wärmeinsel zwischen Stadt und Umland

Zur detaillierten Darstellung der Wärmeinselintensität des Untersuchungsraums im Jahres- und Tagesgang dienen direkte interstationäre Vergleiche der Lufttemperatur zwischen Stadt und Umland. Das Sutumer Feld (Station 4) repräsentiert dabei die Referenzstation für die thermischen Verhältnisse des Umlandes. Tabelle A5 bis A8 liefern einen ausführlichen Überblick der mittleren Lufttemperaturdifferenzen eines jeden Tages zwischen der Umlandstation Sutumer Feld (Station 4) und den Stationen 1 bis 3 sowie 5 (Buer, Altstadt, Hassel, Nordsternpark). Demnach weisen die Stadtstationen Buer (Station 1) und Altstadt (Station 2) überwiegend positive und die Standorte Hassel (Station 3) sowie Nordsternpark (Station 5) negative Temperaturdifferenzen gegenüber der Umlandstation (St. 4 Sutumer Feld) auf. Dies wird in Abbildung A3 nochmals in Form der kumulativen Häufigkeiten der Temperaturdifferenzen veranschaulicht.

Während die stark urban geprägten Standorte Buer (Station 1) und Altstadt (Station 2) in 63 % bzw. 93 % der Jahresstunden höhere Temperaturen gegenüber dem Umlandstandort (St. 4 Sutumer Feld) aufweisen, wurden in Hassel (Station 3) und am Nordsternpark (Station 5) zu 67 % bzw. 62 % geringere Lufttemperaturen gemessen. Der Stadtklimaeffekt äußert sich am stärksten zwischen dem Stationspaar Altstadt (Station 2) und Sutumer Feld (Station 4). Allerdings beträgt die positive Abweichung der Lufttemperatur zwischen diesen beiden Stationen in 78 % der Jahresstunden weniger als 1 K. Inwiefern die Intensität der urbanen Wärmeinsel in einer Abhängigkeit zur Jahres- und Tageszeit während des Messzeitraums stand, wird im Folgenden anhand der Lufttemperaturdifferenzen zwischen den Standorten Altstadt (Station 2) und Sutumer Feld (Station 4) analysiert.

In Abbildung 8 werden die mittleren Tagesgänge der Wärmeinselintensität zwischen der Stadtstation Altstadt (Station 2) und der Umlandstation Sutumer

Feld (Station 4) differenziert nach Jahreszeiten dargestellt. Die einzelnen Jahreszeiten zeigen deutliche Unterschiede in der Intensität und im Verlauf der Lufttemperaturdifferenzen zwischen Stadt und Umland. Im Sommer bildet sich die städtische Überwärmung am stärksten aus. Während tagsüber die Stadt-Umland-Diskrepanz relativ gering ist, erreicht sie in der Nacht Werte um 1,4 K. Hierbei sei angemerkt, dass sich diese Auswertung auf die mittlere Situation des gesamten Datenkollektivs bezieht. Bereits in Kapitel 5.1.1.3 konnte aufgezeigt werden, in welchem Maße die interstationären Unterschiede während der Strahlungstage und insbesondere -nächte zunimmt.

Im Frühling, Herbst und Winter stellt sich der Tagesgang in zunehmend gedämpfter Form dar. Zudem sind die Verläufe bedingt durch die unterschiedliche Tageslänge (Sonnenauf- bis untergang) untereinander verschoben. Während das Minimum der Wärmeinselintensität im Sommer am Morgen zwischen 08:00 Uhr und 09:00 Uhr (MEZ) erreicht wird, stellt es sich im Frühling um etwa eine Stunde zeitverzögert ein. In den Nachmittagsstunden zwischen 12:00 Uhr und 17:00 Uhr (MEZ) befinden sich die Stadt-Umland-Differenzen der Lufttemperatur zu allen Jahreszeiten auf etwa gleichem Niveau und weisen mit zunehmender Tageszeit einen ansteigenden Trend auf.

Eine noch differenzierte Aussage über den Verlauf der Wärmeinselintensität im Jahres- und Tagesgang erlaubt Abbildung 9. Anhand des Isoplethendiagramms kann für jede Tagesstunde die mittlere monatliche Temperaturdifferenz zwischen der Stadtstation Altstadt (Station 2) und dem Umlandstandort Sutumer Feld (Station 4) abgelesen werden. Demnach stellt sich die stärkste Ausprägung der städtischen Überwärmung mit einem Monatsmittelwert von über 1,8 K in der zweiten Nachthälfte des Julis ein. Das absolute Maximum der Wärmeinselintensität zwischen diesen beiden Stationen von 5,0 K wurde allerdings während einer autochthonen Strahlungswetterlage in der Nacht des 23. Juni 2010 ermittelt. Hingegen ist in den Wintermonaten Januar und Februar kaum noch ein Tagesgang der Wärmeinselintensität erkennbar.

Ergänzend zu diesen Ausführungen über die zeitliche Variabilität der urbanen Wärmeinsel, soll im Folgenden auf die räumliche Struktur der thermischen Anomalie innerhalb des Untersuchungsgebietes anhand der nächtlichen Temperaturmessfahrten eingegangen werden.

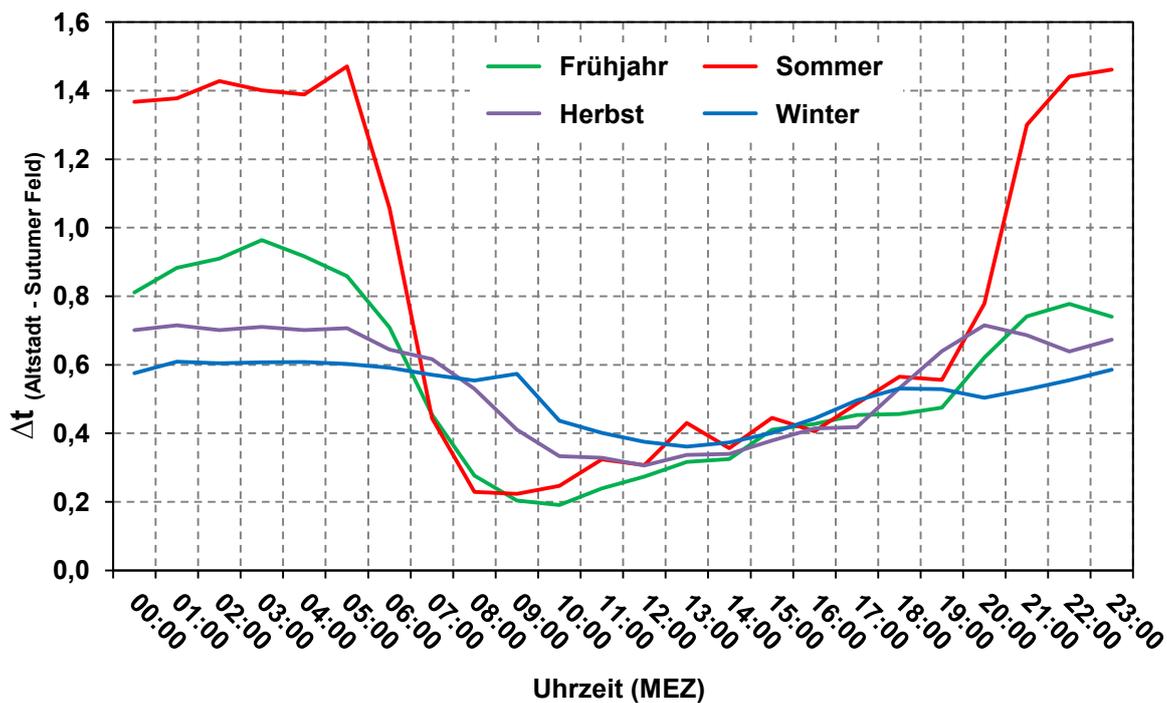


Abb. 8: Mittlere Tagesgänge der Wärmeinselintensität (K) zwischen der Stadtstation Altstadt (Station 2) und der Umlandstation Sutumer Feld (Station 4) differenziert nach Jahreszeiten (Messzeitraum: 01.03.2010 bis 28.02.2011)

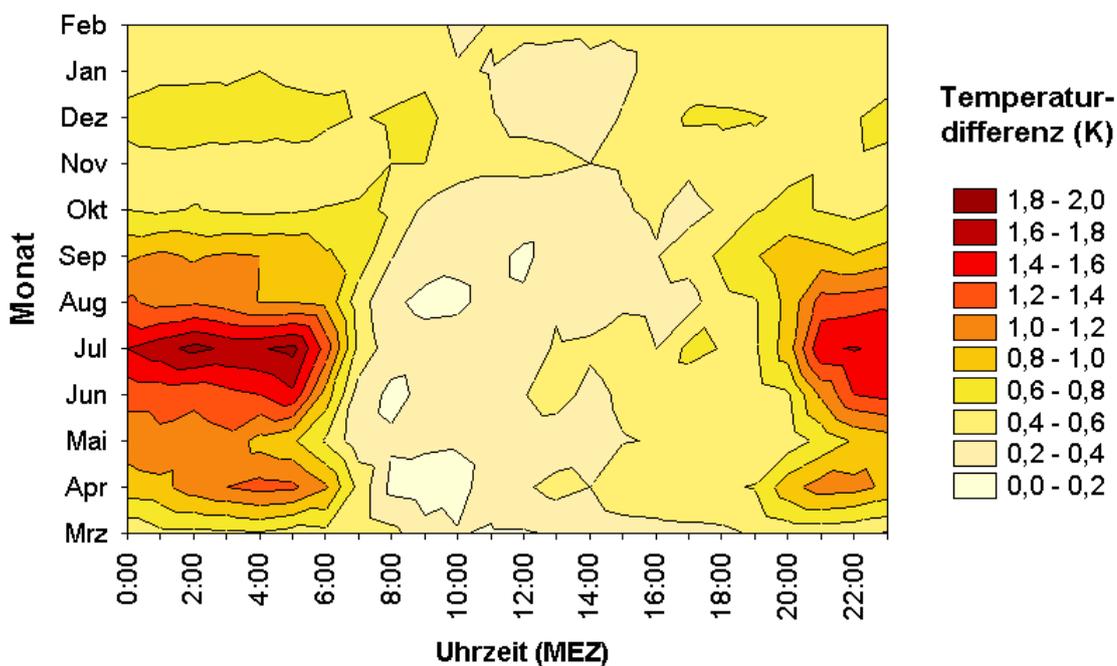


Abb. 9: Mittlere Isoplethen der Wärmeinselintensität (K) anhand der Temperaturdifferenz zwischen den Standorten Altstadt (Station 2) und Sutumer Feld (Station 4) (Messzeitraum: 01.03.2010 bis 28.02.2011)

5.1.2 Charakteristika der flächenhaften Lufttemperaturverteilung

Zur Untersuchung der räumlichen Lufttemperaturverteilung innerhalb des Stadtgebietes von Gelsenkirchen während austauscharmer Strahlungsächte wurden jeweils eine Messfahrt im Frühjahr (06./07.04.2010 21:00 - 01:55 MEZ), Sommer (24./25.06.2010 22:20 - 02:35 MEZ) und Herbst (14./15.10.2010 21:55 - 03:15 MEZ) durchgeführt.

In Abbildung A4 werden die Streckenverläufe der aus den Messfahrten berechneten und zeitkorrigierten Abweichungen der Lufttemperatur vom Gebietsmittelwert dargestellt. Es wird deutlich, dass die Messfahrten insgesamt eine tendenzielle Übereinstimmung der Temperaturanomalie aufweisen. Allerdings lassen die Abweichungen während der sommerlichen Messfahrt (24./25.06.2010) eine weniger starke Ausprägung erkennen. Die folgenden Auswertungen zur räumlichen Ausprägung der städtischen Wärmeinsel konzentrieren sich daher auf die mittlere Situation der Messfahrten vom 06./07.04.2010 und 14./15.10.2010.

Auskunft über die gemessenen und korrigierten Lufttemperaturen der entsprechenden nächtlichen Messfahrten liefern die Abbildungen A5 und A6. Die Temperaturdifferenzierung dieser beiden Messfahrten zeigt bei einer maximalen Amplitude der korrigierten Lufttemperatur zwischen den wärmsten und kältesten Messpunkten von 7,1 K (Frühjahr) bzw. 6,6 K (Herbst), deutliche Unterschiede im thermischen Niveau auf. Einen ersten Überblick über die räumliche Struktur der Lufttemperaturverteilung innerhalb des Stadtgebietes von Gelsenkirchen verschafft eine Profildarstellung der mittleren Temperaturanomalie auf Basis der beiden nächtlichen Messfahrten vom 06./07.04.2010 und 14./15.10.2010 (Abb. 10).

Dabei stellen sich insbesondere die Siedlungsbereiche der beiden Stadtzentren Buer und Altstadt sowie die Streckenabschnitte entlang der BAB 2 im Bereich Erle als stark überwärmt dar, während negative Abweichungen vom Gebietsmittel im Waldgebiet Resser Mark, NSG Emscherbruch, Nordsternpark, Revierpark Nienhausen sowie im Bereich der Freiflächen des Landschaftsparks Mechtenberg im Süden und den landwirtschaftlichen Flächen in Scholven im Norden des Stadtgebietes festgestellt werden konnten.

In Karte 2 wird eine auf Basis der in Abbildung 10 dargestellten mittleren Streckenabschnittswerte interpolierte, flächenhaften Aussage der nächtlichen Lufttemperaturverteilung in Gelsenkirchen anhand einer Isanomalienkarte gezeigt. Neben den bereits erwähnten Hauptzentren der städtischen Überwärmung in Buer, Erle und Altstadt zeichnen sich auch die Siedlungs- und Industriebereiche der Stadtteile Ückendorf, Neustadt, Bulmke-Hüllen, Scholven sowie Schalke und Schalke-Nord durch eine erhöhte positive, nächtliche Tem-

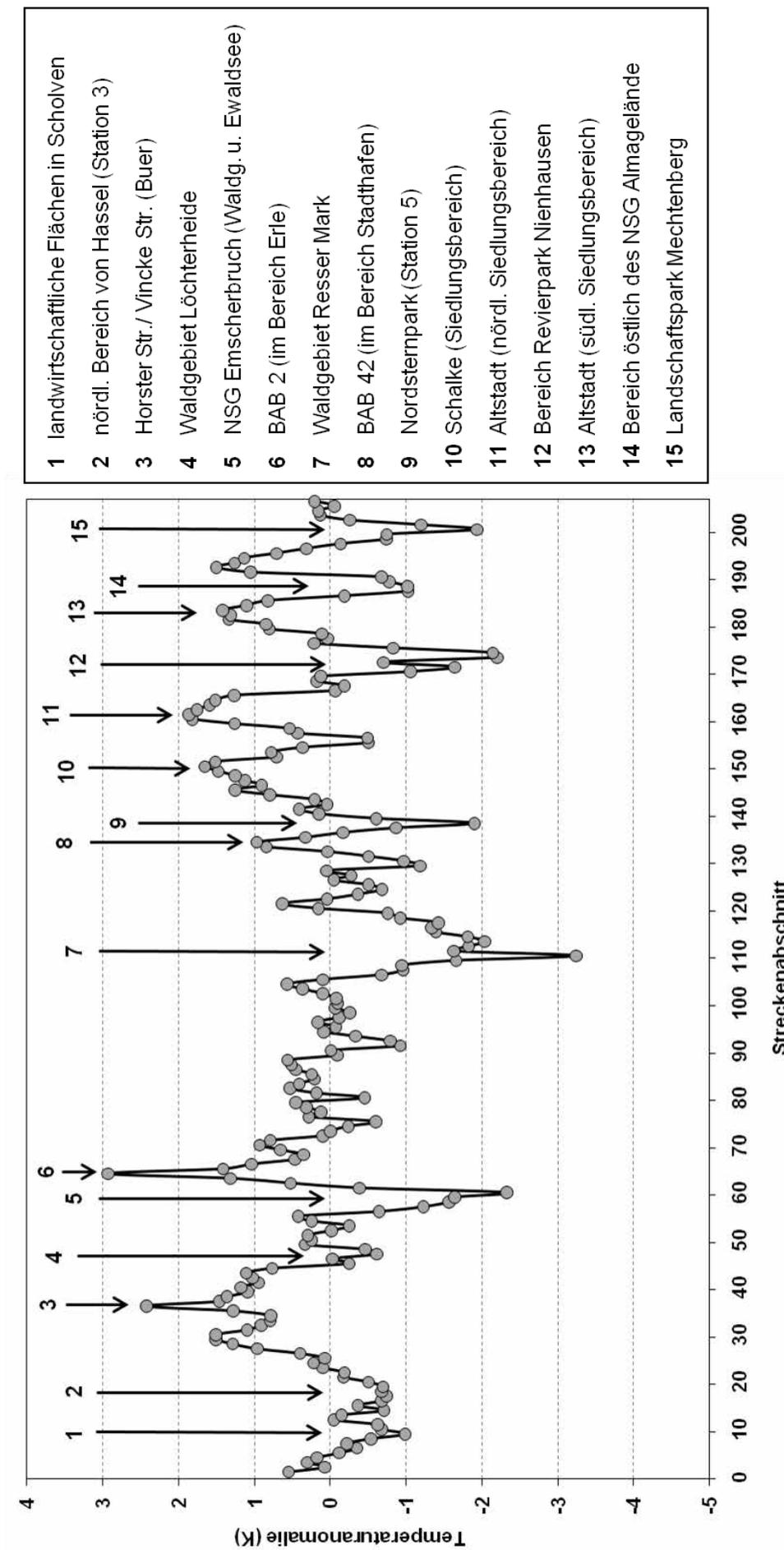
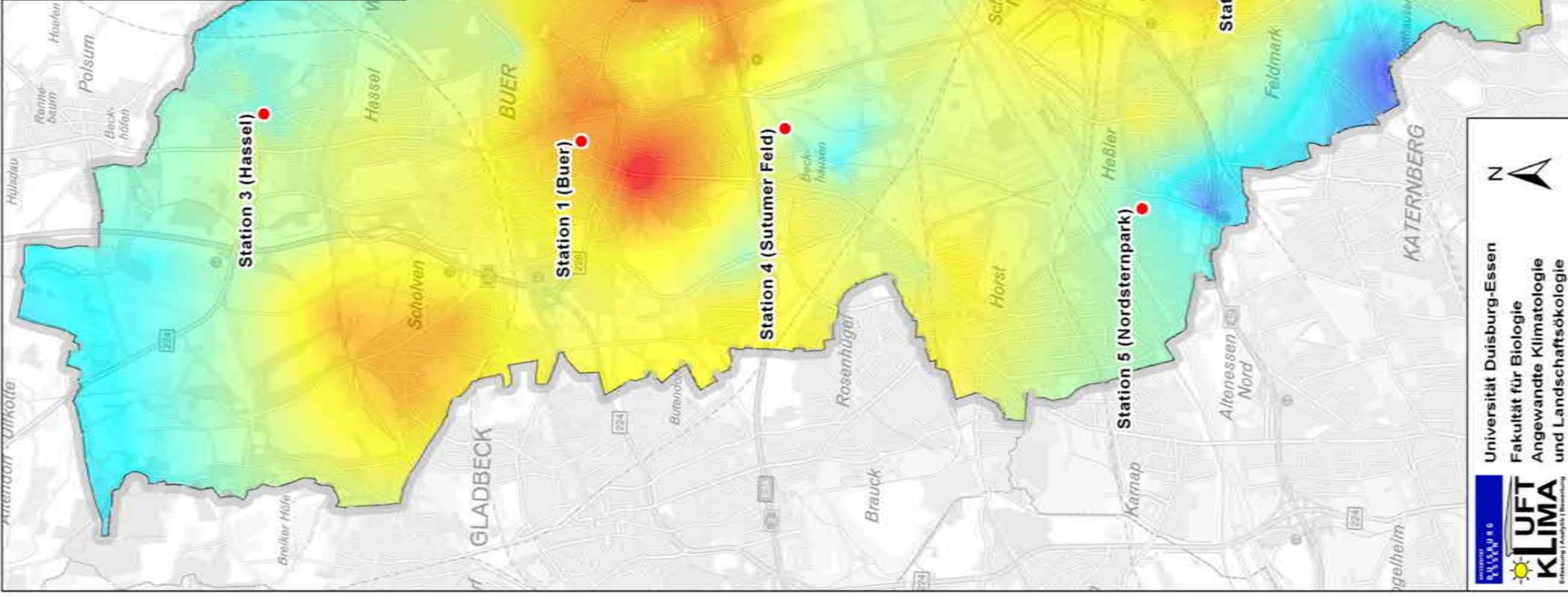
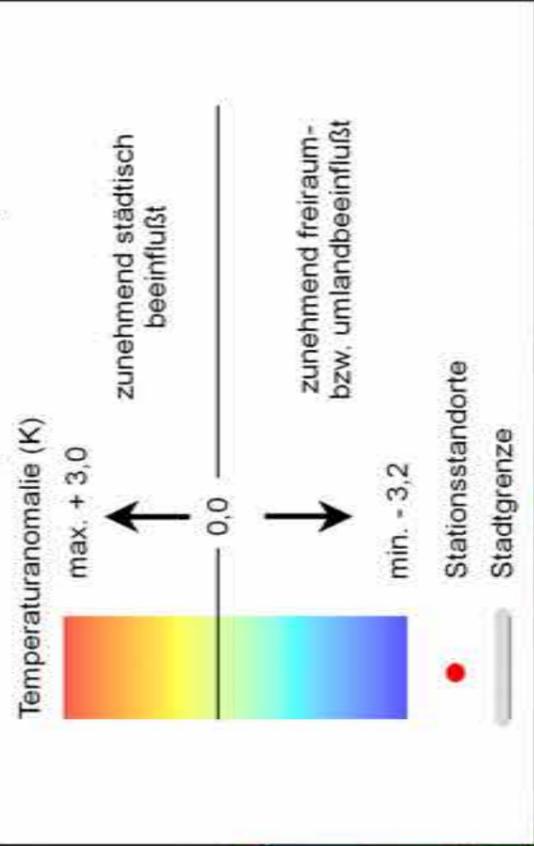


Abb. 10: Profildarstellung der mittleren Temperaturanomalien der einzelnen Streckenabschnittsmittel auf Basis der nächtlichen Lufttemperaturmessungen am 06./07.04.2010 (21:00 – 01:55 MEZ) und 14./15.10.2010 (21:55 – 03:15 MEZ)

Karte 2: Anomalie der nächtlichen Lufttemperaturverteilung im Untersuchungsgebiet Gelsenkirchen auf Basis der Messfahrten am 06./07.04.2010 (21:00 - 01:55 MEZ) und 13./14.10.2010 (21:55 - 03:15 MEZ)



peraturanomalie aus. Insgesamt lässt sich eine starke Orientierung der Überwärmungsgebiete an der Bebauungsstruktur erkennen.

Allerdings ist für Stadtteile mit lockerer Bebauung und Anbindung an das unbebaute Umland insbesondere in den Randbereichen des Siedlungskörpers eine zunehmende Beeinflussung des Freiraums charakteristisch, welche sich in einer verringerten oder gar negativen Temperaturanomalie äußert. Ausgesprochen deutlich zeigt sich dieser Effekt in den Stadtteilen Hassel und Horst. Während der südliche Bereich von Hassel noch eine geringe Überwärmung gegenüber dem Gebietsmittelwert vorweist, ist der Norden im Bereich um die Vorortstation (St. 3 Hassel) deutlich kühler. In Horst hingegen weisen die nördlichen Siedlungsgebiete eine positive Temperaturanomalie auf, während im Süden des Stadtteils eine zunehmend kühlere Ausprägung gegeben ist. Dies wird durch die Lage in der Emscherniederung, welche als wichtige Be- und Entlüftungsschneise von Gelsenkirchen anzusehen ist (Kuttler et al. 2000), und durch den nächtlichen Kaltlufttransport ausgehend von der ehemaligen Galopprennbahn (s. Kap. 5.4.3) begünstigt. Des Weiteren ist eine kühlende Wirkung des Umlandes auf die Randbereiche der Siedlungsgebiete in den Stadtteilen Resse, Heßler, Feldmark, Rotthausen, Erle und Bismark zu erkennen.

Gleichzeitig lässt sich jedoch auch in einigen Freiraumarealen ein städtischer Einfluss verzeichnen. So weisen die überwiegend landwirtschaftlich genutzten Freiflächen im Bereich zwischen Erle und Resse sowie nördlich von Beckhausen eine positive Temperaturanomalie auf.

Insgesamt wurden die höchsten negativen Abweichungen vom Gebietsmittel mit bis zu -3 K im Bereich des Waldgebietes Resser Mark festgestellt, während sich die stärkste Überwärmung im Bereich Erle einstellte. Allerdings beziehen sich die hier ermittelten Temperaturanomalien von bis zu +3 K auf die Streckenabschnitte entlang der BAB 2. Die im Siedlungsbereich von Erle erhobenen Abweichungen vom Gebietsmittel sind mit Werten unter +1 K wesentlich geringer.

5.1.3 Vergleich der punktuellen und flächenhaften Lufttemperaturverteilung

Ein Vergleich der Lufttemperaturen zwischen dem Stationsmessnetz und den nächtlichen Temperaturmessfahrten zeigt zunächst, dass für die Ausprägung der Wärmeinselintensität während der Messfahrten höhere Werte erfasst werden konnten. Dies lässt sich einerseits durch die betrachteten Bezugszeiträume der unterschiedlichen Untersuchungsformen erklären. Während sich

die Auswertungen zur Wärmeinselintensität anhand des Stationsmessnetzes überwiegend auf die mittlere Situation des gesamte Datenkollektiv der einjährigen Messperiode beziehen, wurden die nächtlichen Temperaturmessfahrten während ausgewählter austauscharmer Strahlungsnächte durchgeführt. Andererseits werden durch die fünf Feststationen nicht die Extremstandorte der wärmsten und kältesten Bereiche innerhalb des Stadtgebietes repräsentiert. So beträgt die aus den Messfahrten flächendeckend interpolierte Temperatur-anomalie an den Stationen auch nur maximal +1,6 K (St. 2 Altstadt) bzw. -0,7 K (St. 5 Nordsternpark).

Bei genauer Betrachtung fällt jedoch auf, dass die Reihenfolge des thermischen Niveaus der Stationen bezogen auf die stationären und mobilen Messungen identisch ist. Die beiden Innenstadtstandorte Altstadt (Station 2) und Buer (Station 1) weisen die höchsten Werte der städtischen Überwärmung auf. Zwar werden im Stadtteil Buer während der nächtlichen Messfahrten geringfügig größere Abweichungen vom Gebietsmittel der Lufttemperatur gemessen als im Stadtkern von Altstadt, allerdings befindet sich das Zentrum der städtischen Überwärmung in Buer etwas südwestlich der Station 1.

Der Standort Hassel (Station 3) zeichnet sich anhand der Stationsdaten gegenüber dem Umlandstandort Sutumer Feld (Station 4) durch ein niedrigeres Temperaturniveau aus und zeigt somit ein atypisches Verhalten für eine Vorortstation. In identischer Form äußert sich dies in Karte 2 (S. 36) für die Ergebnisse der nächtlichen Temperaturmessfahrten. Wie bereits in Kapitel 5.1.2 beschrieben, werden die thermischen Verhältnisse der Wohnbebauung im Bereich der Station 3 (Hassel) in erheblichem Maße durch die nördlich anschließenden Freiflächen beeinflusst. Gleichzeitig erfährt der Umlandstandort Sutumer Feld (Station 4) eine städtische Beeinflussung durch die nördlich und östlich gelegenen Überwärmungszentren in Buer und Erle, wodurch die für landwirtschaftlich genutzte Flächen zu erwartende negative Abweichung der Lufttemperatur vom Gebietsmittel im Bereich der Klimastation gedämpft wird und eine wesentlich kühlere Ausprägung lediglich hangabwärts im Südwesten des Sutumer Feldes am Rande der Wohnbebauung von Beckhausen auftritt.

Der Parkstandort Nordsternpark (Station 5) stellt sowohl für die Auswertung der stationären als auch der mobilen Lufttemperaturdaten den kältesten Standort innerhalb des Messnetzes dar. Als Gründe hierfür sind die größere Distanz der Station zu den Zentren der städtischen Überwärmung und die Nähe zur Luftleitbahn entlang der Emscher anzuführen.

Abschließend konnten anhand des Vergleichs der punktuellen und flächenhaften Lufttemperaturverteilung einige Unterschiede der beiden Untersuchungsansätze aufgedeckt und erklärt werden (z.B. unterschiedliche Intensität der

Wärmeinseleffekte aufgrund unterschiedlicher Bezugszeiträume etc.). Insgesamt lässt sich jedoch eine starke Übereinstimmung der Ergebnisse zwischen den beiden Untersuchungsmethoden (stationäre und mobile Messungen) zur Ausprägung der urbanen Wärmeinsel innerhalb des Stadtgebietes von Gelsenkirchen erkennen.

5.2 Luftfeuchtigkeit

An den fünf Klimafeststationen innerhalb des Gelsenkirchener Untersuchungsgebietes wurde neben der Lufttemperatur auch die relative Luftfeuchtigkeit erhoben. Tabelle 12 gibt einen Überblick der arithmetischen Mittelwerte der relativen Luftfeuchtigkeit (\overline{rF}) und deren absoluten Minima ($rF_{(min)}$) für den Gesamtzeitraum des Untersuchungsjahres sowie für die autochthonen Tage. Die geringsten Werte der relativen Luftfeuchtigkeit ergeben sich für beide Bezugszeiträume an den beiden Stadtstandorten Buer (Station 1) und Altstadt (Station 2). Da die relative Luftfeuchtigkeit in Abhängigkeit zur Lufttemperatur steht, ergeben sich für die Tage mit autochthoner Wetterlage (höhere mittlere Lufttemperaturen, s. Tab. 10) gegenüber dem Gesamtzeitraum erwartungsgemäß insgesamt geringere Mittelwerte. Die absoluten Minima der relativen Luftfeuchtigkeit bezogen auf die gesamte Messperiode sind mit Werten unter 20% an den Standorten Buer (Station 1), Altstadt (Station 2) und Hassel (Station 3) als sehr gering einzustufen.

Tab. 12: Arithmetischer Mittelwert der relativen Luftfeuchtigkeit (\overline{rF}), sowie die absoluten Minima der relativen Luftfeuchtigkeit ($rF_{(min)}$) während des Gesamtzeitraums und für die autochthonen Tage (Messzeitraum: 01.03.2010 bis 28.02.2011; Basis: Stundenmittelwerte)

Zeitraum	relative Feuchte (%)	St. 1 BUE	St. 2 AST	St. 3 HAS	St. 4 SUT	St. 5 NOP
Gesamtzeitraum	\overline{rF}	74,5	72,9	78,2	76,9	78,0
	$rF_{(min)}$	18,1	16,9	19,0	21,5	20,2
autochthone Tage	\overline{rF}	55,8	54,5	63,0	61,0	65,4
	$rF_{(min)}$	21,6	20,8	22,2	22,6	22,6

In Abbildung 11 werden die durchschnittlichen Tagesgänge der relativen Luftfeuchtigkeit an den einzelnen Klimastationen vergleichend für den Gesamtzeitraum und die autochthonen Tage gegenübergestellt. Insgesamt fällt auf, dass für beide Bezugszeiträume die Stadtstationen über den gesamten Tagesverlauf die geringsten Werte der relativen Luftfeuchtigkeit aufweisen.

Insbesondere in den Nachtstunden lassen sich zum Teil erhebliche interstationäre Differenzen erkennen. Während die nächtliche Diskrepanz zwischen dem urbanen Standort Altstadt (Station 2) und der Parkstation Nordsternpark bezogen auf den Gesamtzeitraum durchschnittlich zwischen 7,5 und 7,8 Prozentpunkte liegt, nimmt dieser Wert in autochthonen Nächten bis zu 21,5 Prozentpunkte an. Die erhöhte relative Luftfeuchtigkeit während austausch- armer Strahlungsnächten an den Standorten Hassel (Station 3), Sutumer Feld (Station 4) und Nordsternpark (Station 5) ist auf die starke nächtliche Auskühlung zurückzuführen.

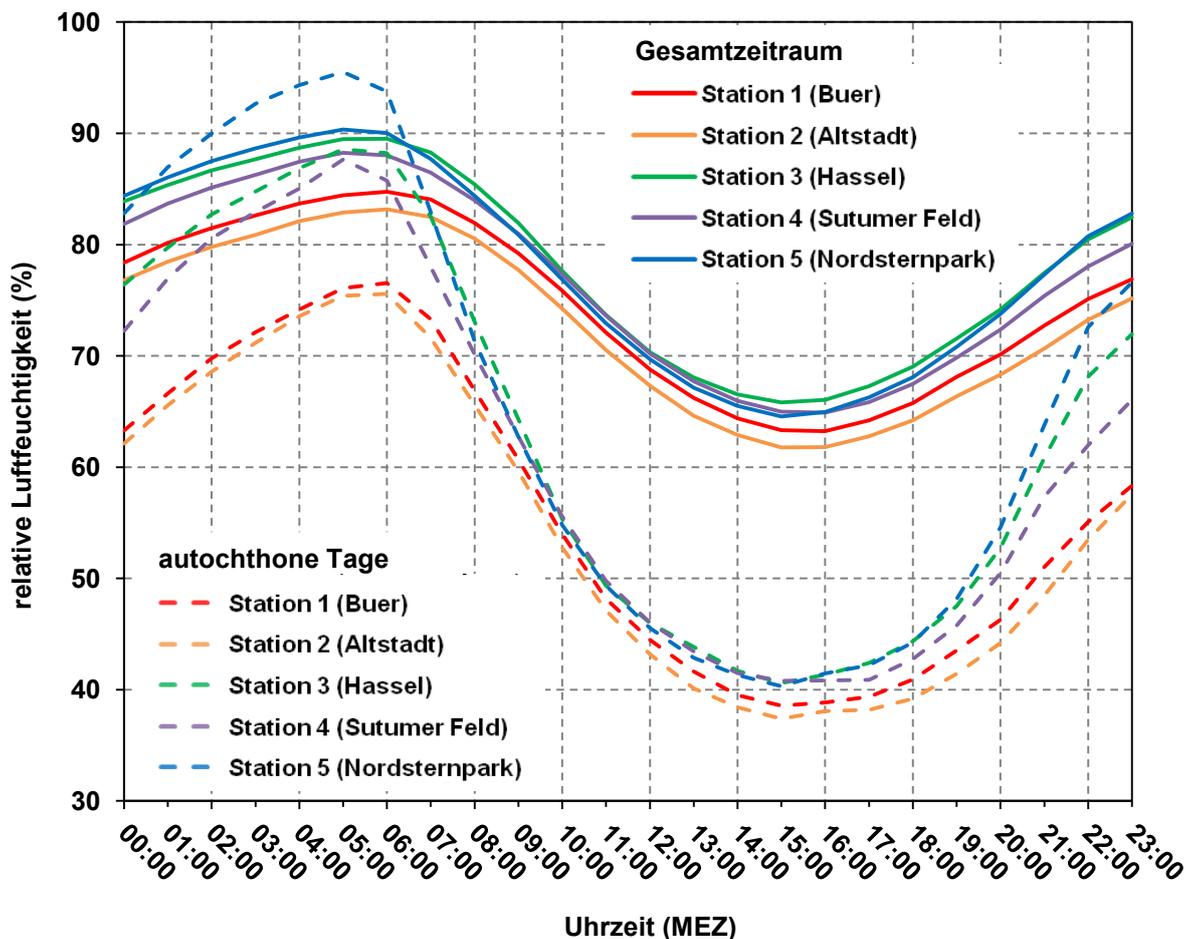


Abb. 11: Vergleich der durchschnittlichen Tagesgänge der relativen Luftfeuchtigkeit im Gesamtzeitraum sowie an autochthonen Tagen im Gelsenkirchener Untersuchungsgebiet (Messzeitraum: 01.03.2010 bis 28.02.2011)

Bei genauer Betrachtung der diurnalen Verläufe für die autochthonen Tage wird deutlich, dass das Minimum an allen Stationen gleichzeitig am Nachmittag um 15:00 Uhr erreicht wird. Das Maximum hingegen tritt an den Stadtstandorten Buer (Station 1) und Altstadt (Station 2) in den frühen Morgenstunden mit einer Stunde Verzögerung gegenüber den weiteren Stationen ein. Dieser Umstand wird ebenfalls durch das in Kapitel 5.1.1.3 erläuterte unterschiedliche thermische Verhalten der Standorte bedingt.

Generell hat die separate Betrachtung der relativen Luftfeuchtigkeit aufgrund der Abhängigkeit von der Lufttemperatur für die Ausprägung der klimatischen Verhältnisse eines Untersuchungsraumes keine große Aussagekraft. Allerdings kommt ihr bezüglich des Behaglichkeitsempfindens des Menschen in Kombination mit anderen Einflussfaktoren eine große Bedeutung zu, weshalb die hier beschriebenen Daten im weiteren Verlauf zur Analyse der human-biometeorologischen Verhältnisse in Gelsenkirchen (s. Kap. 5.5) herangezogen werden.

Ein weiteres Maß zur Bestimmung der Luftfeuchteverhältnisse ist der Dampfdruck (e). Dieser beschreibt den Partialdruck des Wasserdampfes in der Atmosphäre (Kuttler 2009) und lässt sich anhand der erhobenen Daten der Lufttemperatur und relativen Luftfeuchtigkeit für jeden Standort berechnen.

Durch die Bestimmung der Dampfdruckdifferenzen (Δe) zwischen dem Innenstadtstandort Altstadt (Station 2) und dem Umlandstandort Sutumer Feld (Station 4) lässt sich ein sporadisch auftretender Feuchtigkeitsüberschuss im urbanen Raum feststellen. Dies ist ein im Rahmen stadtklimatologischer Untersuchungen häufig beobachtetes Phänomen, welches allgemein unter dem Begriff „Urban Moisture Excess (kurz: UME)“ diskutiert wird. In der Regel treten solche UME-Ereignisse insbesondere während der zweiten Nachthälfte auf. Als Ursachen hierfür können die geringere und verzögerte Taubildung, die gesteigerte nächtliche Evapotranspiration infolge erhöhter Temperaturen in der Stadt sowie anthropogene Wasserdampfquellen aus Hausbrand, Verkehr und Industrie angeführt werden (Kuttler et al. 2007a).

Abbildung 12 zeigt exemplarisch den Verlauf der Dampfdruckdifferenz (Δe) für den typischen Stadt-Umland-Vergleich der Standorte 2 (Altstadt) und 4 (Sutumer Feld) im Zeitraum vom 31.08.2010 bis 05.09.2010, da hier der UME-Effekt in 6 aufeinanderfolgenden Nächten sehr deutlich auftritt. Des Weiteren werden die Kurven des Dampfdruckes (e) für die beiden Stationen dargestellt. Positive Differenzen des Dampfdruckes zwischen dem Stationspaar weisen auf einen Feuchteüberschuss (UME) im urbanen Raum hin. Es wird deutlich, dass die UME-Ereignisse innerhalb des sechstägigen Bezugszeitraums ausschließlich während der Nacht- und den frühen Morgenstunden auftreten. In den Abendstunden stellt sich das Maximum des Dampfdruckes (e) in der Stadt gegenüber dem Umland verzögert ein. Zudem ist die nächtliche Reduktion des Dampfdruckes (e) am Umlandstandort Sutumer Feld (Station 4) stärker.

Tabelle 13 enthält einige statistische Angaben zur Dampfdruckdifferenz (Δe) bezogen auf die gesamte Messperiode (01.03.2010 bis 28.02.2011) und gibt Auskunft über die Häufigkeit des Auftretens der UME-Ereignisse. Demnach betrug der Mittelwert der Dampfdruckdifferenz (Δe) $-0,2$ hPa, wobei Schwankungen im Jahresgang zwischen $-3,2$ hPa (absolutes Minimum von Δe) und

+2,8 hPa (absolutes Maximum von Δe) auftraten. In insgesamt 26,5 % der Jahresstunden konnte ein Feuchteüberschuss des urbanen Raums festgestellt werden. Nach der von Kuttler et al. (2007) definierten Klassifizierung in intensive ($\Delta e > 0,5$ hPa) und schwache ($0 \text{ hPa} < \Delta e \leq 0,5$ hPa) UME-Ereignisse ist die Dampfdruckdifferenz (Δe) allerdings in lediglich 1,6 % der Jahresstunden als intensiv zu bezeichnen.

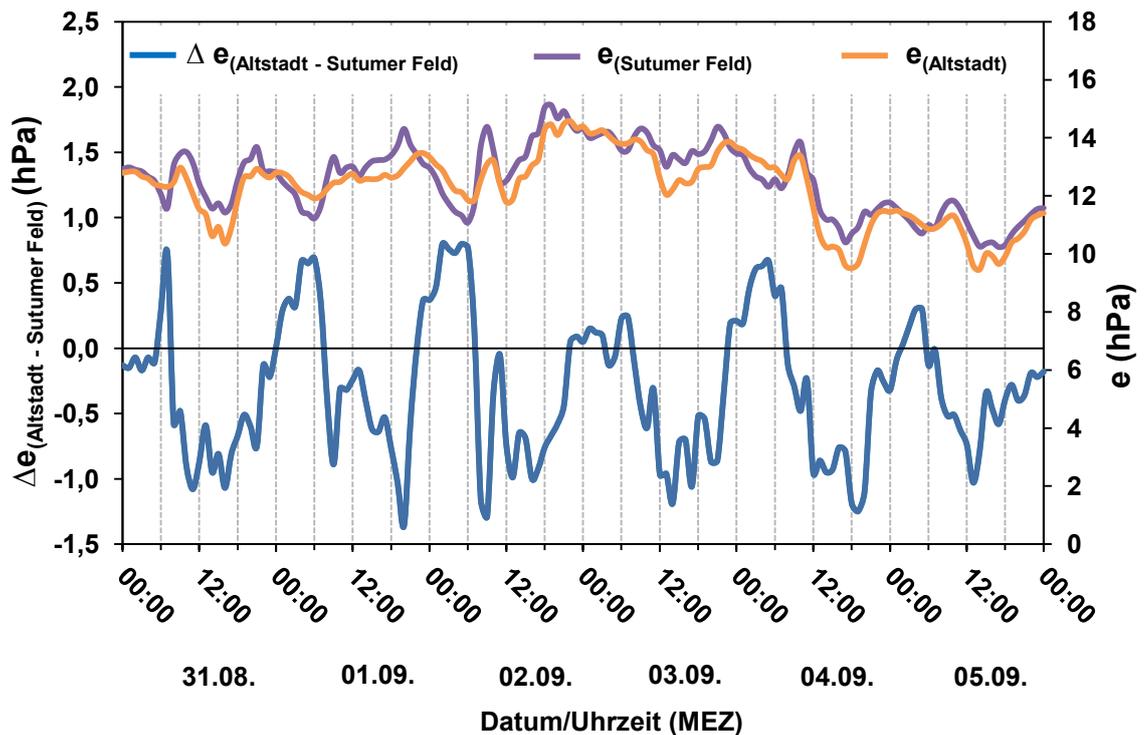


Abb. 12: Dampfdruck e und Dampfdruckdifferenz Δe der Standorte Altstadt (Station 2) und Sutumer Feld (Station 4) für den Zeitraum vom 31.08.2010 bis 05.09.2010

Tab. 13: Statistische Angaben zur Dampfdruckdifferenz Δe zwischen Altstadt (Station 2) und Sutumer Feld (Station 4) sowie die Häufigkeit des Auftretens des UME-Effektes (Messzeitraum: 01.03.2010 bis 28.02.2011)

	Größe	Wert
Statistische Angaben	Mittelwert Δe	-0,2 hPa
	absolutes Minimum Δe	-3,2 hPa
	absolutes Maximum Δe	2,8 hPa
Häufigkeit des Auftretens	UME ($\Delta e > 0$)	26,5 %
	schwache UME ($0 < \Delta e \leq 0,5$)	24,9 %
	intensive UME ($\Delta e > 0,5$)	1,6 %

5.3 Windverhältnisse

Neben der bereits erläuterten thermischen Anomalie einer Stadt weisen urbane Sieglungsstrukturen gegenüber dem unbebauten Umland ebenfalls Modifikationen des Windfeldes auf. Insbesondere die dreidimensionalen Baukörper führen aufgrund der erhöhten Oberflächenrauigkeit zu einer starken Beeinflussung der Strömungsverhältnisse. Dies äußert sich vor allem durch verringerte Windgeschwindigkeiten im urbanen Raum (Dütemeyer 2000). Der Austausch der Luftmassen ist jedoch entscheidend für die klimatische und lufthygienische Situation einer Stadt.

Daher sollen die Austauschverhältnisse im Gelsenkirchener Stadtgebiet im Folgenden zunächst anhand der durchschnittlichen Austauschverhältnisse, der Häufigkeit verschiedener Windrichtungen sowie dem Tages- und Jahresgang der Windgeschwindigkeit an den fünf Klimastationen untersucht werden. Anschließend erfolgt zudem eine gesonderte Betrachtung des Auftretens von Schwachwindsituationen.

5.3.1 Durchschnittliche Windverhältnisse

Die durchschnittlichen Strömungsverhältnisse an den fünf Standorten im Stadtgebiet von Gelsenkirchen werden für den Gesamtzeitraum sowie bezogen auf das Datenkollektiv der autochthonen Tage in Tabelle 14 anhand statistischer Angaben zur Windgeschwindigkeit und Hauptwindrichtung wiedergegeben.

Die **mittleren Windgeschwindigkeiten** weisen bezogen auf den Gesamtzeitraum an den freianströmbaren Standorten Sutumer Feld (Station 4) und Nordsternpark (Station 5) mit $2,0 \text{ m s}^{-1}$ bzw. $1,7 \text{ m s}^{-1}$ höhere Werte auf als die urbanen Standorte Buer (Station 1) und Altstadt (Station 2). Die geringsten Windgeschwindigkeiten ($0,7 \text{ m s}^{-1}$) ergeben sich im Mittel jedoch am Vorortstandort Hassel (Station 3). Für die absoluten Maxima der Windgeschwindigkeit zeigt sich eine identische Ausprägung. Während die Stationen 1 bis 3 (Buer, Altstadt und Hassel) mit Werten zwischen $4,3 \text{ m s}^{-1}$ und $5,3 \text{ m s}^{-1}$ relative geringe Maxima aufweisen, beträgt dieser Wert am Umlandstandort Sutumer Feld $9,4 \text{ m s}^{-1}$.

Für die autochthonen Tage sind die Unterschiede der Windgeschwindigkeit zwischen Stadt und Umland wesentlich kleiner. So nimmt die mittlere Windgeschwindigkeit am Stadtstandort Altstadt (Station 2) mit $1,0 \text{ m s}^{-1}$ gegenüber der Umlandstation Sutumer Feld (Station 4) nur einen geringfügig

kleineren Wert an. Als Ursache hierfür sind die während autochthoner Strahlungswetterlagen durch die urbane Wärmeinsel bedingte und insbesondere nächtlich auftretende erhöhte thermische Turbulenz in der Stadt sowie das mögliche Einsetzen einer Flurwindzirkulation, wodurch Städte gegenüber dem Umland sogar höhere Windgeschwindigkeiten aufweisen können, zu nennen (Kuttler 2009). Des Weiteren weisen die gegenüber den anderen urbanen Standorten erhöhten absoluten Maxima sowie Mittelwerte der Windgeschwindigkeit an der Station Altstadt (Station 2) auf eine lokale Beeinflussung des Windfeldes durch die gegebenen Standorteigenschaften hin. Aufgrund der Lage der Station in unmittelbarer Nähe einer Häusercke ist hier von einer erhöhten Böigkeit auszugehen. Zudem befindet sich der Standort im Übergang eines weitläufigen Marktplatzes (Margarethe-Zingler-Platz) und einer relativ engen Straßenschlucht (Hauptstr.). Dies kann sich bei westlicher Anströmung (Hauptwindrichtung der Station 2 Altstadt) aufgrund von Düseneffekten in Form höherer Windgeschwindigkeiten äußern. Diese durch die umgebende Bebauung bedingten Effekte bezüglich der Windverhältnisse am Standort Altstadt (Station 3) lassen sich im Folgenden auch im Tages- und Jahresgang sowie im Auftreten der Schwachwindstunden erkennen.

Die **Hauptwindrichtungen** des Gesamtzeitraums liegen an allen Stationen zwischen den Sektoren West und Südwest. Für die autochthonen Tage lässt sich an den Standorten Buer (Station 1), Altstadt (Station 2) und Nordsternpark (Station 5) kaum eine Veränderung feststellen, lediglich an den Stationen Hassel (Station 3) und Sutumer Feld (Station 4) dreht die Hauptwindrichtung von Südwest bzw. Südsüdwest auf Nordwest bzw. Nord.

Das Auftreten der verschiedenen Windrichtungen an den einzelnen Stationen soll im Folgenden anhand von Häufigkeitswindrosen genauer untersucht werden.

Tab. 14: Statistische Angaben zur Windgeschwindigkeit und Windrichtungshäufigkeit im Gelsenkirchener Untersuchungsgebiet (Messzeitraum: 01.03.2010 bis 28.02.2011)

Zeitraum	St. 1 BUE	St. 2 AST	St. 3 HAS	St. 4 SUT	St. 5 NOP
Gesamtzeitraum					
Hauptwindrichtung	WSW (18,2%)	W (25,8%)	S (9,1%)	SSW (11,1%)	SW (15,0%)
\bar{u}	0,9	1,4	0,7	2,0	1,7
$u_{(max)}$	4,4	5,3	4,3	9,4	7,3
autochthone Tage					
Hauptwindrichtung	WSW (11,2%)	WSW (18,7%)	NW (7,6%)	N (7,9%)	SW (9,7%)
\bar{u}	0,6	1,0	0,4	1,2	0,9
$u_{(max)}$	2,0	4,7	1,3	4,0	3,3

5.3.2 Häufigkeiten verschiedener Windrichtungen

In Abbildung 13 wird die Häufigkeitsverteilung des Auftretens der 16 Windrichtungssektoren an den einzelnen Klimastationen im Untersuchungsgebiet Gelsenkirchen dargestellt. Zusätzlich repräsentiert die Windrose der Umlandstation Harscheidweg in Essen-Harzopf die in 10 m ü. Gr. gemessenen übergeordneten Windverhältnisse der Region dar. Angegeben werden zudem die jeweiligen Calmenanteile (Dreiminutenmittel der Windgeschwindigkeit $< 0,3 \text{ m s}^{-1}$). Dem Gesamtzeitraum wird die Situation an autochthonen Tagen gegenübergestellt.

Die Umland- bzw. Parkstandorte Sutumer Feld (Station 4) und Nordsternpark (Station 5) weisen bezogen auf den **Gesamtzeitraum** ein für die Region typisches Windspektrum (vgl. auch übergeordnetes Windfeld der Station Harscheidweg/Essen) mit einem Maximum im Südsüdwest- bzw. Südwest-Sektor und einer zweiten Hauptkomponente aus nordöstlichen Richtungen auf, wobei diese Form an Station 5 (Nordsternpark) deutlicher ausgeprägt ist. An den Standorten 1 bis 3 (Buer, Altstadt und Hassel) lässt die Gestalt der Häufigkeitswindrose eine klare Leitfunktion der entsprechenden Straßenzüge erkennen. Während die beiden Stadtstandorte Buer (Station 1) und Altstadt (Station 2) eine Hauptkomponente aus West bis Südwest bzw. West und ein Nebenmaximum in den Sektoren Nord bis Nordost bzw. Nordost bis Ost aufweisen, werden die Windverhältnisse an dem Vorortstandort Hassel (Station 3) durch eine Nord-Süd gerichtete Strömungsachse bestimmt.

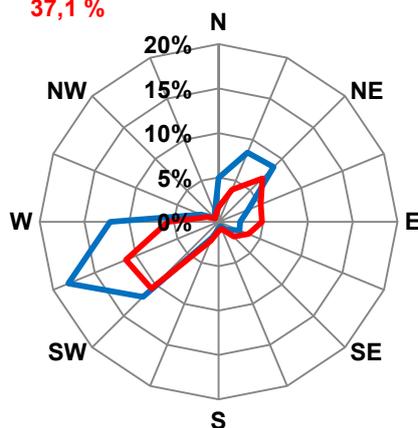
Bezüglich der **autochthonen Tage** ist festzustellen, dass die Unterschiede der Windrichtungshäufigkeiten gegenüber dem Gesamtzeitraum relativ gering sind. Dies wird insbesondere bei der Betrachtung der übergeordneten Windverhältnisse an der Essener Umlandstation Harscheidweg deutlich. Aber auch an den Gelsenkirchener Standorten Altstadt (Station 2) und Nordsternpark (Station 5) sind kaum nennenswerte Abweichungen zwischen den beiden Bezugszeiträumen zu beobachten. In Buer (Station 1) wird zwar der Windsektor West zugunsten von Ost im Vergleich zur gesamten Messperiode leicht unterrepräsentiert, allerdings ändert sich die Hauptwindrichtung nicht. An den Standorten 3 (Hassel) und 4 (Sutumer Feld) erfolgt hingegen, wie bereits in Kapitel 5.3.1 beschrieben, eine Änderung der Hauptwindrichtung gegenüber dem Gesamtzeitraum von Südwest auf Nordwest (St. 3 Hassel) bzw. von Südsüdwest auf Nord (St. 4 Sutumer Feld). Abgesehen davon sind aber auch bei diesen Standorten keine großen Verschiebungen der Windrose zwischen den beiden Bezugszeiträumen ersichtlich. Die Änderung der Hauptwindrichtung in Hassel (Station 3) während autochthoner Wetterlagen kann allerdings als

Indiz für eine nächtliche Kaltluftzufuhr, ausgehend von den nördlich angrenzenden landwirtschaftlich genutzten Flächen, interpretiert werden.

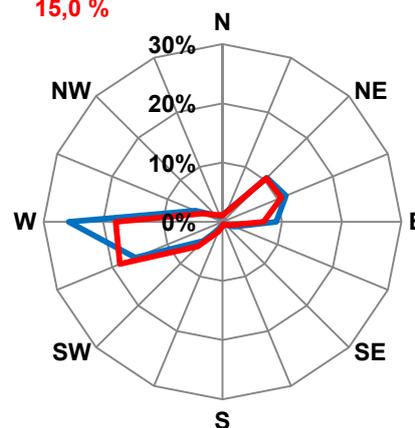
Die **Calmenhäufigkeit** variiert zwischen den einzelnen Stationen relativ stark und nimmt bezogen auf die autochthonen Tage insgesamt höhere Werte an. So beträgt die Spannweite für den Gesamtzeitraum 7,1 % bis 31,0 %, während für die autochthonen Tage zwischen 15,0 % und 51,6 % Windstillen auftreten. Differenzen in einem Stadt-Umland-Gefüge lassen sich nicht erkennen. Während das Sutumer Feld (Station 4) mit 8,0 % (Gesamtzeitraum) bzw. 17,6 % (autochthone Tage) relativ geringe Calmenanteile aufweist, sind diese an der zweiten Station mit freier Anströmung (St. 5 Nordsternpark) bei 16,5 % (Gesamtzeitraum) bzw. 36,8 % (autochthone Tage) etwas erhöht. Auch an den beiden Stadtstationen ergibt sich ein ähnliches Bild. So sind die Calmenanteile am Standort Altstadt (Station 2) gering (7,1 % bzw. 15,0 %), hingegen in Buer (Station 1) erhöht (18,8 % bzw. 37,1 %). Das höchste Auftreten von Windstillen für den Gesamtzeitraum (31,0 %) sowie für die autochthonen Tage (51,6 %) weist der Vorortstandort Hassel (Station 3) auf.

Buer (Station 1)

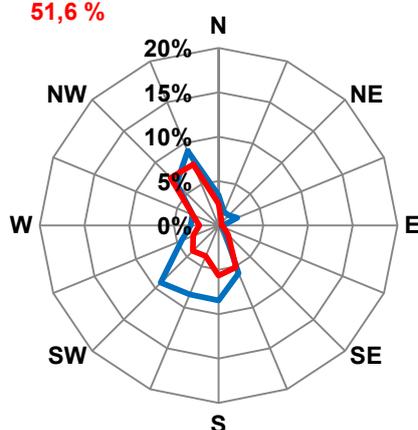
Calmen: 18,8 %
37,1 %

**Altstadt (Station 2)**

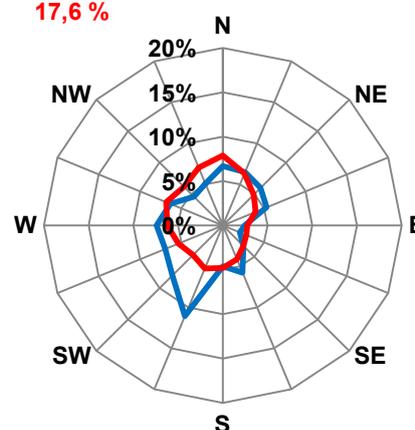
Calmen: 7,1 %
15,0 %

**Hassel (Station 3)**

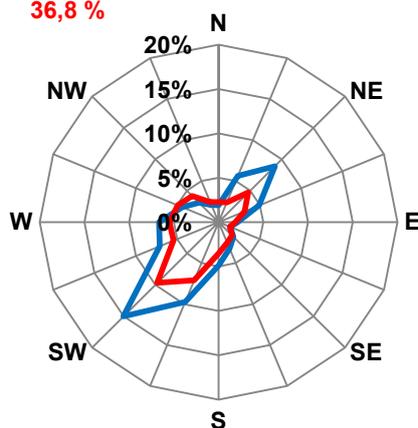
Calmen: 31,0 %
51,6 %

**Sutumer Feld (Station 4)**

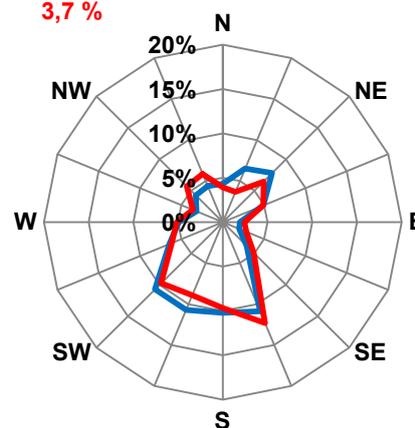
Calmen: 8,0 %
17,6 %

**Nordsternpark (Station 5)**

Calmen: 16,5 %
36,8 %

**Harscheidweg / Essen (10 m)**

Calmen: 3,0 %
3,7 %



— Gesamtzeitraum

— autochthone Tage

Abb. 13: Häufigkeit des Auftretens verschiedener Windrichtungen für den Gesamtzeitraum und die autochthonen Tage im Gelsenkirchener Untersuchungsgebiet sowie an der Umlandstation Harscheidweg in Essen (Messzeitraum: 01.03.2010 bis 28.02.2011)

5.3.3 Tages- und Jahresgang der Windgeschwindigkeit

Die mittleren Tages- und Jahresgänge der Windgeschwindigkeit für die fünf Klimafeststationen werden in Abbildung 14 und 15 dargestellt. Insgesamt weisen die **Tagesgänge** der mittleren Windgeschwindigkeit an allen Stationen einen typischen Verlauf auf (Abb. 14). Allerdings gibt es Unterschiede im Niveau der Windgeschwindigkeiten sowie bezüglich der Amplitude im Tagesgang. Die allgemein höheren Werte und mit $1,3 \text{ m s}^{-1}$ bzw. $1,1 \text{ m s}^{-1}$ größten Amplituden im Tagesgang sind an den Umland- bzw. Parkstandorten Sutumer Feld (Station 4) und Nordsternpark (Station 5) zu verzeichnen. Im Gegensatz dazu zeichnen sich die Stadtstation Buer (Station 1) und der Vorortstandort Hassel durch geringe Windgeschwindigkeiten und kleinere Amplituden (je $0,5 \text{ m s}^{-1}$) aus. Die Verhältnisse der mittleren Windgeschwindigkeit an dem ebenfalls urban geprägten Standort Altstadt (Station 2) sind zwischen den Werten dieser beiden Stationspaare angesiedelt, was auf die bereits erwähnten lokalen Standorteigenschaften zurückzuführen ist.

Allgemein wird das Minimum der mittleren Windgeschwindigkeit an allen Stationen in den frühen Morgenstunden zwischen 04:00 Uhr und 05:00 Uhr (MEZ) erreicht, während sich die höchsten Werte im Tagesgang jeweils um 14:00 Uhr (MEZ) einstellen. Die größten Differenzen innerhalb des Stadtgebietes ergeben sich dabei während des Maximums um 14:00 Uhr (MEZ). Zu diesem Zeitpunkt beträgt die mittlere Windgeschwindigkeit an der Station 4 (Sutumer Feld) $2,7 \text{ m s}^{-1}$, während an dem Vorortstandort Hassel (Station 3) ein durchschnittlicher Wert von lediglich $1,1 \text{ m s}^{-1}$ erreicht wird.

Auch die Verläufe der Monatsmittelwerte der Windgeschwindigkeit lassen weitestgehend eine deutliche Struktur im **Jahresgang** mit insgesamt höheren Werten im Winterhalbjahr und geringeren Windgeschwindigkeiten im Sommerhalbjahr erkennen (Abb. 15). Das Maximum wird an allen Stationen im Februar erreicht, allerdings tritt das Minimum der Windgeschwindigkeit an den fünf Standorten in unterschiedlichen Monaten und auch Jahreszeiten auf. Während das Minimum an den Standorten Hassel (Station 3) und Sutumer Feld (Station 4) im September und in Buer (Station 1) sowie an der Parkstation Nordsternpark (Station 5) in den Sommermonaten Juni bzw. Juli zu verzeichnen ist, weist der Standort Altstadt (Station 2) die geringsten mittleren Windgeschwindigkeiten im Wintermonat Dezember auf. Analog zum mittleren Tagesgang sind auch für den Jahresverlauf die höchsten Werte der Windgeschwindigkeit sowie die größten Amplituden an den Standorten mit freier Anströmung (St. 4 Sutumer

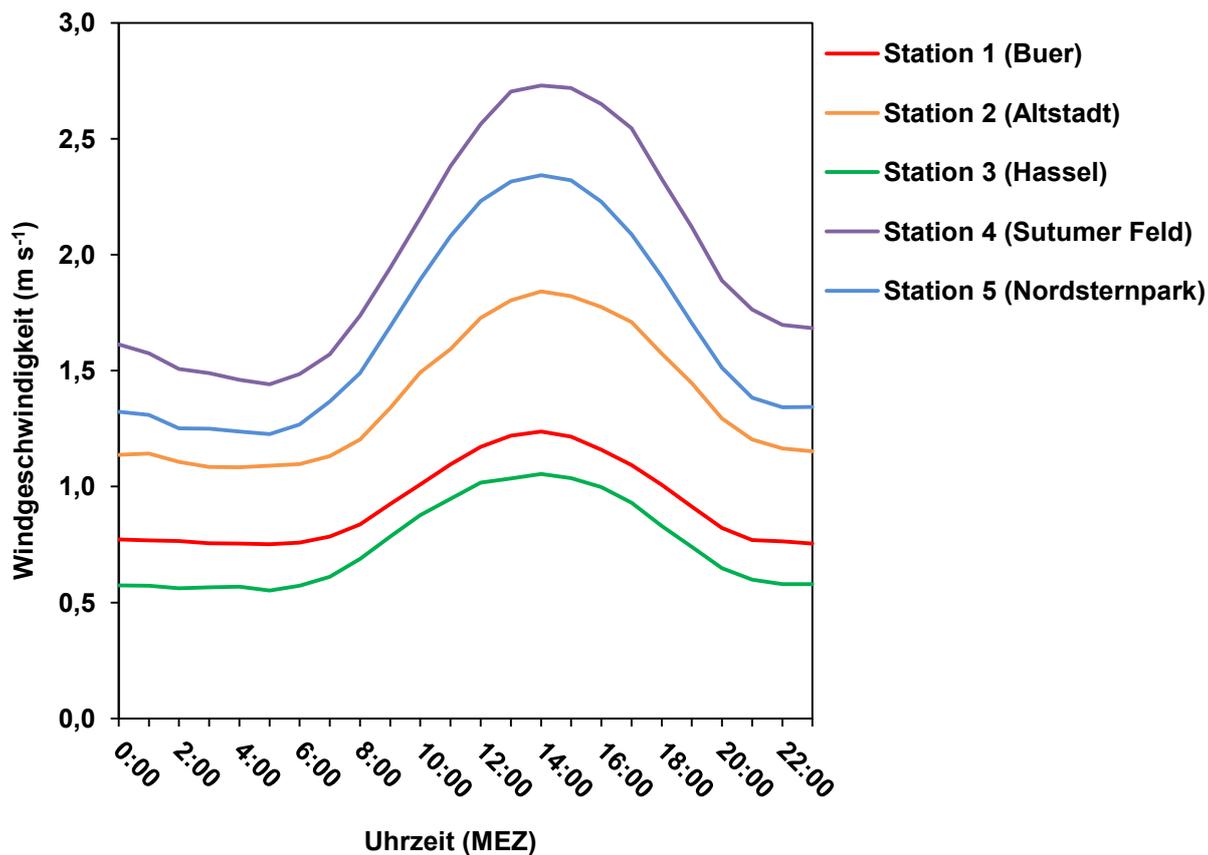


Abb. 14: Mittlerer Tagesgang der Windgeschwindigkeit im Gelsenkirchener Untersuchungsgebiet (Messzeitraum: 01.03.2010 bis 28.02.2011)

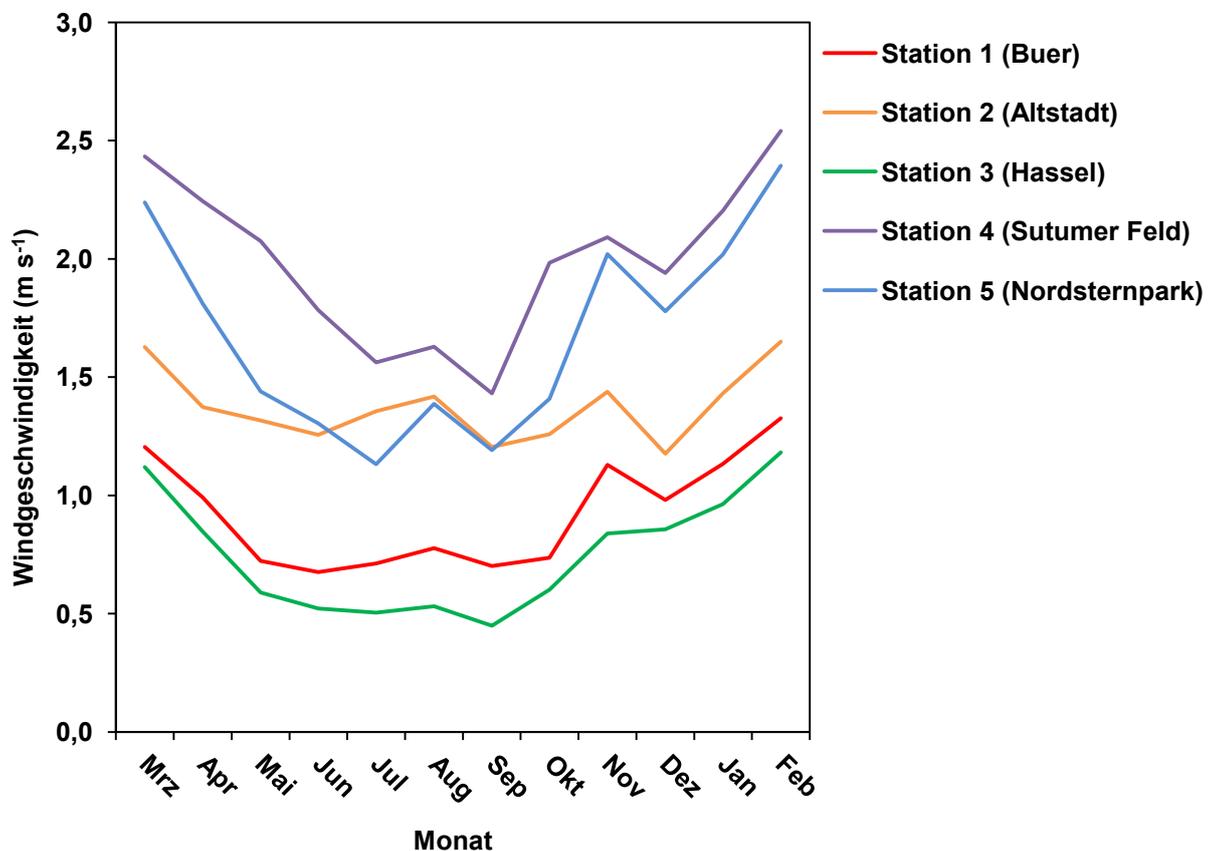


Abb. 15: Mittlerer Jahrgang der Windgeschwindigkeit im Gelsenkirchener Untersuchungsgebiet (Messzeitraum: 01.03.2010 bis 28.02.2011)

Feld und St. 5 Nordsternpark) und entsprechend geringere Ausprägungen in Buer (Station 1) und Hassel (Station 3) zu beobachten. Der Standort Altstadt (Station 2) weist mit lediglich $0,5 \text{ m s}^{-1}$ die geringste Amplitude im Jahresverlauf auf und zeigt in den Monaten Juli und August sogar leicht höhere Windgeschwindigkeiten als der Parkstandort Nordsternpark (Station 5).

Allgemein sind die mittleren Windgeschwindigkeiten im Tages- und Jahresgang bezogen auf den Messzeitraum vom 01.03.2011 bis 28.02.2011 insbesondere an den Stationen Buer (Station 1) und Hassel (Station 3), aber auch am Standort Altstadt (Station 2) als relativ gering zu beurteilen. Dies wird auch im Folgenden an der Häufigkeit des Auftretens von Schwachwindstunden deutlich.

5.3.4 Auftreten von Schwachwinden

Insbesondere bei geringen Windgeschwindigkeiten ist der Austausch in der bodennahen Atmosphäre eingeschränkt. Dies kann sich negativ auf die klimatische und lufthygienische Situation eines Standortes auswirken. Daher sind die Häufigkeit des Auftretens von Schwachwindstunden (Stundenmittelwert der Windgeschwindigkeit $< 1,5 \text{ m s}^{-1}$ nach MURL 1989) und die Dauer dieser Schwachwindepisoden von besonderem Interesse für die Beurteilung der Austauschverhältnisse bzw. Belüftungssituation innerhalb eines Untersuchungsraums.

In Abbildung 16 werden die kumulativen Häufigkeiten der Windgeschwindigkeiten im Untersuchungsgebiet Gelsenkirchen dargestellt, aus denen sich das Auftreten der Schwachwindstunden bereits ablesen lässt. Einen Überblick der Schwachwindhäufigkeit bezogen auf den gesamten Messzeitraum sowie der maximalen Andauer der Schwachwindepisoden für die einzelnen Klimastationen liefert darüber hinaus Tabelle 15.

An den Standorten Buer (Station 1) und Hassel (Station 3) treten Schwachwind-situationen demnach mit etwa 85 % bzw. 90 % der Jahresstunden am häufigsten auf. Insbesondere die Standorte mit freier Anströmung (St. 4 Sutumer Feld und St. 5 Nordsternpark) weisen gegenüber den anderen Stationen ein häufigeres Auftreten höherer Windgeschwindigkeiten auf (s. Abb. 16), wodurch sich der Anteil der Schwachwindstunden an diesen Stationen mit etwa 41 % bzw. 51 % reduziert darstellt. Entsprechend dem mittleren Tages- und Jahresgang der Windgeschwindigkeit (vgl. Abb. 14 u. 15) nimmt der Stadtstandort Altstadt (Station 2) auch bezüglich des Auftretens von Schwachwindstunden einen mittleren Wert von 64,5 % an und repräsentiert damit in etwa das Gebietsmittel (66,2 %).

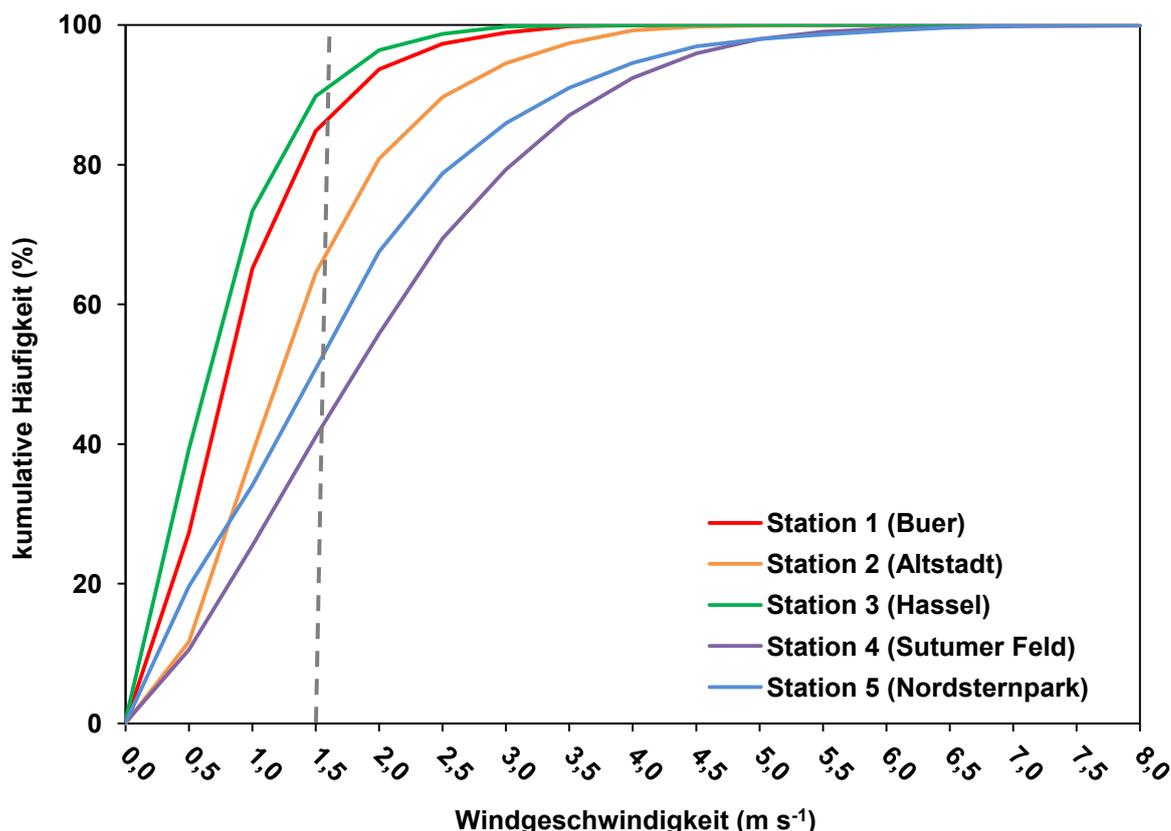


Abb. 16: Kumulative Häufigkeiten der Windgeschwindigkeiten im Untersuchungsgebiet Gelsenkirchen (Messzeitraum: 01.03.2010 bis 28.02.2011)

Tab. 15: Schwachwindhäufigkeit und maximale Andauer der Schwachwindepisoden im Untersuchungsgebiet Gelsenkirchen (Messzeitraum: 01.03.2010 bis 28.02.2011)

	St. 1 BUE	St. 2 AST	St. 3 HAS	St. 4 SUT	St. 5 NOP
Schwachwindhäufigkeit (%)	84,8	64,5	89,8	41,0	50,8
Maximale Andauer einer Schwachwindepisode (h)	571	151	912	84	88

Der Jahrgang des Auftretens von Schwachwindstunden wird in Abbildung 17 dargestellt. Hier fällt zunächst der sehr hohe Anteil von Schwachwindstunden an den Standorten Buer (Station 1) und Hassel (Station 3) während der Monate Mai bis Oktober auf, in denen die Austauschverhältnisse jeweils in über 90 % bzw. 98 % der Monatsstunden als eingeschränkt zu bezeichnen sind. Insgesamt ist an allen Stationen zu beobachten, dass Schwachwinde im Sommerhalbjahr häufiger auftreten als im Winterhalbjahr. Allerdings lässt sich am Standort Altstadt (Station 2) mit einem Maximum im Dezember kein klar ausgeprägter Jahrgang erkennen.

Große interstationäre Unterschiede ergeben sich bezüglich der maximalen Dauer der Schwachwindepisoden und deren Auftreten innerhalb des Untersuchungszeitraums. Während im Falle vom Sutumer Feld (Station 4) und Nord-

sternpark (Station 5) die maximalen Schwachwindepisoden (84 h u. 88 h) im Winter bzw. Herbst aufgetreten sind, herrschten am Vorortstandort Hassel (Station 3) an 38 aufeinanderfolgenden Tagen (912 h) in den Sommermonaten Juli und August austauscharme Windbedingungen vor. Die gegenüber den beiden anderen urban geprägten Standorten kürzere maximale Andauer einer Schwachwindepisode und die insgesamt verringerte Schwachwindhäufigkeit an der Stadtstation Altstadt (Station 2) ist wiederum in der lokalen Windfeldmodifikation des Standortes bedingt durch die umliegende Bebauungsstruktur begründet.

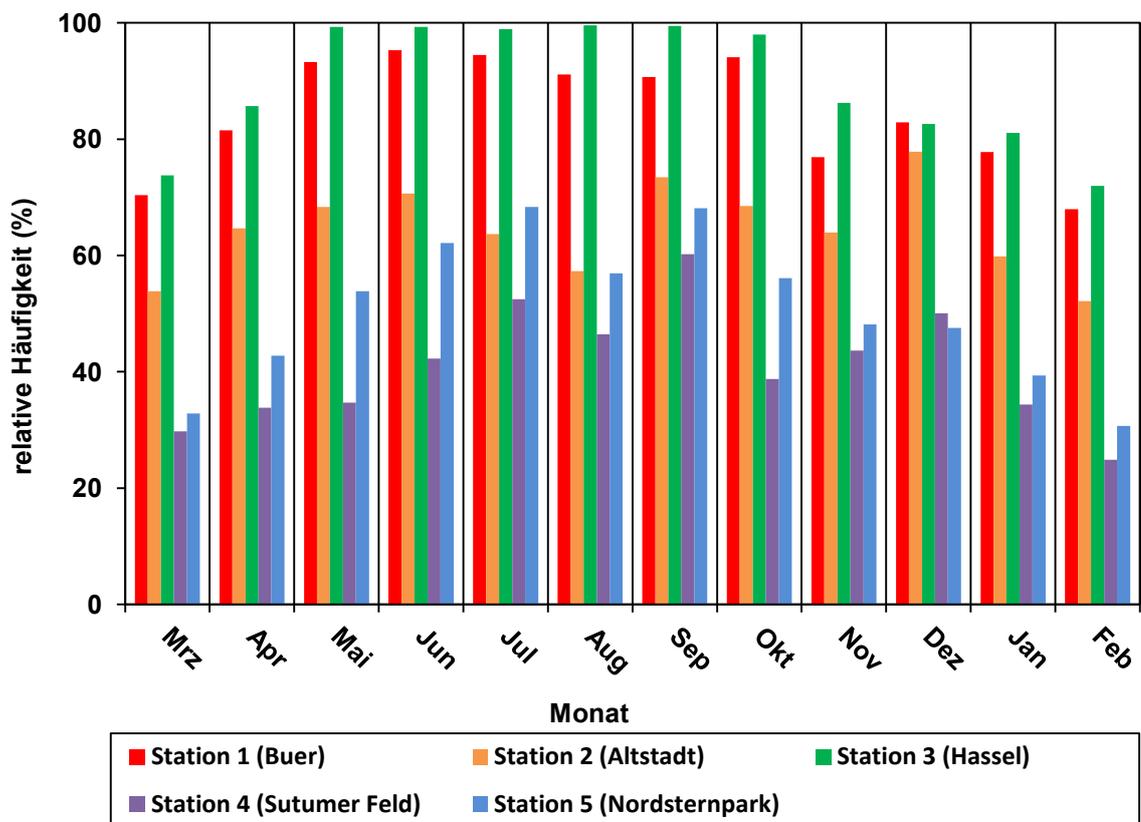


Abb. 17: Jahresgänge der relativen Häufigkeiten von Schwachwindstunden im Untersuchungsgebiet Gelsenkirchen (Messzeitraum: 01.03.2010 bis 28.02.2011)

Allgemein stellt sich die Belüftungssituation an den drei urban geprägten Standorten Buer (Station 1), Altstadt (Station 2) und Hassel (Station 3) gegenüber den Umland- bzw. Parkstandorten Sutumer Feld (Station 4) und Nordsternpark (Station 5) benachteiligt dar. Insbesondere der Vorortstandort Hassel (Station 3) zeichnet sich dabei durch stark erhöhte Werte der Schwachwindhäufigkeit und deren Episodenlänge aus. Dies bedeutet jedoch nicht zwangsläufig, dass in Hassel aufgrund der eingeschränkten Austauschbedingungen mit erhöhter Luftverschmutzung zu rechnen ist, da die Luftqualität eines Standortes neben den Belüftungsverhältnissen natürlich in erster Linie von der Emissionssituation abhängig ist.

5.4 Nachweis bodennahe Kaltluftdynamik

Die drei im Untersuchungsgebiet der Stadt Gelsenkirchen während windschwacher Strahlungsächte durchgeführten SF₆-Tracerausbreitungskampagnen geben Auskunft über die nächtliche, bodennahe Kaltluftdynamik und mögliche Eindringtiefe in bebaute oder potentielle Wirkgebiete. Anhand dieser Untersuchungen kann daher festgestellt werden, ob Kaltluftproduktionsflächen (Quellgebiete) während austauscharmer Strahlungsächte möglicherweise einen positiven Effekt auf die städtische Überwärmung oder Immissionssituation der angrenzenden Bebauungsgebiete (Wirkgebiete) ausüben. Das zugrundeliegende methodische Verfahren dieser Analyseform wurde bereits in Kapitel 3.2.2 erläutert. Die Verortung der Standorte der Traceremissionspunkte innerhalb des Stadtgebietes erfolgte in Karte 1 (S. 18). Nachstehend werden die jeweiligen Fragestellungen, Rahmenbedingungen und Ergebnisse der SF₆-Messeinsätze im Bereich Eckerresse, Hegefeld und Horst erläutert und dargestellt.

5.4.1 Untersuchungsgebiet Eckerresse

Die SF₆-Tracerausbreitungskampagne im Untersuchungsgebiet Eckerresse wurde in der Zeit vom 24.04.2010 22:30 Uhr (MEZ) bis zum 25.04.2010 02:10 Uhr (MEZ) durchgeführt. Während des Untersuchungszeitraums herrschte eine Hochdruckbrücke über Mitteleuropa (Deutscher Wetterdienst 2010/11), welche für ungestörtes Strahlungswetter sorgte und somit eine kaltluftrelevante Wetterlage darstellte. Dies wird auch durch die vorherrschenden Windverhältnisse an der freianströmbaren Umlandstation Sutumer Feld (Station 4) deutlich, die bei einer mittleren Windgeschwindigkeit von 0,9 m s⁻¹ und überwiegenden Windrichtungen aus Nordost (s. Karte 3) als relativ austauscharm zu bezeichnen sind.

Der Emissionspunkt des Tracers befand sich an der Vierhöfestraße unweit der Ecke Bergackerstraße auf einer Höhe von etwa 85 m ü. NN. Das Untersuchungsgebiet Eckerresse stellt ein großflächiges, zusammenhängendes Areal landwirtschaftlicher Nutzflächen dar und hat somit ein hohes Kaltluftbildungspotential. Das Gelände fällt ausgehend vom Emissionspunkt in nördliche, östliche und südöstliche Richtung leicht ab. Mit Annäherung an den Ortsrand von Resse im Osten ist das Relief zunehmend stärker ausgeprägt. Westlich des Emissionspunktes, in Richtung Buer, ist ein leichter Anstieg des Geländes zu verzeichnen.

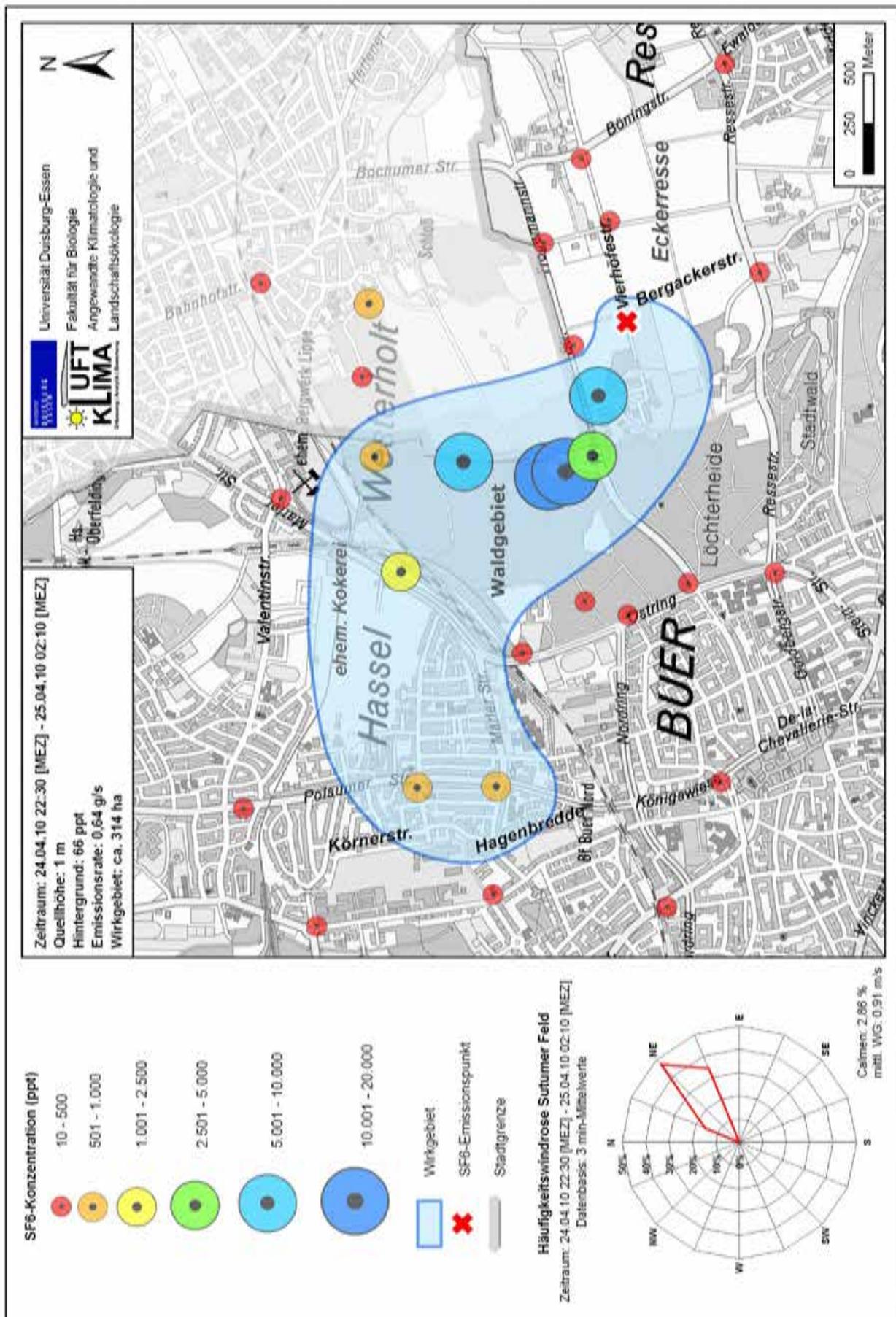
Im Rahmen dieser Messkampagne galt es zu prüfen, ob die im Bereich Eckerresse produzierte Kaltluft bei schwachem Ostantrieb in die Bebauungsstruktur von Buer eindringen kann oder der gravitative Einfluss des Reliefs die Kaltluft in nördliche oder östliche Richtung abfließen lässt.

Zu diesem Zweck wurde in einer Quellhöhe von 1 m ü. Gr. über den gesamten Untersuchungszeitraum das Tracergas Schwefelhexafluorid (SF_6) bei einem Massenstrom von $0,64 \text{ g s}^{-1}$ emittiert und deren Ausbreitung mit einem mobilen Gaschromatographen verfolgt. Zuvor konnte eine Hintergrundkonzentration von 66 ppt gemessen und durch einen optischen Rauchtracer eine leichte östliche Anströmung zum Startzeitpunkt der Emission festgestellt werden.

Karte 3 zeigt die Ausbreitung der im Bereich Eckerresse gebildeten Kaltluft anhand der erhobenen SF_6 -Konzentrationen in der Umgebung. Es wird deutlich, dass zunächst, trotz des leicht ansteigenden Reliefs, hohe Konzentrationen in Lee des Emissionspunktes gemessen wurden. Allerdings stellt das Waldgebiet Löchterheide eine Barriere für die weitere Ausbreitung in westlicher Richtung dar und verhindert somit ein Eindringen der Kaltluft in den Siedlungskern von Buer. Im weiteren Verlauf lässt sich ein deutlicher Leiteffekt entlang des Waldrandes in nördliche Richtung erkennen, welcher in einem gravitivem Antrieb infolge der zunehmend geringeren Geländehöhe resultiert. Aufgrund der leichten Reliefneigung dringt das Tracergas durch das Waldgebiet Löchterheide hindurch und wird über die Industriebrache der ehemaligen Kokerei bis in den südlichen Siedlungsbereich von Hassel verfrachtet. Die nördliche Grenze des Wirkgebietes ist zwischen der alten Gleisanlage der Kokerei Hassel und der Valentinstraße anzusiedeln. Die westliche Ausbreitung reicht in etwa bis zur Körnerstraße und Hagenbredde, allerdings sind die gemessenen SF_6 -Konzentrationen im Bereich Polsumstraße bereits als relativ gering zu bezeichnen.

Insgesamt nimmt das Wirkgebiet der Kaltluftproduktionsfläche Eckerresse eine Größe von ca. 314 ha ein. Jedoch besteht der Großteil dieses Wirkgebietes aus landwirtschaftlichen Flächen, Waldflächen und einer Industriebrache. Nur ein geringer Anteil setzt sich aus den Wohngebieten im Süden von Hassel zusammen. Aufgrund der geringen SF_6 -Konzentrationen in diesem Bereich ist nicht von einer effektiven nächtlichen Abkühlung infolge der Kaltluft auszugehen. Für den Stadtteil Buer konnte im Rahmen dieser Untersuchung, aufgrund der Barrierewirkung der Löchterheide und des ansteigenden Reliefs kein Kaltlufttransport aus dem Untersuchungsgebiet Eckerresse festgestellt werden.

Karte 3: Kaltluftausbreitung der SF6-Tracergaskampagne am 24./25.04.2010 im Untersuchungsgebiet GE-Eckerresse



5.4.2 Untersuchungsgebiet Hegefeld

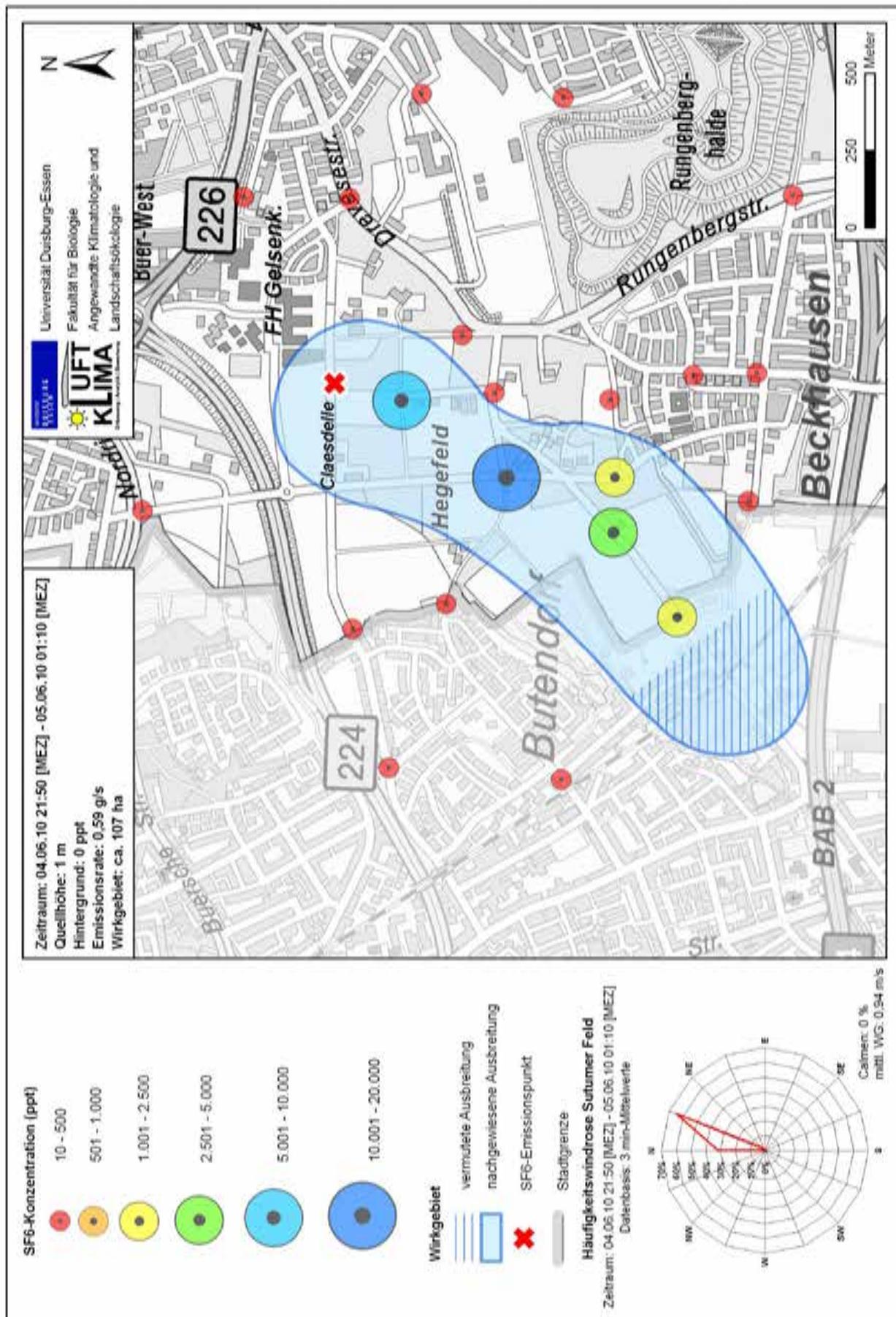
In der Nacht vom 04. auf den 05.06.2010 wurde zwischen 21:50 Uhr (MEZ) bis 01:10 Uhr (MEZ) eine SF₆-Tracerausbreitungskampagne im Bereich Hegefeld durchgeführt. Hierbei galt es zu prüfen, ob von den landwirtschaftlich genutzten Flächen südlich der Fachhochschule Gelsenkirchen während austauscharmer Strahlungsnächte ein Kaltluftabfluss in die nördlich der BAB 2 gelegenen Wohngebiete des Stadtteils Beckhausen erfolgt.

Ein Hoch über Mitteleuropa sorgte während der Untersuchung bei wolkenlosem Himmel für eine strahlungsintensive Wetterlage (Deutscher Wetterdienst 2010/11) und somit für ideale Messbedingungen. Die Windverhältnisse an der nahegelegenen Umlandstation Sutumer Feld (Station 4) dokumentieren eine schwache Anströmung aus Ost-Nordost (s. Karte 4). Dies konnte auch zum Startzeitpunkt der Emission des Tracergases anhand von Rauchtabletten bestätigt werden. Die Hintergrundkonzentration an SF₆ in der Atmosphärenluft lag unterhalb der Nachweisgrenze des eingesetzten Gaschromatographen. Mit einem Massenstrom von 0,59 g s⁻¹ wurde der Tracer etwa 150 m südwestlich der Fachhochschule im Straßenverlauf der Claesdelle auf einer Höhe von etwa 65 m ü. NN ausgebracht. Das Gelände des Untersuchungsraums weist ausgehend vom Emissionspunkt ein zunächst leicht gewelltes Relief mit anschließend schwachem Gefälle in südliche und südwestliche Richtung auf, während im Nord- und Ostsektor ein geringer Anstieg vorliegt.

Aus Karte 4 geht hervor, dass die Ausbreitung des Tracergases ausschließlich in südwestliche Richtung über die Stadtgrenze von Gelsenkirchen hinaus erfolgte. Dabei stellen die erhöhten Trassen der von Nordwest nach Südost verlaufenden Bahnlinie und der BAB 2 die Grenze der Kaltluftausbreitung auf dem Stadtgebiet von Gladbeck dar. Innerhalb des vermuteten Wirkgebietes der nördlichen Wohnbebauung von Beckhausen konnte an sämtlichen Messpunkten keine erhebliche SF₆-Konzentration erfasst werden. Die Darstellung der aus den gemessenen Tracerkonzentrationen abgeleiteten Form des tatsächlichen Wirkgebietes zeigt deutlich, dass das Wohngebiet von der abfließenden Kaltluft lediglich am Nordwestrand tangiert wird.

Die Gründe dafür sind insbesondere in dem in südwestlicher Richtung etwas stärker abfallenden Relief und dem leichten Strömungsantrieb aus ost-nordöstlicher Richtung zu sehen. Insgesamt umfasst das Wirkgebiet eine Größe von etwa 104 ha, dessen Nutzungsstruktur jedoch weitestgehend durch landwirtschaftliche Flächen geprägt ist. Lediglich im Südosten von Gladbeck-Butendorf können kleine Siedlungsbereiche von der klimatischen Wirksamkeit der Kaltluftproduktionsfläche Hegefeld profitieren.

Karte 4: Kaltluftausbreitung der SF6-Tracergaskampagne am 04./05.06.2010 im Untersuchungsgebiet GE-Hegefeld



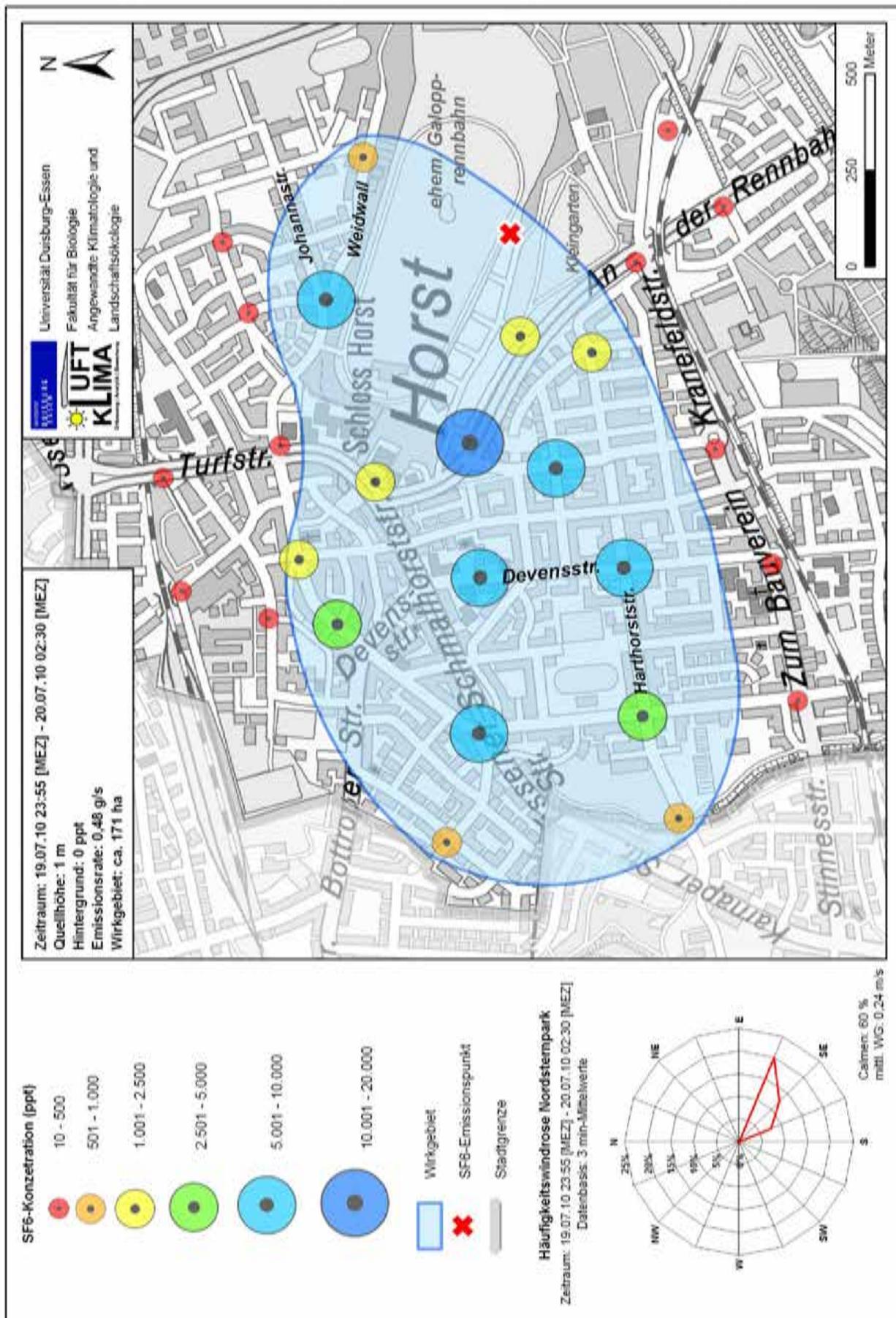
5.4.3 Untersuchungsgebiet Horst

Untersuchungsgegenstand der SF₆-Tracergaskampagne im Stadtteil Horst war die lokale Kaltluftdynamik der ehemaligen Galopprennbahn (Golfplatz) und der umliegenden Freiflächen während austauscharmer Strahlungsnächte. Von besonderem Interesse war die Ausbreitung und Eindringtiefe der potentiellen Kaltluftbildung in den Siedlungskern von Horst bei leichtem, östlichem Antrieb. Während des Untersuchungszeitraums vom 19.07.2010 um 23:55 (MEZ) Uhr bis zum 20.07.2010 um 02:30 Uhr (MEZ) war an der nächstgelegenen Klimafeststation 5 (Nordsternpark) eine Hauptwindkomponente aus Ost-Südost zu verzeichnen. Die vorherrschenden Windverhältnisse stellten sich bei einem Calmenanteil von 60 % und einer mittleren Windgeschwindigkeit von lediglich 0,2 m s⁻¹ als sehr austauscharm dar.

Der Emissionsstandort des Tracergases befand sich nördlich der Kleingartenanlage direkt angrenzend an das Areal der ehemaligen Galopprennbahn. Das Schwefelhexafluorid wurde bei einer mittleren Emissionsrate von 0,48 g s⁻¹ und einer messtechnisch nicht erfassbaren und somit extrem geringen Hintergrundkonzentration ausgebracht. Bereits anhand der erzeugten Rauchtracer konnte zum Startzeitpunkt der Emission eine Luftbewegung in Richtung des Siedlungskerns von Horst beobachtet werden.

Dies spiegelt sich auch in den gemessenen SF₆-Konzentrationen innerhalb des Untersuchungsgebietes wider. Aus Karte 5 geht deutlich hervor, dass ein Kaltlufttransport bis weit in die Wohnbebauung von Horst nachgewiesen werden konnte. Das Wirkgebiet, mit einer Gesamtgröße von etwa 171 ha, erstreckt sich dabei ausgehend vom Emissionspunkt hauptsächlich in westliche Richtungen. Allerdings konnten auch nördlich des Golfplatzes im Bereich Weidwall und Johannastraße noch relativ hohe SF₆-Konzentrationen detektiert werden. Das ansteigende Gelände verhindert jedoch ein weiteres Vordringen der Kaltluft in Richtung Norden. Die Westbegrenzung des Wirkgebietes entspricht in etwa der Stadtgrenze von Gelsenkirchen. Insbesondere zwischen den Straßenzügen An der Rennbahn und Devensstraße sowie an der Schmalhorststraße Ecke Essener Straße konnten hohe SF₆-Konzentrationen erfasst werden. In diesem Bereich sinkt das Relief um etwa 10 m ab. Im weiteren Verlauf der Harthorststraße lässt der Einfluss der Kaltluft aufgrund des wiederum leicht ansteigenden Geländes nach. Die südliche Erstreckung des Wirkgebietes reicht fast bis zum Straßenverlauf der Kranefeldstraße bzw. Zum Bauverein. Ein Vordringen der Kaltluft in die Wohnbebauung südlich der Bahntrasse konnte somit nicht festgestellt werden.

Karte 5: Kaltluftausbreitung der SF6-Tracergaskampagne am 19./20.07.2010 im Untersuchungsgebiet GE-Horst



Insgesamt stellt das Areal der ehemaligen Galopprennbahn während austauscharmer Strahlungsächte eine wichtige klimawirksame Fläche für die Belüftungssituation insbesondere der westlich gelegenen Wohngebiete von Horst dar. Diese These wird zudem gestützt durch die, im Rahmen der Lufttemperaturmessfahrten für weite Teile des Wirkgebietes ermittelte, negative Temperaturanomale während nächtlicher Strahlungswetterlagen (vgl. Karte 2, S. 36).

5.5 Human-biometeorologische Verhältnisse

Um dem aktuellen Stand der Wissenschaft gerecht zu werden erfolgt die Beschreibung und Bewertung der human-biometeorologischen Verhältnisse gemäß den Empfehlungen der VDI-Richtlinie 3787 Bl. 2 (VDI 1998/2003) anhand der Physiologischen Äquivalent Temperatur (PET). Dieser Index zur Bewertung der thermischen Komponente des Bioklimas hat gegenüber älteren Verfahren (z.B. der Äquivalenttemperatur) den Vorteil, dass auch thermophysio-logische Größen wie die metabolische Wärme und der Einfluss unterschiedlicher Bekleidung auf den Wärmehaushalt des menschlichen Körpers Berücksichtigung finden (VDI 2004a). PET basiert auf dem Münchener Energiebilanzmodell für Individuen (MEMI) (Höppe 1999) und ist definiert als „diejenige Lufttemperatur, bei der in einem typischen Innenraum die Wärmebilanz eines Menschen bei gleichen Werten der Haut- und Kerntemperatur ausgeglichen ist wie bei den Bedingungen im Freien“ (VDI 1998/2003).

Die im Folgenden beschriebenen PET-Werte wurden mit Hilfe des numerischen Modells RayMan Pro (Matzarakis et al. 2010) berechnet, dem als Eingangsgrößen die an den fünf Klimafeststationen im Gelsenkirchener Untersuchungsgebiet erhobenen Werte der Lufttemperatur, relativen Luftfeuchtigkeit und Windgeschwindigkeit dienten. Einen entscheidenden Einfluss auf das thermische Befinden des Menschen geht allerdings von der mittleren Strahlungstemperatur, die sich aus den kurz- und langwelligen Strahlungsflüssen ergibt, aus (VDI 2006). Da diese Größen für den Untersuchungszeitraum nicht vorliegen, wurden sie unter der Annahme eines wolkenlosen Himmels von dem Modell RayMan Pro berechnet. Die Darstellung und Bewertung der human-biometeorologischen Verhältnisse bezieht sich daher ausschließlich auf die in Kapitel 4.2 ermittelten Strahlungstage der Sommermonate Juni, Juli und August (Datenkollektiv von 32 Tagen).

Zur Berücksichtigung der verschiedenen Standorteigenschaften wurden an den fünf Klimafeststationen Senkrechtaufnahmen mit einem Fisheye-Objektiv (Aufnahmehöhe 1,30 m ü. Gr.) durchgeführt (Abb. 18). Anhand dieser Fotos berechnet das Modell RayMan Pro die jeweilige Horizonteinschränkung (Sky View Factor, SVF) und berücksichtigt darauf aufbauend bei der Berechnung der Strahlungsflüsse sowie der PET-Werte die Abschattung durch umliegende Hindernisse wie Gebäude oder Vegetation in Abhängigkeit des Sonnenstandes im Tagesverlauf. So findet nicht allein der Wert der Horizonteinschränkung, sondern auch die Anordnung der Hindernisse zum Standort Beachtung.

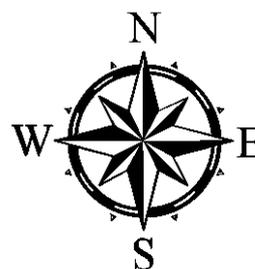


Abb. 18: Fisheye-Aufnahmen der fünf Stationsstandorte im Gelsenkirchener Untersuchungsgebiet mit Angabe der durch „RayMan Pro“ berechneten Horizonteinschränkung (Sky View Factor, SVF)

Des Weiteren wird den Berechnungen des Modells eine standardisierte Person männlichen Geschlechts mit einer Körpergröße von 1,75 m und einem Gewicht von 75 kg (Klima-Michel) zugrundegelegt. Zur Differenzierung der Tageszeiten wurden die Werte für den Wärmedurchgangswiderstand der Bekleidung (clothing value, clo) entsprechend der Tag- (leichte Sommerbekleidung = 0,5 clo) und Nachtsituation („korrekter Straßenanzug“ = 1,0 clo) angepasst.

Die Bewertungsklassen des thermischen Empfindens und der entsprechenden thermophysiologischen Belastungsstufen anhand der PET-Werte zeigt Tabelle 16. Demnach stellt sich ein Empfinden thermischer Behaglichkeit bei PET-Werten um 20 °C ein, Abweichungen von diesem Wert äußern sich in zunehmender thermischer Kälte- bzw. Wärmebelastung. Eine an sommerlichen Strahlungstagen relevante Wärmebelastung stellt sich demnach in starker bzw. extremer Ausprägung ab einem PET-Wert von 35 °C ein.

Tab. 16: Klassifizierung der PET-Werte anhand des thermischen Empfindens und der entsprechenden thermophysiologischen Belastungsstufen (verändert nach Matzarakis et al. 1999)

PET (°C)	thermisches Empfinden	thermophysiologische Belastungsstufen
0 – 4	sehr kalt	extreme Kältebelastung
4 – 8	kalt	starke Kältebelastung
8 – 13	kühl	mäßige Kältebelastung
13 – 18	leicht kühl	schwache Kältebelastung
18 – 23	behaglich	keine thermische Belastung
23 – 29	leicht warm	schwache Wärmebelastung
29 – 35	warm	mäßige Wärmebelastung
35 – 41	heiß	starke Wärmebelastung
> 41	sehr heiß	extreme Wärmebelastung

Tabelle 17 gibt eine Übersicht ausgewählter statistischer Kennwerte der mit RayMan Pro berechneten PET-Werte an den fünf Feststationen bezogen auf die Strahlungstage der Sommermonate Juni, Juli und August 2010. An den beiden Umland- bzw. Parkstandorten Sutumer Feld (Station 4) und Nordsternpark (Station 5) ergab sich mit 21,7 °C ein identischer Wert der im Bereich der thermischen Behaglichkeit angesiedelt ist. Die drei Standorte im urban geprägten Raum weisen hingegen etwas erhöhte PET-Mittelwerte im Bereich der schwachen Wärmebelastung auf. Die PET-Werte der absoluten Maxima sind ebenfalls an den städtischen Standorten erhöht, allerdings weisen alle Stationen eine extreme Wärmebelastung auf. Bezüglich der absoluten Minima ergeben sich größere interstationäre Differenzen. Während die klimatischen Verhältnisse an den Standorten Buer (Station 1), Altstadt (Station 2) und Hassel

(Station 3) höchstens als kalt empfunden wurden, konnte für die beiden anderen Stationen sogar eine extreme Kältebelastung ermittelt werden.

Tab. 17: Übersicht der statistischen Kennwerte der Physiologisch äquivalenten Temperatur (PET) im Gelsenkirchener Untersuchungsgebiet (Datenbasis: Stundenmittelwerte der 32 sommerlichen Strahlungstage)

	St. 1 (BUE)	St. 2 (AST)	St. 3 (HAS)	St. 4 (SUT)	St. 5 (NOP)
Mittelwert (°C)	24,9	23,8	23,4	21,7	21,7
MAX, abs. (°C)	48,0	46,7	47,7	45,6	45,8
MIN, abs. (°C)	6,3	5,3	5,1	2,5	1,4
PET > 35 °C (Tagsituation) (%)	27,0	18,5	22,1	15,1	18,7

Einen detaillierten Überblick über die Häufigkeitsverteilung der verschiedenen thermophysiologischen Belastungsstufen an den fünf Klimastationen im Untersuchungsgebiet Gelsenkirchen liefert Abbildung A7. In Tabelle 17 werden zudem die während sommerlicher Strahlungstage besonders relevanten Häufigkeiten des Auftretens von Stunden mit starker und extremer Wärmebelastung (PET > 35 °C) am Tage (Sonnenaufgang bis -untergang) angeführt. An den Standorten Buer (Station 1) und Hassel (Station 3) stellte sich demnach am häufigsten ein heißes bis sehr heißes thermisches Empfinden ein. An der ebenfalls stark urban geprägten Station Altstadt (Station 2) traten starke bis extreme Wärmebelastungen mit 18,5 % der Tagstunden, trotz der hier im Mittel höchsten Lufttemperaturen (vgl. Kapitel 5.1.1.1) wesentlich seltener auf. Da der mittlere Tagesgang der PET-Werte für den Standort Altstadt (Station 2) jedoch keine Unregelmäßigkeiten aufweist (Abb. 19), sind Abschattungsprozesse durch umliegende Gebäude für dieses Phänomen auszuschließen. Als Ursache sind daher die aufgrund der Bebauungsstruktur der Umgebung erhöhten Windgeschwindigkeiten am Standort zu nennen (vgl. Kap. 5.3.1).

Die Auswirkungen auf das thermische Empfinden infolge von Abschattungsprozessen lassen sich in den diurnalen Verläufen der Stationen 1 (Buer) und 3 (Hassel) ablesen. Am Standort Buer (Station 1) ist ein Schattenwurf der umliegenden Hindernisse um 16 Uhr (MEZ) anhand der temporär geringeren PET-Werte zu erkennen. Das gleiche Phänomen tritt am Standort Hassel (Station 3) um 11 Uhr (MEZ) auf. Zudem ist hier ein starker Rückgang der PET-Werte bereits ab 14 Uhr (MEZ) zu erkennen, welcher ebenfalls auf die Abschattung durch umliegende Gebäude und Vegetationsbestände zurückzuführen ist.

Allgemein lassen sich ähnlich große interstationäre Differenzen zur Tagesmitte und im Verlaufe der Nacht erkennen, während in den frühen Morgen- und Abendstunden nur geringe Unterschiede auftreten. Auffällig erscheint zudem, dass der Vorortstandort Hassel (Station 3) zwischen 12 Uhr und 14 Uhr (MEZ) die im Mittel höchste Wärmebelastung aufweist. Dies ist auf die an diesem Standort stark reduzierten Windgeschwindigkeiten (vgl. Kap. 5.3.3) zurückzuführen.

Hinsichtlich der human-biometeorologischen Verhältnisse im Gelsenkirchener Stadtgebiet ist abschließend festzuhalten, dass während sommerlicher Strahlungswetterlagen an den Standorten im urbanen Raum eine höhere Wärmebelastung der Bevölkerung zu erwarten ist. Innerhalb der städtischen Strukturen ist das Ausmaß der thermischen Belastung zudem sehr kleinräumig differenziert und von den Umgebungseigenschaften des Standortes bzw. den daraus resultierenden mikroklimatischen Verhältnissen abhängig.

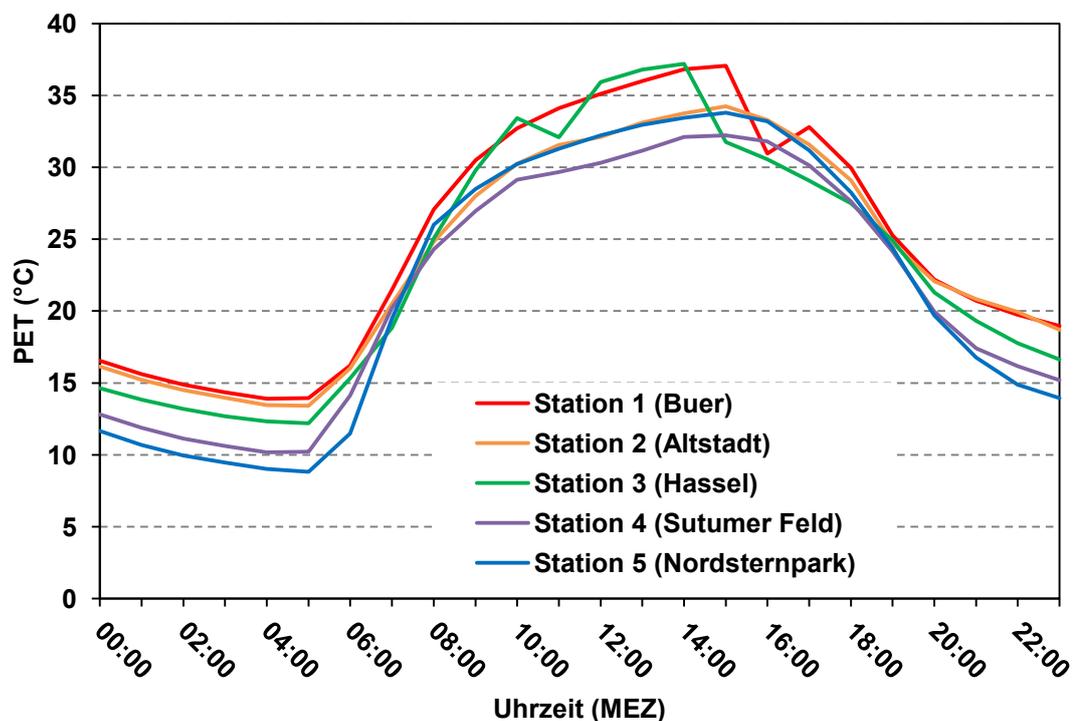


Abb. 19: Mittlerer Tagesgang der PET-Werte an den verschiedenen Stationen im Gelsenkirchener Untersuchungsgebiet (Datenbasis: Stundenmittelwerte der 32 sommerlichen Strahlungstage)

5.6 Luftqualität im Straßenraum

Zur Ermittlung und Bewertung der linienhaften Verteilung verschiedener Spurenstoffkonzentrationen im Untersuchungsgebiet Gelsenkirchen wurden innerhalb des Messzeitraums (01.03.2010 bis 28.02.2011) insgesamt drei lufthygienische Profilmessfahrten durchgeführt. Die Termine sowie die vorherrschenden Wetterlagen sind Tabelle 6 (S. 13) zu entnehmen. Alle Messfahrten erfolgten außerhalb der Wochenenden und Schulferien jeweils zwischen den arbeitszeitbedingten Verkehrsspitzen am Morgen und späten Nachmittag.

Die gemessenen Konzentrationen aller drei Messfahrten werden für die Spurenstoffe Kohlenmonoxid (CO), Stickstoffmonoxid (NO), Stickstoffdioxid (NO₂) und Ozon (O₃) sowie für die Partikelgrößenfraktion PM₁₀ in Karte 6 bis 10 (S. 70-74) als Streckenabschnittsmittel dargestellt. Die vereinzelt auftretende Signatur „nicht verfügbarer Wert“ resultiert, wie bereits in Kapitel 3.2.3 erläutert, aus einer notwendigen Datenbereinigung aufgrund einer Beeinflussung der Ergebnisse durch Messung direkter Verkehrsimmissionen (z.B. vorausfahrender LKW). Für den stark von der solaren Einstrahlung abhängigen Sekundärspurenstoff O₃ wurden die erhobenen Daten zunächst einer chronologischen Korrektur anhand der O₃-Konzentrationen an der LUQS-Station BOTT unterzogen. Tabelle 18 gibt eine Übersicht der mittleren Konzentrationen verschiedener Spurenstoffe an den LUQS-Stationen GELS und BOTT jeweils bezogen auf den Zeitraum der lufthygienischen Messfahrten (ca. 5 Std.). Diese Werte dienen zur Orientierung bei der Bewertung der Immissionssituation entlang der verschiedenen Streckenabschnitte im Untersuchungsgebiet Gelsenkirchen.

Tab. 18: Mittlere Konzentrationen von NO, NO₂, O₃ sowie PM₁₀ an den LUQS-Stationen GELS und BOTT bezogen auf den Zeitraum der lufthygienischen Messfahrten im Untersuchungsgebiet Gelsenkirchen

Angaben in µg m ⁻³	GELS		BOTT			
	NO	NO ₂	NO	NO ₂	O ₃	PM ₁₀
23.03.2010 09:30 - 14:30 MEZ	8,9	38,5	6,5	34,7	42,2	30,4
16.04.2010 09:00 - 14:00 MEZ	4,0	24,1	4,0	15,1	67,3	20,7
10.01.2010 10:30 - 15:00 MEZ	17,3	38,6	17,4	39,0	17,4	28,0
Mittelwert	10,1	33,7	9,3	29,6	42,3	26,4

In Abbildung 20 werden zunächst auf Grundlage der Streckenabschnittsmittelwerte aller drei Messfahrten die durchschnittlichen Konzentrationen von CO, NO, NO₂, O₃ sowie PM₁₀ entlang unterschiedlicher Straßentypen und unter Berücksichtigung der angrenzenden Flächennutzung wiedergegeben.

Demnach wurden die höchsten Konzentrationen an NO und NO₂ entlang der hochfrequentierten Bundesstraße 224 sowie den Bundesautobahnen 2 und 42 erfasst. Im Vergleich zu den verkehrsfernen LUQS-Stationen GELS und BOTT stellen sich die Konzentrationen deutlich erhöht dar. Insbesondere die NO-Werte entlang der Bundesstraße 224 nehmen mit durchschnittlich 201,2 µg m⁻³ etwa den 20-fachen Wert des vorstädtischen Hintergrunds (10,1 µg m⁻³) gemessen an der LANUV-Station in Gelsenkirchen-Bismarck (GELS) an. Die geringsten NO- und NO₂-Konzentrationen ergeben sich hingegen für die Nebenstraßen im städtischen Freiraum. Bezüglich der CO-Konzentrationen wurde der höchste Wert entlang der Hauptstraßen in Wohngebieten erreicht. Allerdings befinden sich die durchschnittlichen Immissionen auf einem insgesamt sehr niedrigen Niveau und auch die Differenzen zwischen den verschiedenen Straßentypen sind mit maximal 0,3 mg m⁻³ geringer. Für die Feinstäube (PM₁₀) ergeben sich ebenfalls relativ geringe Unterschiede zwischen den verschiedenen Straßentypen. Im Mittelwert der drei Messfahrten liegen die PM₁₀-Werte bei allen Straßentypen unterhalb des nach 39. BImSchV geltenden Grenzwertes von 50 µg m⁻³ im Tagesmittel. Die höchsten Konzentrationen an PM₁₀ wurden allerdings ebenfalls entlang der Streckenabschnitte der BAB 2 und 42, der B 224 sowie in Gewerbegebieten erhoben. Die Immissionssituation des Sekundärspurenstoffs O₃ zeigt erwartungsgemäß eine inverse Verteilung gegenüber den Stickoxiden. So wurden hier die höchsten Werte im Durchschnitt entlang der Nebenstraßen im städtischen Umland und die geringsten Konzentrationen im Bereich der beiden Bundesautobahnen und der Bundesstraße 224 erreicht. Die diesem Phänomen zugrundeliegenden chemischen Prozesse sollen in Kapitel 5.7.1 erläutert werden.

Insgesamt zeigt sich die durchschnittliche Immissionssituation für CO, NO, NO₂ und PM₁₀ bei allen dargestellten Straßentypen im Vergleich mit den LUQS-Stationen in Gelsenkirchen-Bismarck (GELS) und Bottrop-Welheim (BOTT) aufgrund der emissionsnahen Messung im Straßenraum erhöht dar. Lediglich die O₃-Konzentrationen entlang der Messroute nehmen geringere Werte an als die industriell geprägte LANUV-Station BOTT (vgl. Tab. 18).

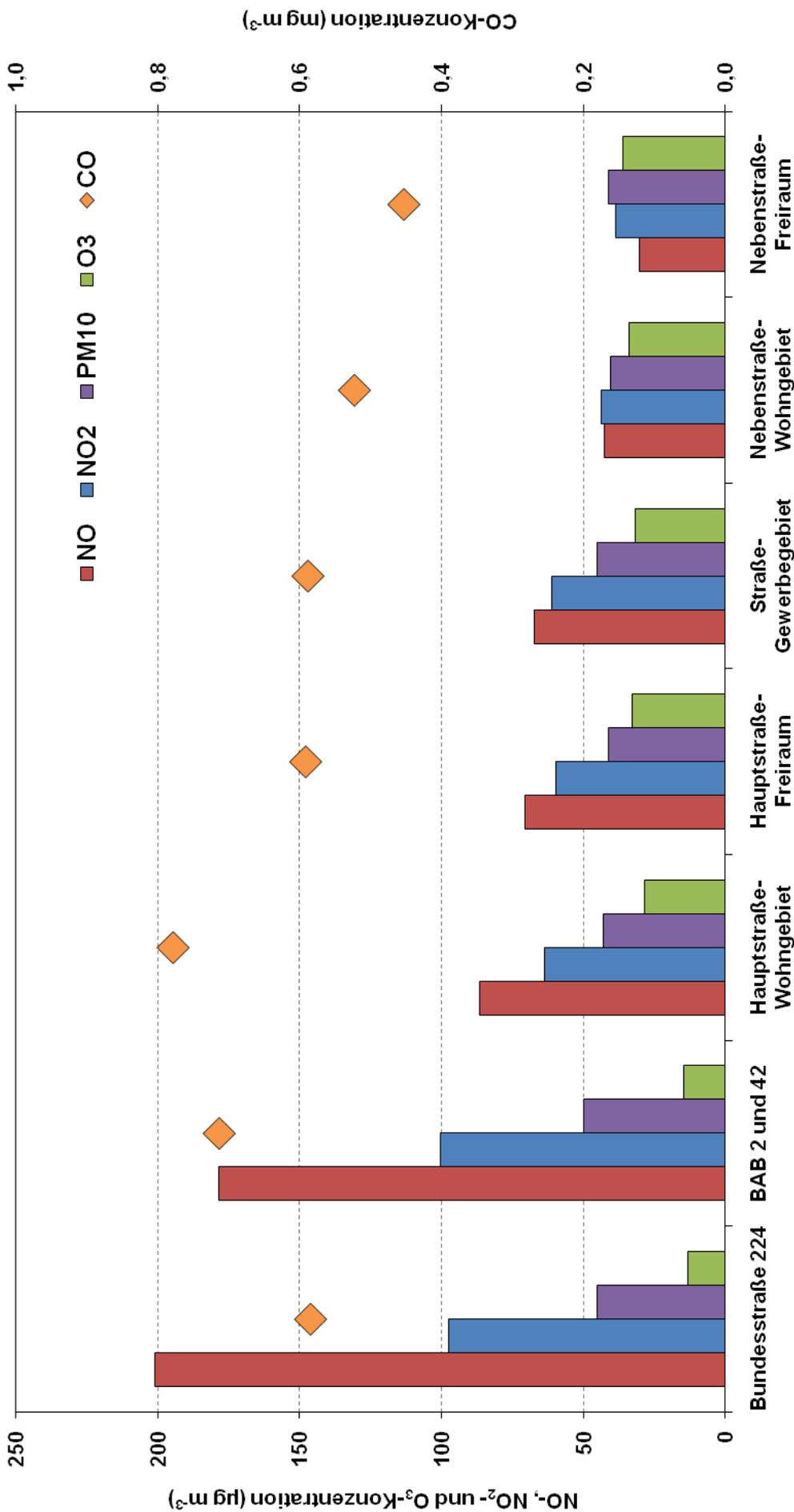


Abb. 20: Durchschnittliche CO- (mg m⁻³), NO_x, NO₂, O₃- und PM₁₀-Konzentrationen (µg m⁻³) entlang unterschiedlicher Straßentypen und Flächennutzungen (Datenbasis: Streckenabschnittswerte der lufthygienischen Messfahrten vom 23.03.2010 (09:32 - 14:24 MEZ), 16.04.2010 (08:47 - 13:50 MEZ) und 10.01.2011 (10:30 - 14:57 MEZ))

Die räumlichen Verteilungsmuster der verschiedenen Spurenstoffe und luftgetragenen Partikel innerhalb des Stadtgebietes von Gelsenkirchen wird im Folgenden anhand der Karten 6 bis 10 (S. 70-74) aufgezeigt. Es werden jeweils pro abgebildeter Größe die Ergebnisse der drei lufthygienischen Messfahrten nebeneinander gestellt. Die Einteilung der Klassengrößen erfolgte zum Teil unter Berücksichtigung der nach 39. BImSchV geltenden Grenzwerten bzw. der VDI-Richtlinien. Bei der Bewertung ist jedoch zu beachten, dass die Messwerte lediglich eine Momentaufnahme darstellen, während sich die Grenz- und Richtwerte auf einen größeren Zeitraum beziehen (z.B. Tagesmittelwert). **Die Angabe der Grenz- und Richtwerte soll daher lediglich einer orientierenden Beschreibung der erhobenen Messwerte dienen.**

Karte 6 (S. 70) zeigt die Streckenabschnittsmittelwerte der drei lufthygienischen Messfahrten im Untersuchungsgebiet Gelsenkirchen für den primär verkehrsbürtigen Spurenstoff CO. Bei absolut betrachtet geringen Konzentrationen mit einem maximalen Streckenabschnittsmittelwert von $5,6 \text{ mg m}^{-3}$ (im Vergleich dazu beträgt der 8 h-Grenzwert nach 39. BImSchV 10 mg m^{-3}), werden die Spitzenkonzentrationen entlang vielbefahrener Hauptstraßen in den Stadtteilen Buer und Altstadt sowie Hassel, Resse, Bulmke-Hüllen und Schalke erreicht. Vereinzelt treten höhere Immissionen aber auch auf den Bundesautobahnen 2 und 42 sowie der Bundesstraße 224 im Stadtgebiet auf. Dies resultiert aus der Abhängigkeit der Kfz-bedingten CO-Emissionen vom Fahrmodus. Der CO-Ausstoß von Kraftfahrzeugen nimmt hohe Werte hauptsächlich bei geringen Fahrgeschwindigkeiten (stockender Verkehrsfluss in Stadtgebieten) an und weist mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit in der Regel eine exponentielle Abnahme auf (Straßburger 2004). Allerdings ist bei hohen Motordrehzahlen und Reisegeschwindigkeiten im Volllastbereich der Kraftfahrzeuge wiederum eine deutliche Zunahme der CO-Emissionen zu verzeichnen (Bayerisches Landesamt für Umweltschutz 2004).

Für Stickoxide (NO und NO₂) nehmen die Kfz-Emissionen hingegen hauptsächlich bei erhöhten Temperaturen in den Brennkammern des Motors zu, welche durch das Fahren mit hohen Geschwindigkeiten und Drehzahlbereichen entstehen (Bayerisches Landesamt für Umweltschutz 2004). Dies wird in Karte 7 und 8 (S. 71-72) anhand der erhobenen NO- und NO₂-Konzentrationen im Stadtgebiet von Gelsenkirchen verdeutlicht. Erhöhte Werte dieser beiden Spurenstoffe treten hauptsächlich entlang der Streckenabschnitte der BAB 2 und 42 sowie der B 224 auf. Bei einzelnen Messfahrtterminen traten erhöhte Werte zudem an einigen Hauptstraßen, wie der Polsumer Straße in Hassel, der Königswiese und Horster Straße in Buer sowie der Florastraße, Ringstraße, Hiberniastraße und Rotthausener Straße im Bereich Altstadt. Erhöhte Konzentra-

tionen entlang dieser Straßenzüge sind auf das hohe Verkehrsaufkommen und eventuell eingeschränkte Austauschverhältnisse aufgrund hoher Randbebauung zurückzuführen. Während die maximale Immissionskonzentration (MIK-Wert) nach VDI-Richtlinie 2310 für NO von $500 \mu\text{g m}^{-3}$ im Tagesmittel (LANUV 2010) an keinem der 203 Streckenabschnitte überschritten wurde, lassen sich bezüglich der NO₂-Konzentrationen sechs Überschreitungen (jeweils drei während der Messfahrten vom 23.03. und 16.04.2010) des Grenzwertes von $200 \mu\text{g m}^{-3}$ im Stundenmittel (laut 39. BImSchV) ableiten.

Der Sekundärspurenstoff O₃ weist während der drei lufthygienischen Messfahrten im gesamten Stadtgebiet von Gelsenkirchen eine gegenüber den Stickoxiden nahezu inverse Konzentrationsverteilung auf (Karte 9, S. 73). Eine Überschreitung von geltenden Grenz- oder Richtwerten konnte aufgrund der während der Messfahrten im Vergleich zur Sommersituation relativ geringen Intensität der solaren Einstrahlung, welche den Antrieb der O₃-Bildung darstellt, nicht verzeichnet werden.

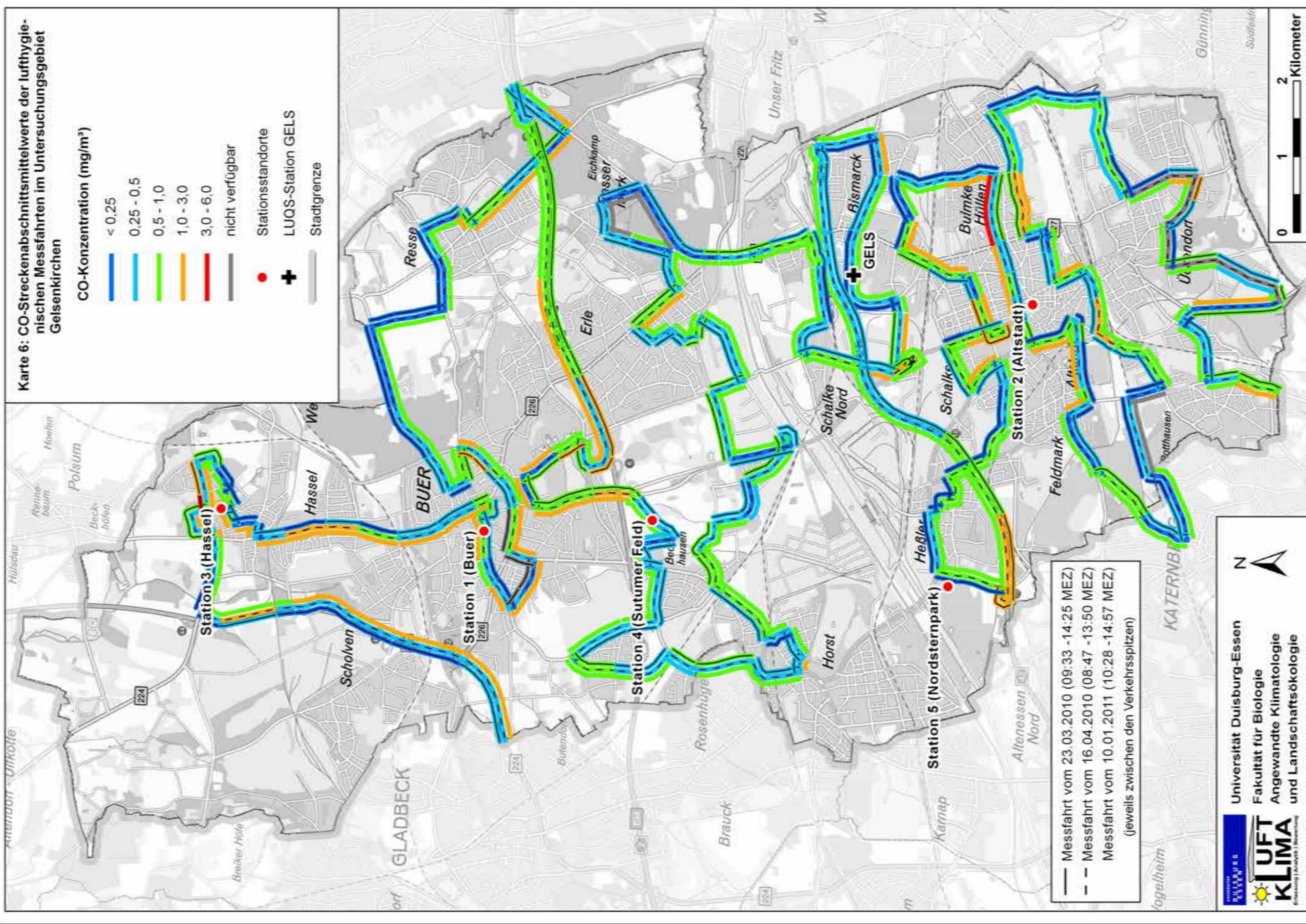
Für die PM₁₀-Konzentrationen innerhalb des Untersuchungsgebietes von Gelsenkirchen ergibt sich gegenüber den beschriebenen Spurenstoffen ein weitaus diffuseres Verteilungsmuster (Karte 10, S. 74). Eine deutliche räumliche Verteilung oder Abhängigkeit von verschiedenen Straßentypen ist nicht zu erkennen. Zudem bestehen große Unterschiede im Immissionsniveau der drei durchgeführten lufthygienischen Messfahrten. Während die Messfahrt vom 23.03.2010 mit einem maximalen Streckenabschnittsmittel von $183,4 \mu\text{g m}^{-3}$ ein hohes Konzentrationsniveau und in weiten Teilen nördlich der BAB 42 Werte oberhalb des Grenzwertes von $50 \mu\text{g m}^{-3}$ im Tagesmittel (laut 39. BImSchV) aufweist, lässt die Messfahrt vom 16.04.2010 relativ geringe PM₁₀-Konzentrationen erkennen. Die Messung vom 10.01.2011 weist wiederum erhöhte Immissionen mit einem Maximum von $167,2 \mu\text{g m}^{-3}$ auf, wobei die Grenzwertüberschreitungen in diesem Fall hauptsächlich südlich der Emscher festzustellen sind. Die unterschiedlichen Immissionsniveaus der drei Messfahrtermine lassen sich durch die übergeordneten Windfelder erklären. Während der beiden Messfahrten mit erhöhtem Konzentrationsniveau (23.03.2010 und 10.01.2011) waren an der Umlandstation Sutumer Feld (Station 4) Hauptwindrichtungen aus SW bzw. SSE zu verzeichnen. In diesen Himmelsrichtungen grenzt Gelsenkirchen an die Städte Essen und Bochum, was auf eine höhere Hintergrundbelastung schließen lässt. Am 16.04.2010, der Messfahrt mit niedrigem Immissionsniveau, wurde das übergeordnete Windfeld hingegen durch nördliche Richtungen, also einer Anströmung aus dem landwirtschaftlich geprägten südlichen Münsterland bestimmt.

Karte 6: CO-Streckenabschnittswerte der lufthygienischen Messfahrten im Untersuchungsgebiet Gelsenkirchen

CO-Konzentration (mg/m³)

- < 0,25
- 0,25 - 0,5
- 0,5 - 1,0
- 1,0 - 3,0
- 3,0 - 6,0
- nicht verfügbar

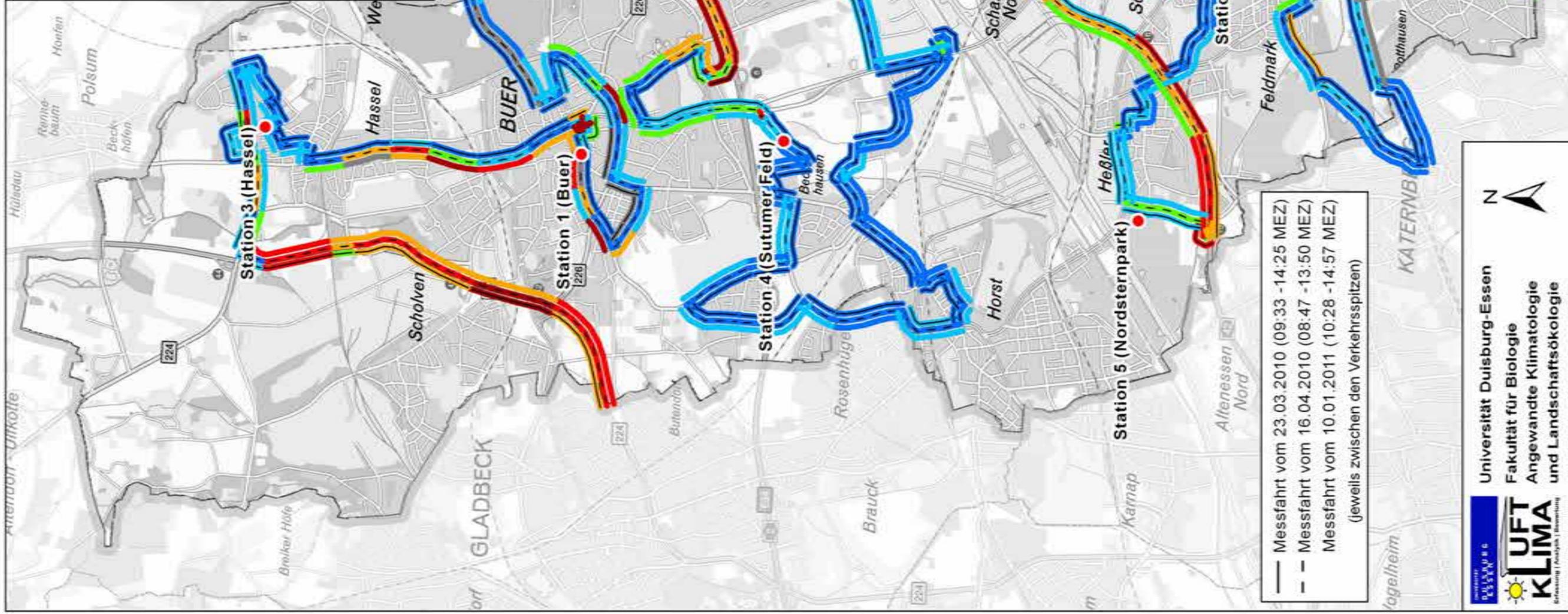
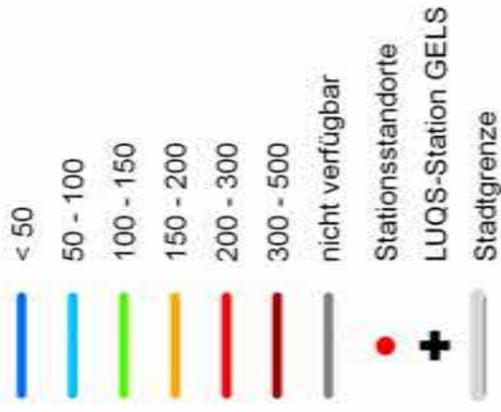
- Stationsstandorte
- + LUQS-Station GELS
- Stadtgrenze



- Messfahrt vom 23.03.2010 (09:33 - 14:25 MEZ)
 - - Messfahrt vom 16.04.2010 (08:47 - 13:50 MEZ)
 - Messfahrt vom 10.01.2011 (10:28 - 14:57 MEZ)
- (jeweils zwischen den Verkehrsspitzen)

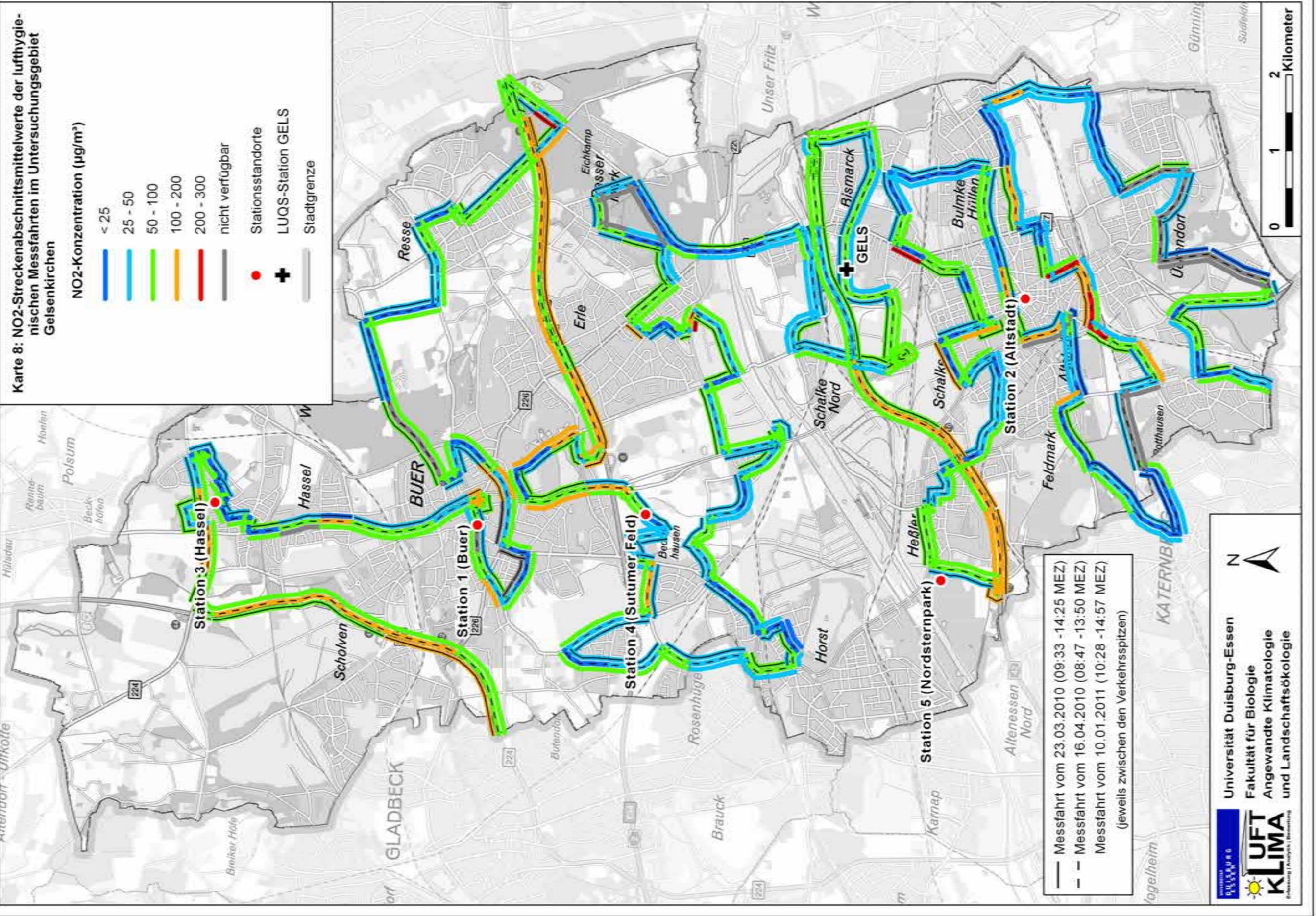
Karte 7: NO-Streckenabschnittswerte der lufthygienischen Messfahrten im Untersuchungsgebiet Gelsenkirchen

NO-Konzentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



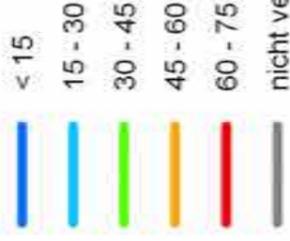
— Messfahrt vom 23.03.2010 (09:33 -14:25 MEZ)
 - - Messfahrt vom 16.04.2010 (08:47 -13:50 MEZ)
 — Messfahrt vom 10.01.2011 (10:28 -14:57 MEZ)
 (jeweils zwischen den Verkehrsspitzen)

Universität Duisburg-Essen
 Fakultät für Biologie
 Angewandte Klimatologie
 und Landschaftsökologie



Karte 9: O₃-Streckenabschnittswerte der luftgynesischen Messfahrten im Untersuchungsgebiet Gelsenkirchen

O₃-Konzentration (µg/m³)



nicht verfügbar

Stationstandorte



LUQS-Station GELS



Stadtgrenze



— Messfahrt vom 23.03.2010 (09:33 - 14:25 MEZ)
 - - Messfahrt vom 16.04.2010 (08:47 - 13:50 MEZ)
 - - Messfahrt vom 10.01.2011 (10:28 - 14:57 MEZ)
 (jeweils zwischen den Verkehrsspitzen)

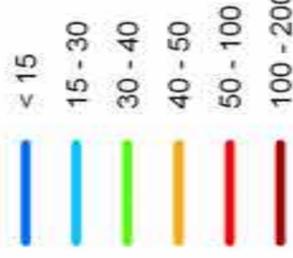


Universität Duisburg-Essen
 Fakultät für Biologie
 Angewandte Klimatologie
 und Landschaftsökologie



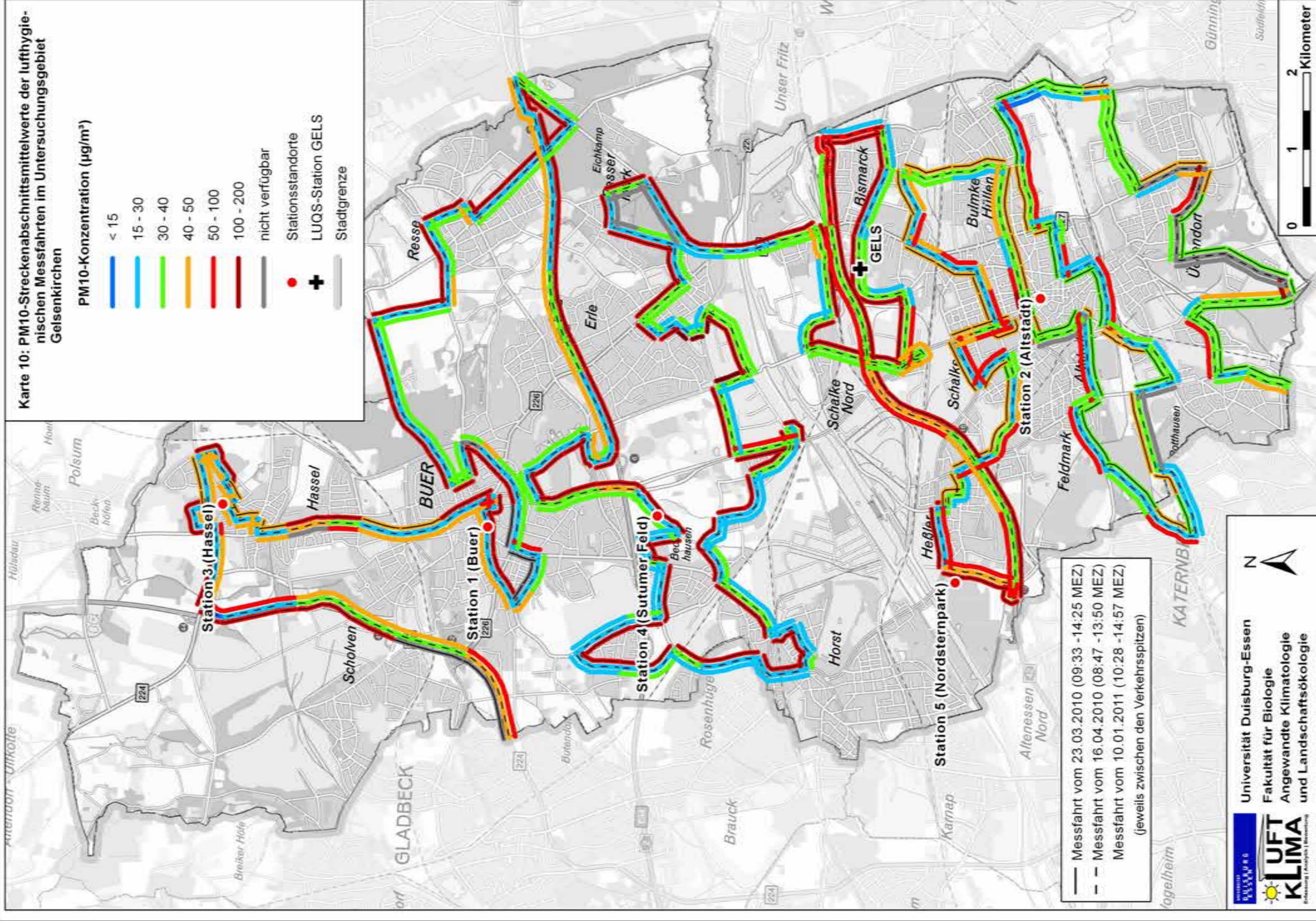
Karte 10: PM10-Streckenabschnittswerte der lufthygienischen Messfahrten im Untersuchungsgebiet Geisenkirchen

PM10-Konzentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



nicht verfügbar

Stationsstandorte
 LUQS-Station GELS
 Stadtgrenze



— Messfahrt vom 23.03.2010 (09:33 - 14:25 MEZ)
 - - Messfahrt vom 16.04.2010 (08:47 - 13:50 MEZ)
 — Messfahrt vom 10.01.2011 (10:28 - 14:57 MEZ)
 (jeweils zwischen den Verkehrsspitzen)



Universität Duisburg-Essen
 Fakultät für Biologie
 Angewandte Klimatologie
 und Landschaftsökologie



5.7 Tagesabhängigkeit der Luftqualität in verschiedenen Stadtquartieren

Zur weiteren Analyse der Immissionssituation der verschiedenen Spurenstoffe wurden insgesamt vier lufthygienische Standmessungen über einen Zeitraum von mindestens 24 Stunden (im Einzelfall kann die Messperiode aus besonderem Forschungsinteresse auch länger ausfallen) durchgeführt.

Die Ergebnisse dieser Messkampagnen ermöglichen zunächst eine Analyse der diurnalen Variabilität der Spurenstoffkonzentrationen an den entsprechenden Standorten. Anhand eines Vergleichs mit verschiedenen LUQS-Stationen der Region und der Orientierung an geltenden Grenz- und Richtwerten lässt sich die Immissionssituation im Stadtgebiet Gelsenkirchen weiterhin qualitativ beurteilen. Einen Überblick der gesetzlichen Grenz- und Schwellenwerte nach 39. BImSchV sowie die nach VDI-Richtlinien empfohlenen maximalen Immissionskonzentrationen (MIK) der untersuchten Spurenstoffe und Partikelgrößenfraktionen liefert Tabelle A9.

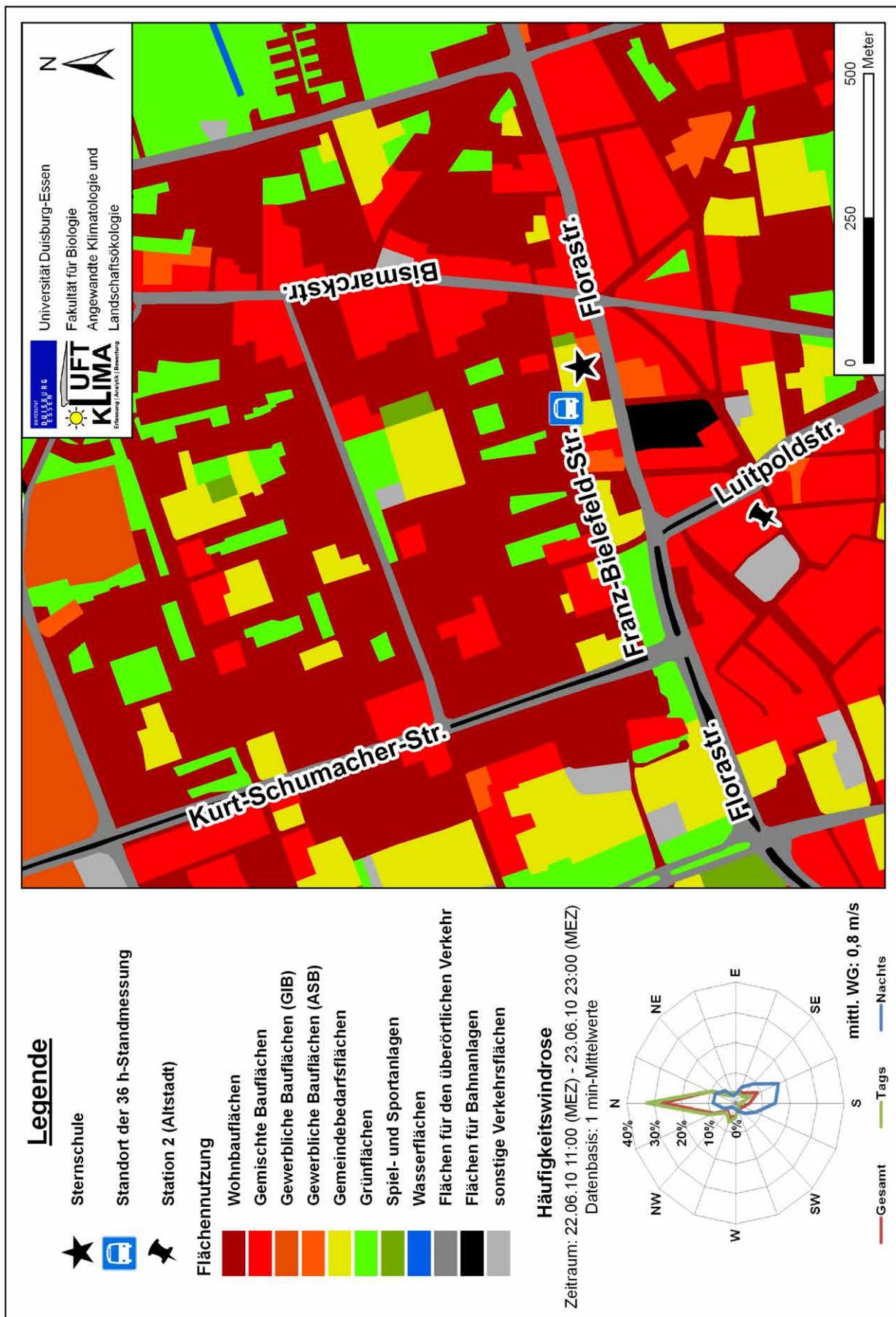
Über die Verknüpfung der Spurenstoffkonzentrationen mit den ebenfalls erhobenen meteorologischen Daten (v.a. Windrichtung und –geschwindigkeit) lässt sich darüber hinaus die Herkunft der Spurenstoffe bestimmen und somit potentielle Quellen identifizieren.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der vier, vornehmlich während austauscharmer Strahlungswetterlagen durchgeführten, lufthygienischen Standmessungen im Stadtgebiet von Gelsenkirchen dargestellt und interpretiert.

5.7.1 Standort Sternschule (Altstadt)

Die lufthygienische Standmessung am **Standort Sternschule im Gelsenkirchener Stadtteil Altstadt** wurde über einen Zeitraum von 36 Stunden vom 22.06.2010 11:00 Uhr (MEZ) bis zum 23.06.2010 23:00 Uhr (MEZ) durchgeführt. Anhand der meteorologischen Daten für die Lufttemperatur, mit einem Maximum von 26,5 °C (2 m ü. Gr.) und einem nächtlichen Minimum von 12,2 °C (bezogen auf die 10 min-Mittelwerte), sowie einer geringen mittleren Windgeschwindigkeit (10 m ü. Gr.) von 0,8 m s⁻¹ lässt sich die vorherrschende Witterung als austauscharme, sommerliche Strahlungswetterlage bezeichnen. Die Windrichtungen (10 m ü. Gr.) am Standort weisen für den Messzeitraum eine deutliche Hauptkomponente aus dem Nordsektor auf (Karte 11). In der Nacht dominierten jedoch Windrichtungen aus Sektoren Süd und Südsüdost.

Karte 11: Übersichtskarte und Windrose der 36 h-Standmessung am Standort Sternschule (Altstadt) vom 22./23.06.2010



Universität Duisburg-Essen
 Fakultät für Biologie
 Angewandte Klimatologie und
 Landschaftsökologie

Das Umfeld des Standortes ist hauptsächlich durch zum Teil hochversiegelte Bauflächen mit Wohn- und Gewerbe- sowie gemischter Nutzung geprägt. Kleinere Grünflächen treten nur sporadisch auf. Durch die Lage in einer relativ ruhigen Straße (Franz-Bielefeld-Str.) repräsentiert der Messpunkt keinen direkten Verkehrsstandort. Allerdings befinden sich in der Umgebung des Messpunktes gleich mehrere Hauptverkehrsadern (Florastr., Bismarckstr., Luitpoldstr., Kurt-Schumacher-Str.) deren durchschnittliches tägliches Verkehrsaufkommen (DTV) bis zu 39.700 Kfz aufweist. Da der Standort direkt an einem Schulhof liegt und in unmittelbarer Nähe zwei weitere Schulen und ein Altenheim angesiedelt sind, ist hier von einer sensiblen Nutzung auszugehen, was bei der Bewertung der Spurenstoffkonzentrationen zu berücksichtigen ist.

In Abbildung 21 werden die Verläufe der Kohlenmonoxid- (CO) und Stickstoffmonoxidkonzentrationen (NO) am Messstandort aufgezeigt. Die CO-Konzentrationen lagen im gesamten Messzeitraum mit einem Mittelwert von $0,1 \text{ mg m}^{-3}$ auf einem sehr niedrigen Niveau. Im Vergleich dazu liegt der 8 h-Grenzwert nach 39. Bundesimmissionsschutzverordnung (BImSchV) bei 10 mg m^{-3} . Auch für NO sind die gemessenen Konzentrationen als sehr gering zu bewerten. So betrug der maximale Halbstundenmittelwert während der Messperiode $73,8 \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$. Laut VDI-Richtlinie 2310 liegt die empfohlene maximale Immissionskonzentration (MIK) für NO im Halbstundenmittel bei $1.000 \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$ (LANUV 2010). Für beide primär aus Verbrennungsprozessen stammende Spurenstoffe ist allerdings ein deutlicher, fast synchron verlaufender Tagesgang mit einem Maximum in den frühen Morgenstunden und geringen Konzentrationen am Tage zu erkennen. Während die Maxima von CO und NO in etwa mit der morgendlichen Hauptverkehrszeit übereinstimmen, ist der für beide Stoffe bereits in der Nacht ab 03:00 Uhr (MEZ) einsetzende starke Anstieg der Konzentrationen durch eine Akkumulation infolge der nächtlichen Stabilitätsverhältnisse in der bodennahen Atmosphäre zu erklären. Der ebenfalls erhebliche Konzentrationsanstieg von CO und NO zum Ende der Messung ist in unterschiedlicher Intensität auch für Stickstoffdioxid (NO_2), Kohlendioxid (CO_2) sowie für die verschiedenen Partikelgrößenfraktionen (PM_x) zu beobachten (vgl. Abb. 22-24). Als Ursache für dieses Phänomen ist, neben der wiederum einsetzenden Stabilität der Atmosphäre, ein gleichzeitig temporär gesteigertes Verkehrsaufkommen (Autokorso) nach einem an diesem Abend ausgetragenen Länderspiel der deutschen Fußballnationalmannschaft im Rahmen der Weltmeisterschaft 2010 in Südafrika zu vermuten.

Der typische gegenläufige diurnale Verlauf von Stickstoffdioxid (NO_2) und Ozon (O_3) in Abbildung 22 ist in den chemischen Eigenschaften der beiden Stoffe begründet. Da O_3 in der bodennahen Atmosphäre hauptsächlich durch

die Photolyse von NO_2 gebildet wird, findet am Tage bei entsprechender Einstrahlung ein NO_2 -Abbau zugunsten von O_3 statt. In der Nacht bleibt dieser Prozess aus und durch die Reaktion des O_3 mit NO wird wiederum NO_2 gebildet (VDI 2001). Die am Standort Sternschule gemessenen NO_2 -Konzentrationen weisen daher nachts höhere Konzentrationen auf als am Tage, während das Maximum für O_3 in den frühen Nachmittagsstunden erreicht wird. Die Immission von NO_2 ist auf einem mittleren Niveau angesiedelt. So beträgt das Tagesmittel von NO_2 (bezogen auf den Zeitraum vom 22.06.2010 23:00 MEZ bis zum 23.06.2010 23:00 MEZ) $41,5 \mu\text{g m}^{-3}$, bei einem MIK-Wert von $50 \mu\text{g m}^{-3}$ nach VDI 2310 Bl. 12 (VDI 2004b). Zudem liegt das maximale Stundenmittel von $84,4 \mu\text{g m}^{-3}$ weit unter dem Grenzwert von $200 \mu\text{g m}^{-3}$ nach 39. BImSchV, welcher allerdings auch lediglich 18-mal pro Jahr überschritten werden darf. Hingegen wurde bezüglich der O_3 -Konzentrationen der halbstündige MIK-Wert von $120 \mu\text{g m}^{-3}$ (nach VDI 2310 Bl.15) am 23.06.2010 in der Zeit von 14:00 Uhr bis 17:00 Uhr (MEZ) mehrfach leicht überschritten.

Die Immissionskonzentrationen der Größenfraktionen luftgetragener Partikel (PM_x) sind bei einem Tagesmittel (22.06.2010 23:00 MEZ bis 23.06.2010 23:00 MEZ) für PM_{10} von $27 \mu\text{g m}^{-3}$ angesichts des geltenden Grenzwertes von $50 \mu\text{g m}^{-3}$, welcher nach der 39. BImSchV 35 Überschreitungstage im Jahr aufweisen darf, als relativ gering zu beurteilen. Die Variabilität im Tagesgang (s. Abb. 24) weist analog zu den primär verkehrsbürtigen Spurenstoffen NO und CO sowie für Kohlendioxid (CO_2) (vgl. Abb. 21 u. 23) ein Maximum zur morgendlichen Rush Hour auf. Ein durch den Feierabendverkehr induzierter Peak am späten Nachmittag blieb hier jedoch aus.

Das bedeutet, dass während der frühen Morgenstunden die Austauschbedingungen aufgrund der Stabilität der bodennahen Atmosphäre und den damit verbundenen reduzierten Windgeschwindigkeiten insgesamt zu einer Akkumulation von Luftbeimengungen und somit zu höheren Konzentrationen der entsprechenden Stoffe führen. Am Tage sind die gegenüber der Nachtsituation leicht erhöhten Windgeschwindigkeiten bei entsprechend labilen Atmosphärenverhältnissen ausreichend, um für eine gute Durchmischung der Luft im bodennahen Bereich des Standortes zu sorgen. Auch im Vergleich mit der Immissionssituation an den LUQS-Stationen in Gelsenkirchen, Bottrop und Essen, sind die Konzentrationen an NO , NO_2 und PM_{10} am Standort Sternschule als relativ gering zu bewerten. Lediglich für O_3 sind auch hier im interstationären Vergleich erhöhte Werte gegenüber dem Industriestandort in Bottrop-Welheim (BOTT) zu erkennen (s. Tab. 19).

Die viertelstündlich per Gaschromatographie bestimmten Konzentrationen der aromatischen Kohlenwasserstoffe Benzol, Ethylbenzol, Toluol und Xylole

(BETX) werden in Abbildung 25 dargestellt. Eine Beurteilung des Immissionsniveaus anhand von Grenz- oder Richtwerten ist für BETX nur bedingt möglich, da lediglich für Benzol ein Jahresmittelwert von $5 \mu\text{g m}^{-3}$ in der 39. BImSchV verankert ist. Die mittlere Benzolkonzentration innerhalb des Messzeitraums betrug $4,3 \mu\text{g m}^{-3}$ und ist daher nicht auffällig hoch angesiedelt. Für Toluol und die Xylole ist das Konzentrationsniveau ebenfalls eher unauffällig. Lediglich für Ethylbenzol wurden erhöhte Werte gemessen, die auch einen deutlichen Tagesgang mit zwei Maxima in den frühen Morgenstunden und am späten Nachmittag bis in die Abendstunden aufweisen. Das Toluol/Benzol-Verhältnis weist im Tagesverlauf einige Schwankungen auf, die angesichts der Spannweite zwischen 0,2 und 3,6 plausibel für einen durch den Kfz-Verkehr beeinflussten Standort sind.

Um aus den gemessenen Immissionsdaten Rückschlüsse auf potentielle Emissionsquellen treffen zu können, werden diese in Verbindung zu den vorherrschenden Windverhältnissen analysiert. In Abbildung 26 und Abbildung A8 werden die windrichtungsabhängigen mittleren Massenflussdichten¹ und die entsprechenden Massenflussdichtedosen² der verschiedenen Spurenstoffe und Partikelgrößenfraktionen aufgezeigt. Die Windrosen der Massenflussdichte für die primär verkehrsbürtigen Spurenstoffe CO und NO weisen neben dem zu erwartenden Einfluss der Florastraße im Süden ein Maximum im westlichen bis westnordwestlichen Sektor auf. Dies ist auf den Verkehr entlang der Franz-Bielefeld-Straße zurückzuführen. Zwar ist das Verkehrsaufkommen hier gering, allerdings ergeben sich aufgrund der Emissionsnähe zum Messfahrzeug erhöhte Konzentrationen. Die nördliche Komponente der Massenflussdichtedosen für NO und CO wird durch die Hauptwindrichtung bedingt. Die gemessenen NO₂-Konzentrationen sowie die luftgetragenen Partikel sind hingegen vornehmlich auf Quellen nördlich und westlich bis nordwestlich des Standortes zurückzuführen. Da NO₂, wie bereits obenstehend erläutert, ein wichtiges Vorläufergas für die Ozonbildung darstellt, sind die windrichtungsabhängigen Massenflussdichtedosen dieser beiden Stoffe nahezu identisch.

Abschließend lässt sich feststellen, dass die gemessenen Spurenstoffkonzentrationen während der 36 h-Standmessung an der Sternschule auf einem insgesamt vergleichsweise geringen Niveau angesiedelt waren. Lediglich die Ozonwerte waren in den Nachmittagsstunden des 23.06.2010 erhöht und führten zu Überschreitungen des halbstündigen MIK-Wertes von $120 \mu\text{g m}^{-3}$.

¹ Die Massenflussdichte gibt pro Windsektor den mittleren Massenfluss eines Spurenstoffes pro Sekunde durch eine gedachte Durchtrittsfläche von 1 m^2 an (Einheit: μg bzw. $\text{mg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

² Die entsprechenden Massenflussdichtedosen stellen die aufsummierte Massenflussdichte pro Windsektor über den gesamten Messzeitraum dar und berücksichtigt somit die vorherrschende Häufigkeitsverteilung der Windrichtung (Einheit: mg bzw. g m^{-2}).

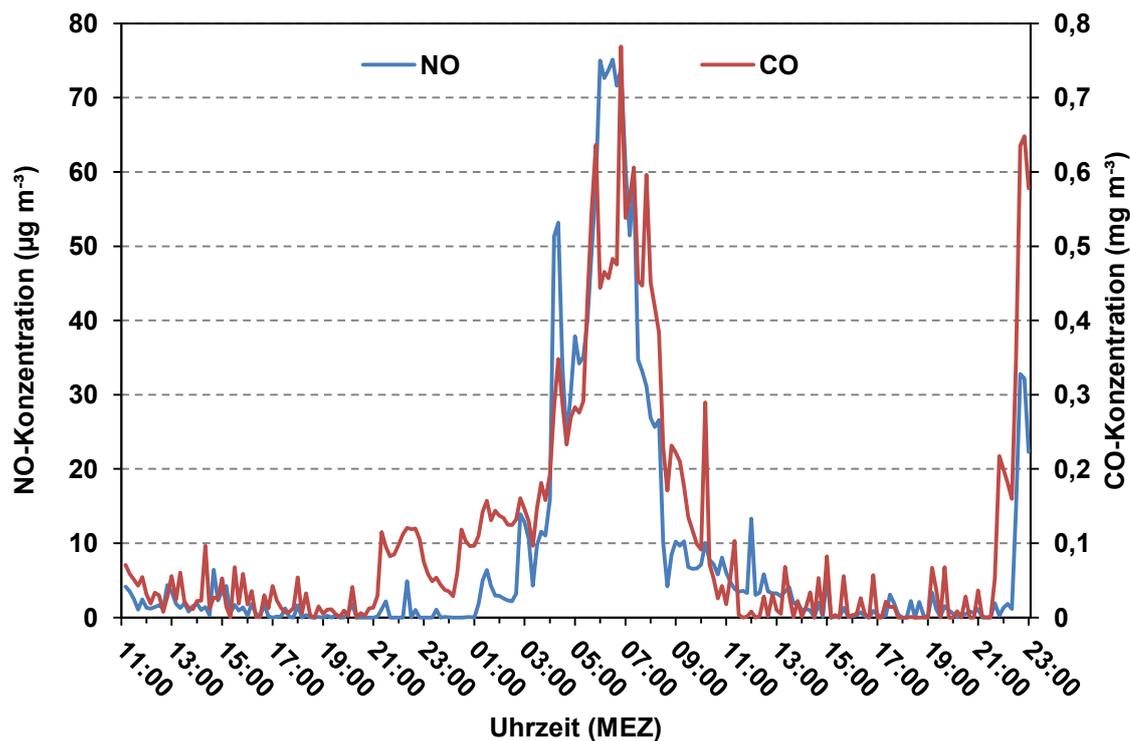


Abb. 21: Tagesgang der CO- und NO-Konzentrationen während der 36 h-Standmessung am Standort Sternschule (Messzeitraum: 22.06.2010 11:00 MEZ bis 23.06.2010 23:00 MEZ; Datenbasis: 10 min-Mittelwerte)

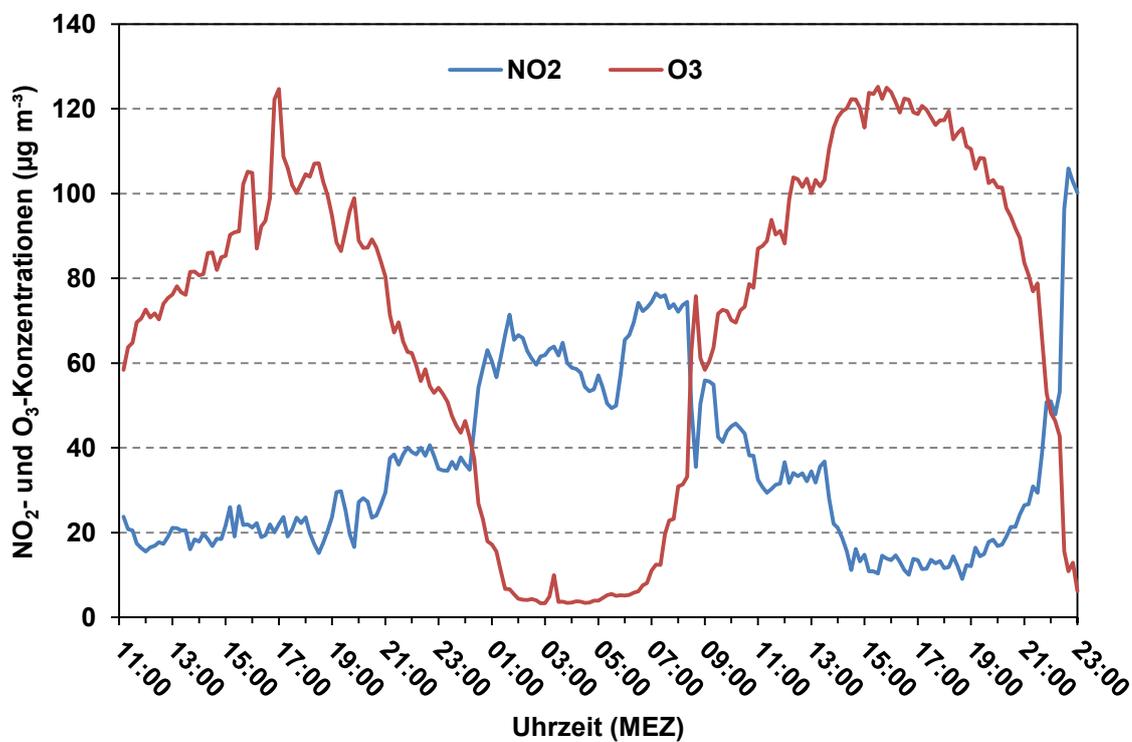


Abb. 22: Tagesgang der NO₂- und O₃-Konzentrationen während der 36 h-Standmessung am Standort Sternschule (Messzeitraum: 22.06.2010 11:00 MEZ bis 23.06.2010 23:00 MEZ; Datenbasis: 10 min-Mittelwerte)

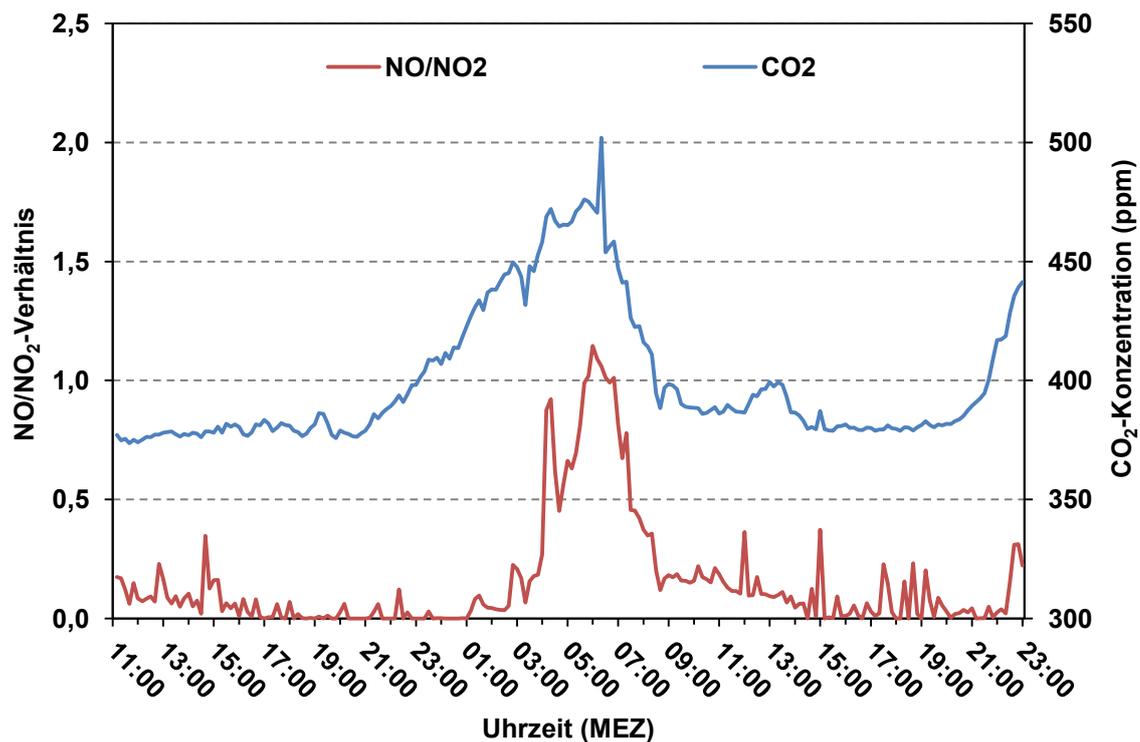


Abb. 23: Tagesgang des NO/NO₂-Verhältnisses und der CO₂-Konzentration während der 36 h-Standmessung am Standort Sternschule (Messzeitraum: 22.06.2010 11:00 MEZ bis 23.06.2010 23:00 MEZ; Datenbasis: 10 min-Mittelwerte)

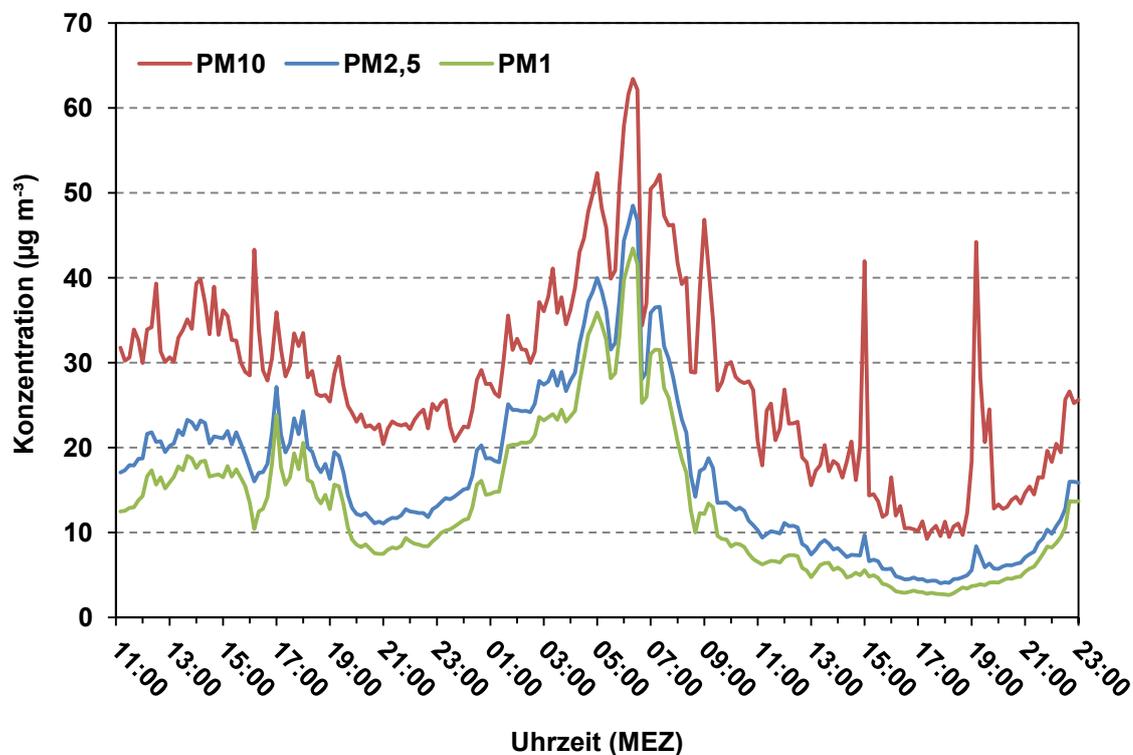


Abb. 24: Tagesgang der PM_x-Konzentrationen während der 36 h-Standmessung am Standort Sternschule (Messzeitraum: 22.06.2010 11:00 MEZ bis 23.06.2010 23:00 MEZ; Datenbasis: 10 min-Mittelwerte)

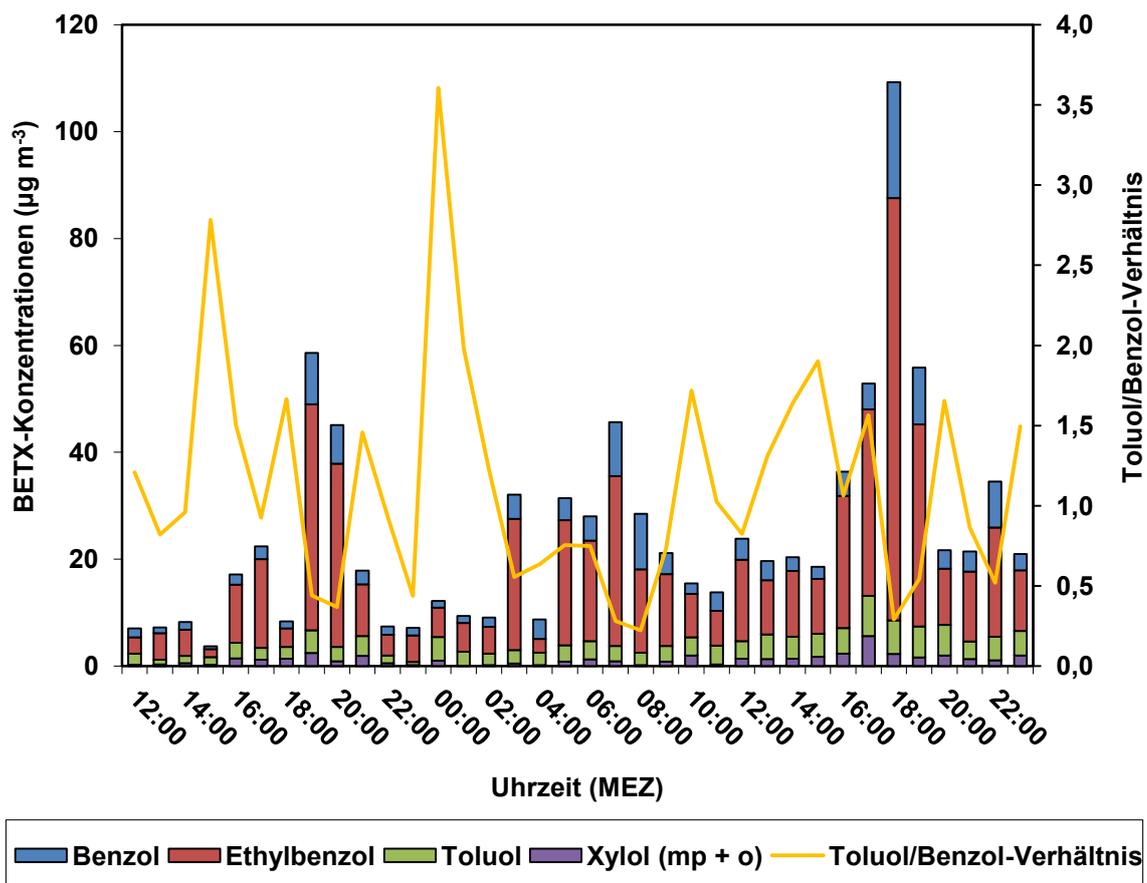


Abb. 25: Tagesgang der BETX-Konzentrationen und des Toluol/Benzol-Verhältnisses während der 36 h-Standmessung am Standort Sternschule (Messzeitraum: 22.06.2010 11:00 MEZ bis 23.06.2010 23:00 MEZ; Datenbasis: Stundenmittelwerte)

Tab. 19: Statistische Angaben für NO , NO_2 , O_3 sowie PM_{10} am Messpunkt Sternschule im Vergleich zur Situation an den umliegenden LUQS-Stationen (Messzeitraum: 22.06.2010 11:00 MEZ bis 23.06.2010 23:00 MEZ)

	BOTT	GELS	EVOG	VEAE	Sternschule
PM_{10} Tagesmittel (23 - 23 MEZ)	29	-	36,3	41,3	27,0
NO Halbstundenwert	120	163	202	263	73,8
NO Tagesmittel (23 - 23 MEZ)	18	36,9	21,7	84,6	11,8
NO_2 Stundenmittel	58	79	80,5	126,5	84,4
NO_2 Tagesmittel (23- 23 MEZ)	28	36,8	44,6	81,7	41,5
O_3 Stundenmittel	109	-	-	-	124,0
O_3 Achtstundenwert	104,5	-	-	-	114,0

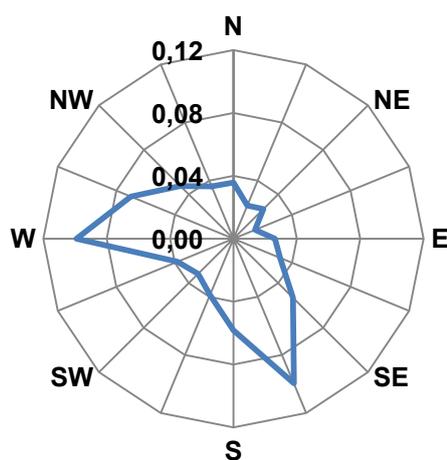
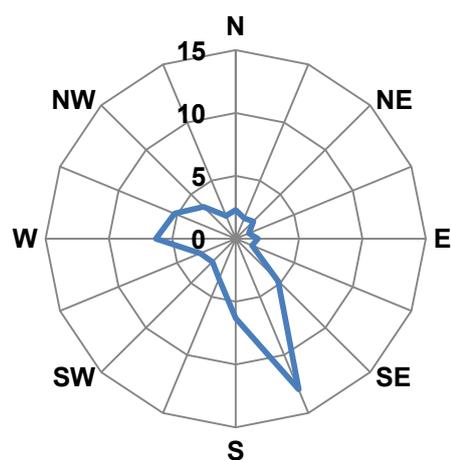
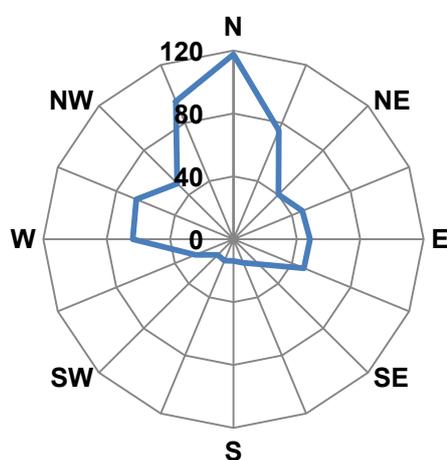
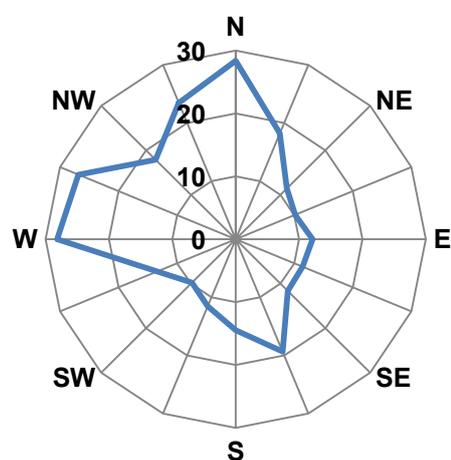
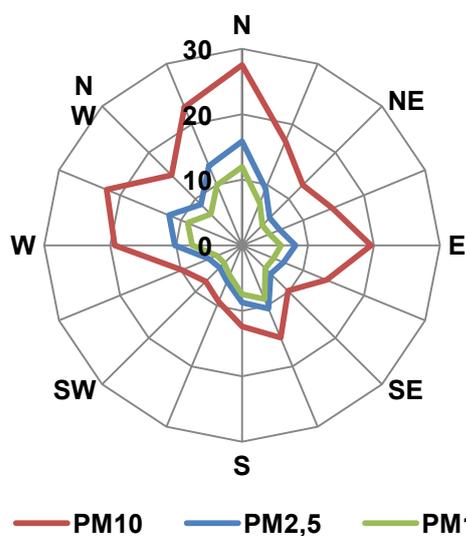
CO ($\text{mg m}^{-2} \text{s}^{-1}$)NO ($\mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$)O₃ ($\mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$)NO₂ ($\mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$)PM_x ($\mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

Abb. 26: Mittlere Massenflussdichte der verschiedenen Spurenstoffe und Partikelgrößenfraktionen während der 36 h-Standmessung am Standort Sternschule (Altstadt) (Messzeitraum: 22.06.2010 11:00 MEZ bis 23.06.2010 23:00 MEZ Datenbasis: 1 min-Mittelwerte)

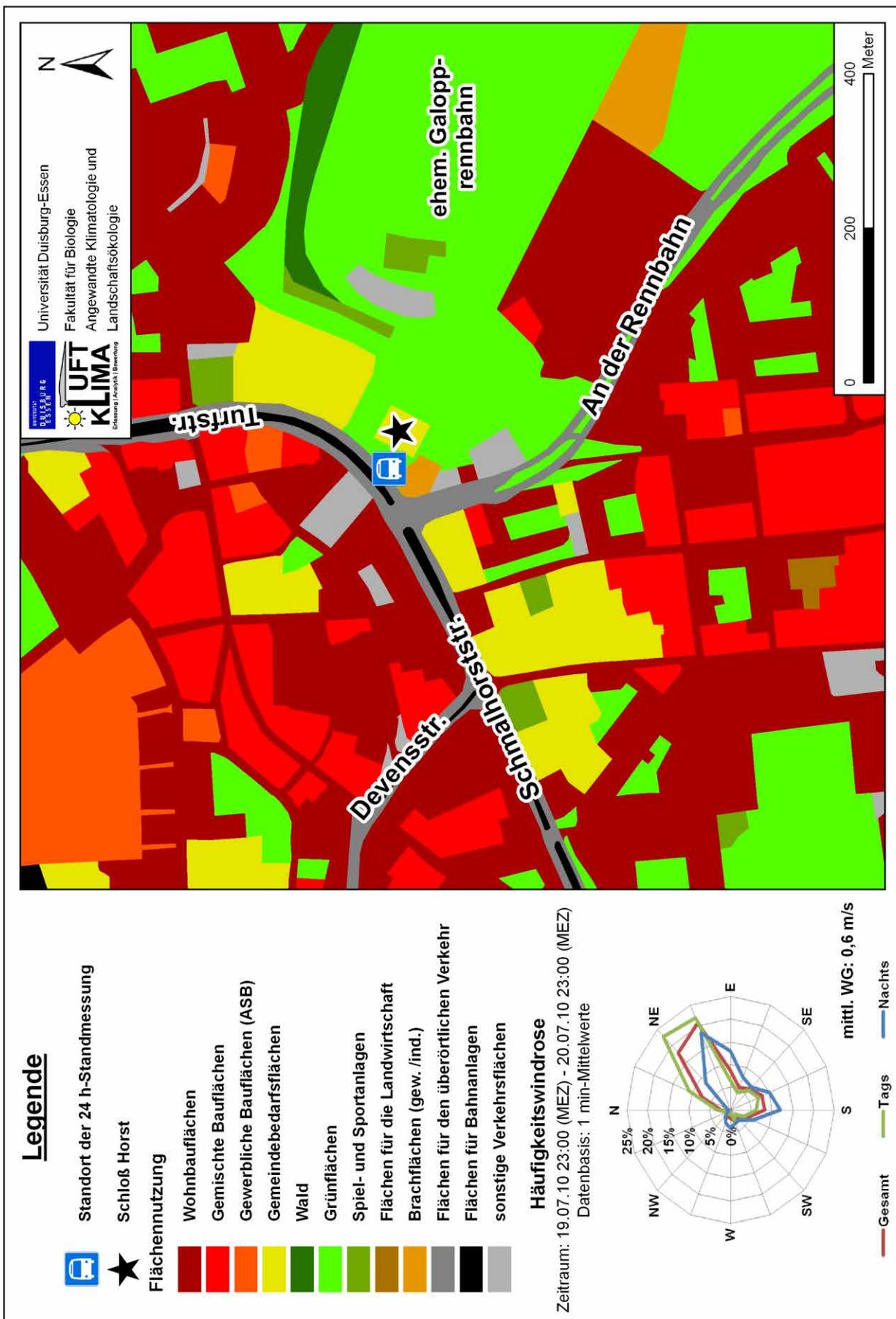
5.7.2 Standort Schloß Horst

Die lufthygienische 24 h-Standmessung am **Standort Schloß Horst** wurde vom 19.07.2010 23:00 Uhr (MEZ) bis zum 20.07.2010 23:00 Uhr (MEZ) bei ebenfalls strahlungsintensiver sowie austauscharmer Witterung durchgeführt. Mit einem Maximum der Lufttemperatur in 2 m ü. Gr. von 31,9 °C (bezogen auf die 10 min-Mittelwerte) ist die Messperiode als „Heißer Tag“ einzustufen. Die Windverhältnisse wiesen bei einer geringen mittleren Geschwindigkeit von 0,6 m s⁻¹ eine deutliche Komponente aus Nordost bis Ostnordost auf (s. Karte 12). Durch die Positionierung des Messfahrzeuges unmittelbar im Straßenraum der Turfstraße handelt es sich hier um einen direkten Verkehrsstandort. Mit einem durchschnittlichen täglichen Verkehrsaufkommen (DTV) von bis zu 22.000 Fahrzeugen ist die Turfstraße im Bereich des Messpunktes als mäßig stark frequentiert zu bewerten.

Neben den stark verdichteten Siedlungsgebieten von Horst stellt das Areal der ehemaligen Galopprennbahn (heutiger Golfplatz) eine große innerstädtische Grünfläche dar, deren Bedeutung für die angrenzenden Wohngebiete im Rahmen der Stadtklimaanalyse anhand einer Tracergaskampagne ebenfalls untersucht und bereits in Kapitel 5.4.3 dargestellt wurde. Östlich angrenzend an den Golfplatz ist in etwa 1,5 km Entfernung zum Messstandort ein großer industrieller Emittent angesiedelt. Bei der windrichtungsabhängigen Analyse und Identifizierung von potentiellen Quellen der gemessenen Spurenstoffe gilt es daher zu prüfen ob neben dem Verkehr auch dieser Emittent einen Einfluss auf die Immissionssituation am Standort ausübt.

In Abbildung 27 bis 30 werden die Tagesgänge der erfassten Spurenstoffe und luftgetragenen Partikel dargestellt. Trotz des verkehrsnahen Standortes sind die gemessenen Konzentrationen der primär durch den Kfz-Verkehr verursachten Spurenstoffe Kohlenmonoxid (CO) und Stickstoffmonoxid (NO) auf einem niedrigen Niveau. Für beide Gase liegen die maximalen Konzentrationen innerhalb des Untersuchungszeitraums weit unter den geltenden Grenz- bzw. Richtwerten. Beispielweise gibt die VDI-Richtlinie 2310 eine empfohlene maximale Immissionskonzentration (MIK-Wert) für CO von 50 mg m⁻³ im Halbstundenmittel an (LANUV 2010). Am Messstandort belief sich dieser Wert allerdings lediglich auf maximal 0,7 mg m⁻³. Und auch das NO-Tagesmittel von 14,6 µg m⁻³ ist angesichts des entsprechenden MIK-Wertes von 500 µg m⁻³ (LANUV 2010) sehr gering.

Karte 12: Übersichtskarte und Windrose der 24 h-Standmessung am Standort Schloß Horst vom 19./20.07.2010



Die Tagesgänge der NO_2 - und O_3 -Konzentrationen zeigen wiederum, die für einen sommerlichen Strahlungstag typischen gegenläufigen Kurven (s. Abb.28). Für diese beiden Spurenstoffe stellt sich die Immissionssituation allerdings weniger trivial dar. Während für NO_2 die im Tagesmittel empfohlene maximale Immissionskonzentration von $50 \mu\text{g m}^{-3}$ (VDI 2004b) nur leicht überschritten (NO_2 -Tagesmittel: $51,8 \mu\text{g m}^{-3}$) wurde, sind für O_3 deutlich höhere Überschreitungen festzustellen. So wurde der halbstündige MIK-Wert von $120 \mu\text{g m}^{-3}$, bei einem Maximum von $157,6 \mu\text{g m}^{-3}$ am späten Nachmittag, im Laufe des Tages insgesamt 15-mal, überschritten. Des Weiteren lag zudem der maximale O_3 -Achtstundenwert (zwischen 11:00 Uhr und 19:00 Uhr (MEZ)) mit $134,8 \mu\text{g m}^{-3}$ über dem in der 39. BImSchV verankerten Grenzwert von $120 \mu\text{g m}^{-3}$, welcher lediglich 25 Überschreitungstage im Jahr gemittelt über 3 Jahre aufweisen darf. Der diurnale Verlauf der O_3 -Konzentration lässt neben dem Maximum am Spätnachmittag ein weiteres schwach ausgeprägtes, nächtliches Sekundärmaximum erkennen. Hierbei handelt es sich um ein wohl bekanntes meteorologisches Phänomen, welches hauptsächlich in der zweiten Nachthälfte bei stabiler Atmosphärensichtung auftreten kann. Die Ursache hierfür ist entweder in einem vertikalen Ozontransport aus der städtischen Reservoirschicht aufgrund eines temporären Einbruchs der Stabilitätsverhältnisse begründet oder auf einen durch lokale Windsysteme induzierten Horizontaltransport ozonreicher Luftmassen aus dem Umland in die Stadt zurückzuführen (Straßburger u. Kuttler 1998).

Aufgrund des geringen Konzentrationsniveaus von NO und der leicht erhöhten NO_2 -Werte ist auch das NO/NO_2 -Verhältnis insgesamt gering. Lediglich zur morgendlichen Rush Hour steigt dieser Wert über eins, was auf die höhere Verkehrsdichte und die damit erhöhte NO -Konzentration hinweist (s. Abb. 29). Bezüglich der CO_2 -Konzentration sind die erhöhten Werte während der Nacht auf eine Akkumulation innerhalb der Mischungsschicht zurückzuführen, was insbesondere durch den erneuten Anstieg in den Abendstunden gestützt wird. Der starke Abfall des Immissionsniveaus zwischen 07:00 Uhr und 08:00 Uhr (MEZ) beruht auf der sich einstellenden Labilität der Atmosphäre und der dadurch geförderten Durchmischung der bodennahen Luftschicht.

Für die luftgetragenen Partikel (PM_x) ergaben sich während der Messperiode insgesamt geringe Konzentrationen. Das Tagesmittel von $20,4 \mu\text{g m}^{-3}$ ist nicht nur im Vergleich zum geltenden Grenzwert von $50 \mu\text{g m}^{-3}$ (laut 39. BImSchV), sondern auch im Kollektiv der umliegenden LUQS-Stationen (vgl. Tab. 20) sehr niedrig. Bezüglich der Spurenstoffe NO , NO_2 und O_3 nimmt der Standort Schloß Horst im interstationären Vergleich mit den LUQS-Standorten in Bottrop, Essen und Gelsenkirchen ein mittleres Immissionsniveau ein.

In Abbildung 31 werden die Immissionssituation der aromatischen Kohlenwasserstoffe Benzol, Ethylbenzol, Toluol und Xylole (BETX) sowie das Toluol-Benzol-Verhältnis dargestellt. Die Benzolkonzentration beläuft sich im 24 h-Mittelwert auf $6,0 \mu\text{g m}^{-3}$. Dies scheint angesichts des laut 39. BImSchV geltenden Grenzwertes von $5,0 \mu\text{g m}^{-3}$ im Jahresmittel leicht erhöht, allerdings ist die Bewertung und Interpretation aufgrund der unterschiedlichen Mittelungszeiträume nur schwer möglich. Das Immissionsniveau für Toluol ist bei einem Tagesmittel von $43,4 \mu\text{g m}^{-3}$ weitaus höher angesiedelt. Dadurch liegt das Toluol-Benzol-Verhältnis in einem Wertebereich zwischen 4,1 und 11,6, was prinzipiell untypisch für einen Verkehrsstandort ist und vielmehr auf einen industriellen Einfluss schließen lässt. Die Windverhältnisse am Standort mit nordöstlicher bis ostnordöstlicher Anströmung lassen daher einen Einfluss des nahegelegenen Industriekomplexes vermuten.

Anhand der windrichtungsabhängigen mittleren Massenflussdichte (vgl. Abb. 32) für die primären und sekundären Spurenstoffe sowie für die Partikelgrößenfraktionen (PM_x) konnte ein industrieller Einfluss aus östlicher Richtung weitestgehend nicht eindeutig nachgewiesen werden. Lediglich für CO weist die Windrose der Massenflussdichte ein Maximum den Sektoren Nordost bis Ost auf, allerdings ist dies aufgrund der insgesamt sehr geringen Konzentrationen dieser Spurenstoffe nicht von Bedeutung. Für die weiteren Spurenstoffe und die Partikel (PM_x) weisen die Massenflussdichten eine deutlich Hauptkomponente im Nordnordost-Sektor, was auf den Kfz-Verkehr entlang der Turfstraße zurückzuführen ist. Die Windrosen der Massenflussdichtedosen (s. Abb. A9) zeigen wiederum eine starke Abhängigkeit von der Hauptwindrichtung.

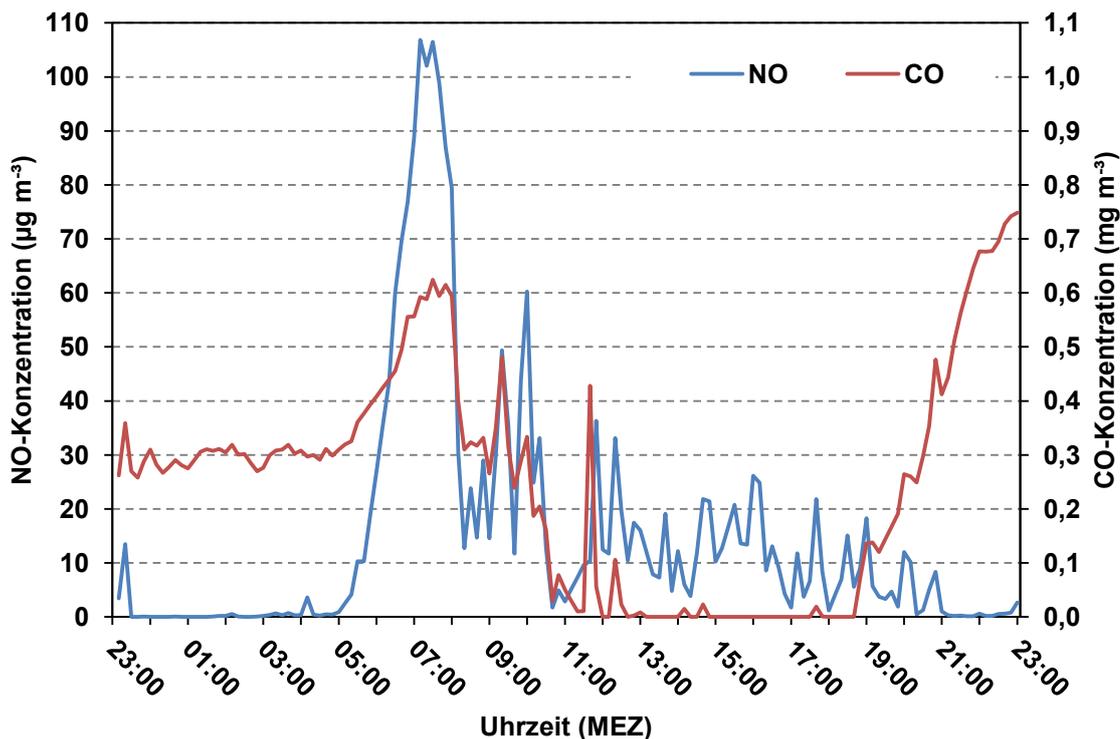


Abb. 27: Tagesgang der CO- und NO-Konzentrationen während der 24 h-Standmessung am Standort Schloß Horst (Messzeitraum: 19.07.2010 23:00 MEZ bis 20.07.2010 23:00 MEZ; Datenbasis: 10 min-Mittelwerte)

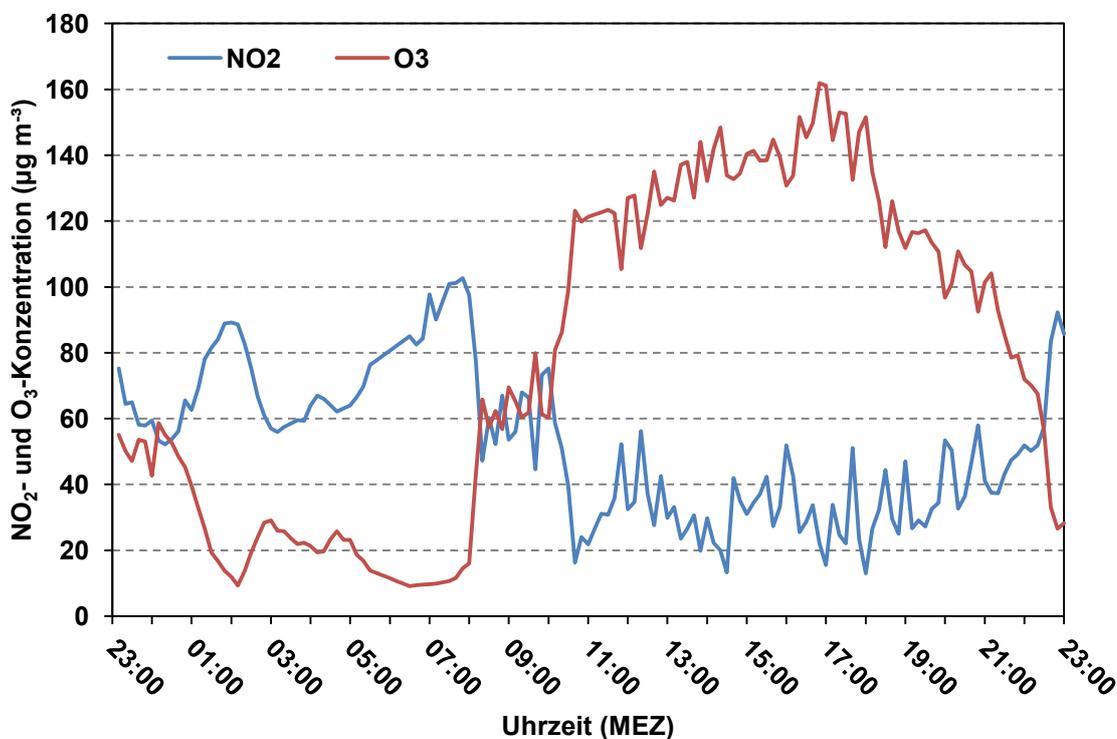


Abb. 28: Tagesgang der NO₂- und O₃-Konzentrationen während der 24 h-Standmessung am Standort Schloß Horst (Messzeitraum: 19.07.2010 23:00 MEZ bis 20.07.2010 23:00 MEZ; Datenbasis: 10 min-Mittelwerte)

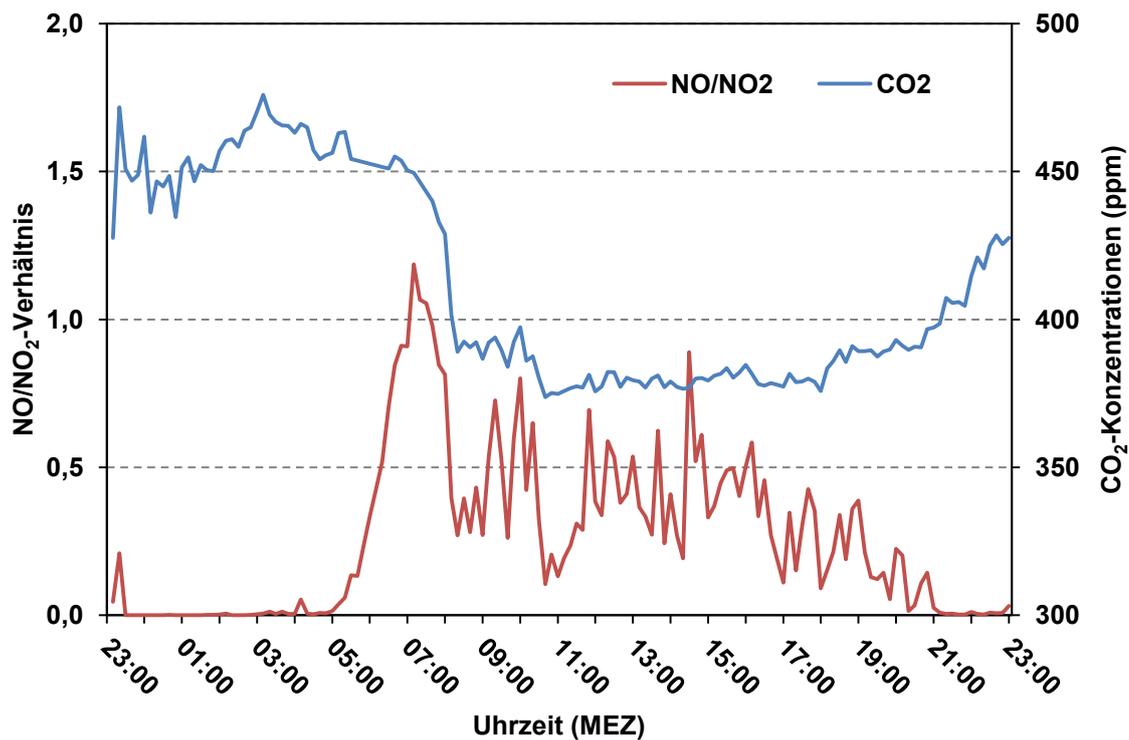


Abb. 29: Tagesgang des NO/NO₂-Verhältnisses und der CO₂-Konzentrationen während der 24 h-Standmessung am Standort Schloß Horst (Messzeitraum: 19.07.2010 23:00 MEZ bis 20.07.2010 23:00 MEZ; Datenbasis: 10 min-Mittelwerte)

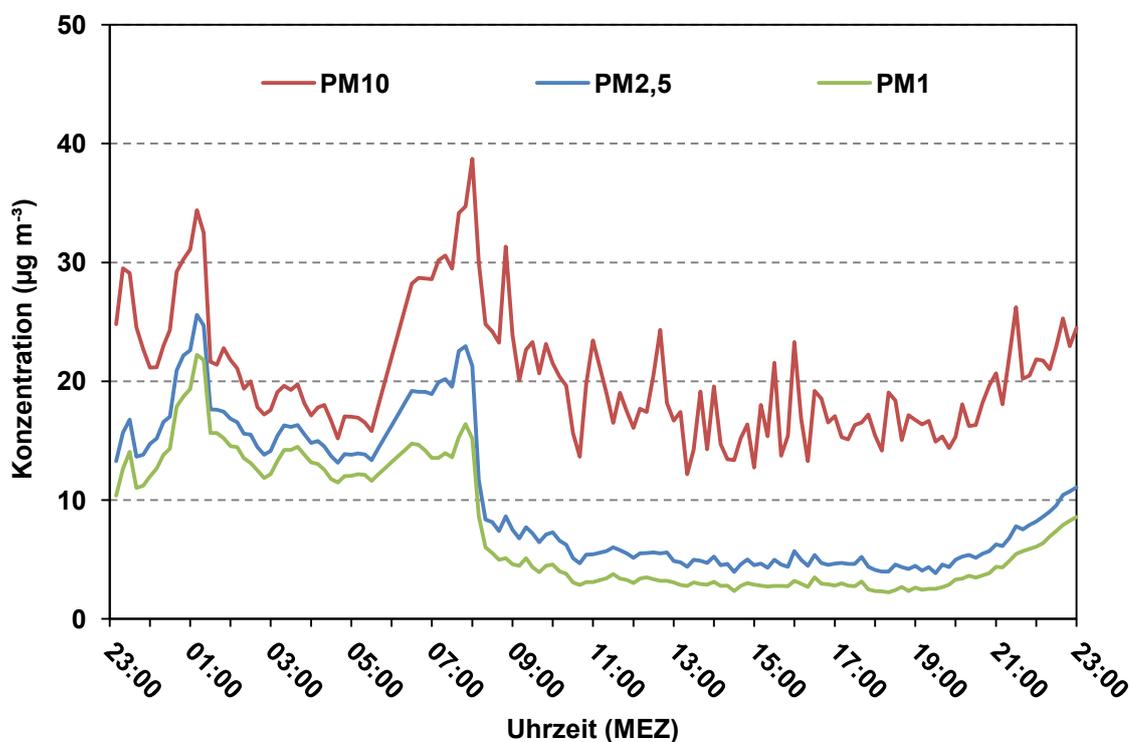


Abb. 30: Tagesgang der PM_x-Konzentrationen während der 24 h-Standmessung am Standort Schloß Horst (Messzeitraum: 19.07.2010 23:00 MEZ bis 20.07.2010 23:00 MEZ; Datenbasis: 10 min-Mittelwerte)

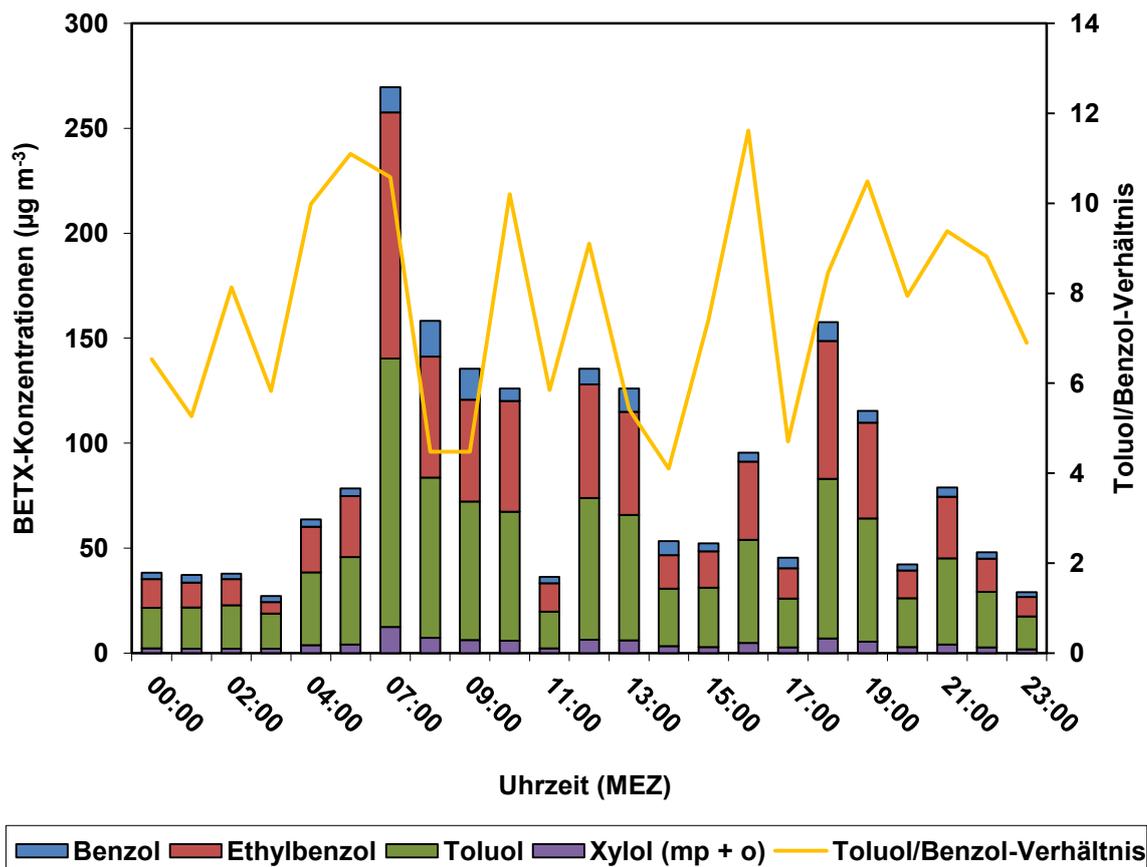


Abb. 31: Tagesgang der BETX-Konzentrationen und des Toluol/Benzol-Verhältnisses während der 24 h-Standmessung am Standort Schloß Horst (Messzeitraum: 19.07.2010 23:00 MEZ bis 20.07.2010 23:00 MEZ; Datenbasis: Stundenmittelwerte)

Tab. 20: Statistische Angaben für NO, NO₂, O₃ und PM₁₀ am Messpunkt Schloß Horst im Vergleich zur Situation an den umliegenden LUQS-Stationen (Messzeitraum: 19.07.2010 23:00 MEZ bis 20.07.2010 23:00 MEZ)

	BOTT	GELS	EVOG	VEAE	Schloß Horst
PM ₁₀ Tagesmittel (23 - 23 MEZ)	35,7	-	33,3	40,8	20,4
NO Halbstundenwert	49	194	47	189	105,1
NO Tagesmittel (23 - 23 MEZ)	8,6	28,8	8	55,8	14,6
NO ₂ Stundenmittel	78,5	95	82,5	131,5	98
NO ₂ Tagesmittel (23- 23 MEZ)	35,3	42	35,9	85,6	51,8
O ₃ Stundenmittel	161	-	-	-	150,6
O ₃ Achtstundenwert	148,1	-	-	-	134,8

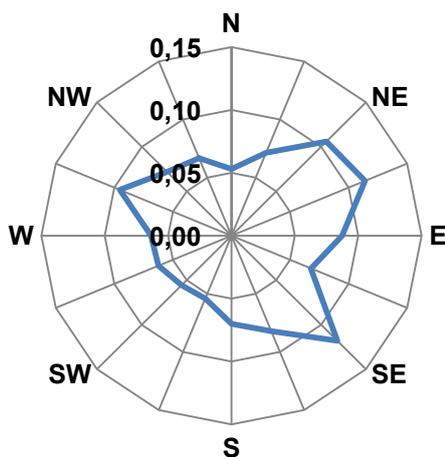
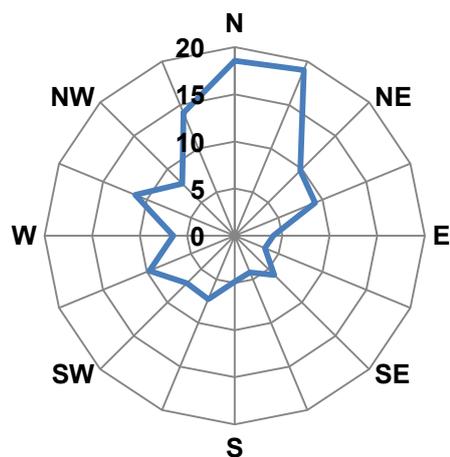
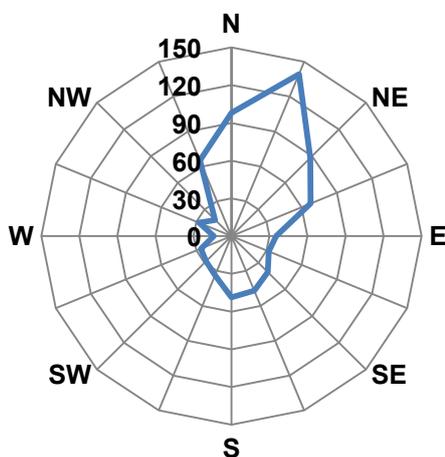
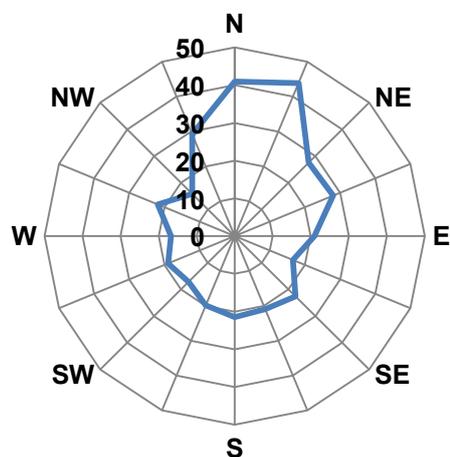
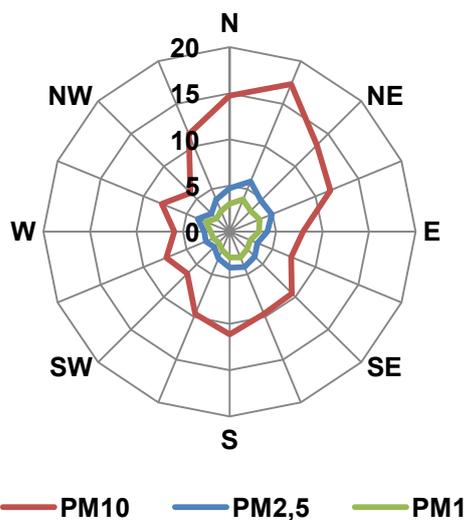
CO ($\text{mg m}^{-2} \text{s}^{-1}$)NO ($\mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$)O₃ ($\mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$)NO₂ ($\mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$)PM_x ($\mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

Abb. 32: Mittlere Massenflussdichte der verschiedenen Spurenstoffe und Partikelgrößenfraktionen während der 24 h-Standmessung am Standort Schloß Horst (Messzeitraum: 19.07.2010 23:00 MEZ bis 20.07.2010 23:00 MEZ Datenbasis: 1 min-Mittelwerte)

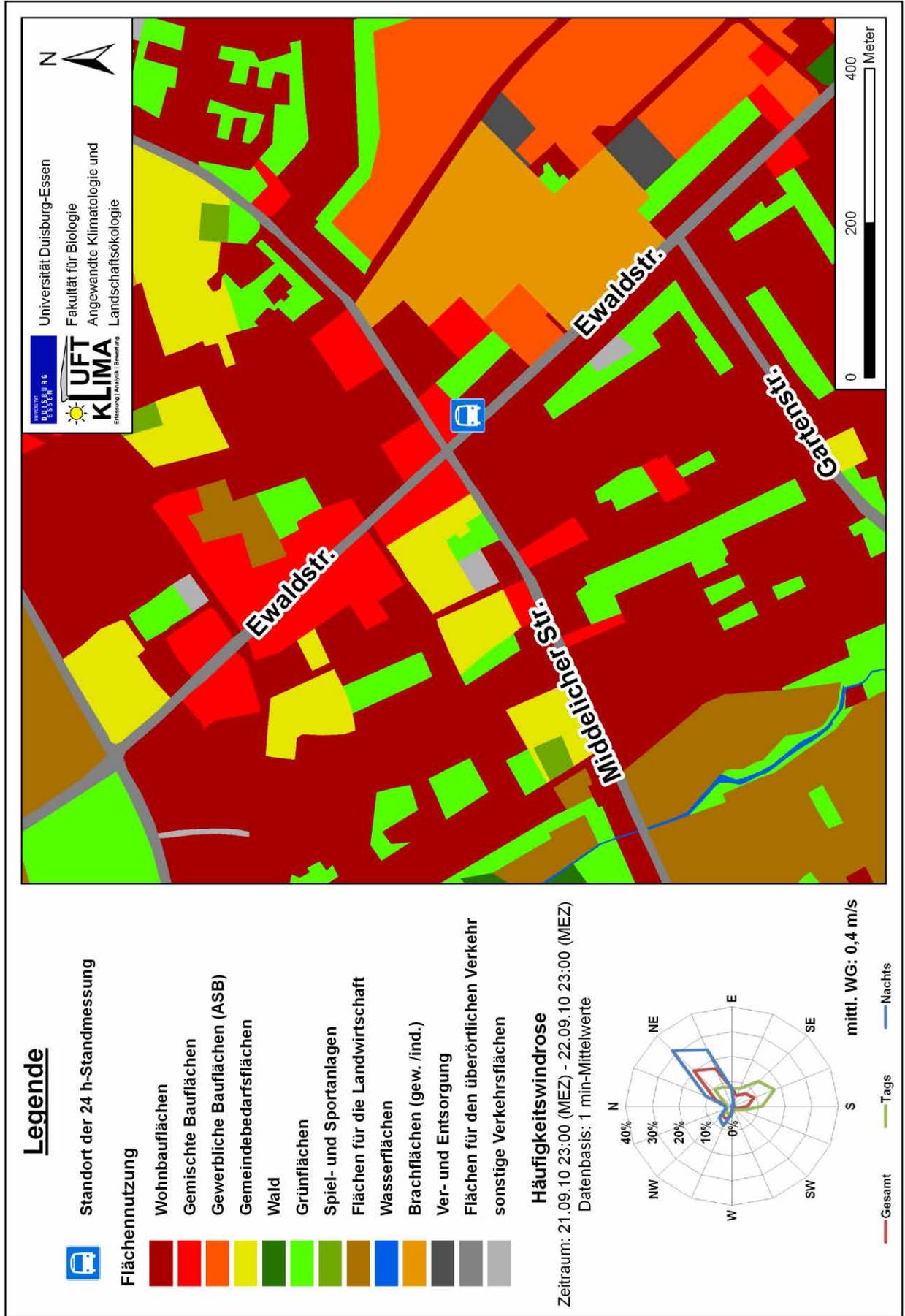
5.7.3 Standort Resse

Unter dem Einfluss einer Hochdruckbrücke über Mitteleuropa (BM) (Deutscher Wetterdienst 2010/11) wurde die lufthygienische 24 h-Standmessung in **Gelsenkirchen-Resse** vom 21.09.2010 23:00 Uhr (MEZ) bis zum 22.09.2010 23:00 Uhr (MEZ) durchgeführt. Die Witterungsverhältnisse sind aufgrund der vorherrschenden Großwetterlage, eines weitestgehend wolkenlosen Himmels sowie einer Tagesmitteltemperatur von 17,1 °C (2 m ü. Gr.) und einer mittleren Windgeschwindigkeit von 0,4 m s⁻¹ (10 m ü. Gr.) ebenfalls als strahlungsintensiv und besonders austauscharm zu bezeichnen. Die Windrose der gesamten Messperiode zeigt eine deutliche Hauptkomponente aus Nordost bis Ostnordost, wobei eine tageszeitliche Unterscheidung erkennbar ist. Während nachts Windrichtungen aus Nordost bis Ostnordost vorherrschen, ist das Maximum am Tage im Südsüdost-Sektor auf die Leitwirkung der Ewaldstraße zurückzuführen (s. Karte 13).

Die nähere Umgebung des Messstandortes wird hauptsächlich durch Flächen der Wohnbebauung und gewerblichen Nutzung geprägt. Größere industrielle Emittenten, die einen lokalen Einfluss auf die Immissionssituation haben könnten, sind in Resse nicht angesiedelt. Es handelt sich bei diesem Messort daher um einen reinen Verkehrsstandort, allerdings wird die Ewaldstraße mit einem DTV-Wert von etwa 7.800 Kfz im Bereich der Messung nicht sehr hoch frequentiert. Die Untersuchungsrelevanz der lufthygienischen Situation an diesem Standort ergibt sich aber aus der Bebauungsstruktur. Die Ewaldstraße zeichnet sich in weiten Teilen durch eine relativ geringe Breite aus und wird zudem beidseitig von drei- bis viergeschossigen Gebäuden umschlossen. In derartig engen Straßenschluchten können eingeschränkte Austauschverhältnisse insbesondere während autochthoner Strahlungswetterlagen zu einer Akkumulation von Spurenstoffen im Straßenraum führen. Welche Auswirkungen dies auf die lokale Immissionssituation in Resse hat, galt es im Rahmen der Untersuchung zu analysieren.

In Abbildung 33 werden zunächst die nahezu parallel verlaufenden Tagesgänge der primär verkehrsbürtigen Spurenstoffe Stickstoffmonoxid (NO) und Kohlenmonoxid (CO) dargestellt. Im Zeitraum von 06:30 Uhr bis 09:30 Uhr (MEZ) sind für beide Gase erhöhte Werte festzustellen. Da diese Episode bis zum frühen Vormittag anhält, sind die erhöhten Konzentrationen nicht allein dem morgendlichen Berufsverkehr zuzuschreiben. Durch die Funktion der Ewaldstraße als Stadtteilzentrum mit ausgeprägter Einzelhandelsstruktur ist von einem ebenfalls gesteigerten Verkehrsaufkommen zu Beginn der Öffnungszeiten auszugehen.

Karte 13: Übersichtskarte und Windrose der 24 h-Standmessung am Standort Resse vom 21./22.09.2010



Ein weiterer Peak der CO- und NO-Konzentrationen stellt sich zwischen 17:30 Uhr und 18:00 Uhr (MEZ) ein. Da dies zeitlich mit dem Feierabendverkehr am späten Nachmittag übereinstimmt, ist auch hier eine Abhängigkeit von den gewerblichen Öffnungszeiten (Ladenschluss) zu vermuten. Das Immissionsniveau der Primärspurenstoffe CO und NO war während des Messzeitraums insgesamt sehr gering. Das NO-Tagesmittel von $50 \mu\text{g m}^{-3}$ lag um den Faktor 10 unterhalb der empfohlenen maximalen Immissionskonzentration (MIK) von $500 \mu\text{g m}^{-3}$ im Tagesmittel (VDI 2004b) und auch die CO-Immissionen sind angesichts des Tagesmittels von $0,3 \mu\text{g m}^{-3}$ und eines MIK-Wertes von $10 \mu\text{g m}^{-3}$ vernachlässigbar gering.

Die Gegenläufigkeit der NO_2 - und O_3 -Immissionen wird in Abbildung 34 aufgezeigt. Im Vergleich zu den lufthygienischen Messungen an den Standorten Sternschule und Schloß Horst, welche in den Sommermonaten Juni und Juli durchgeführt wurden, ist die O_3 -Bildung hier aufgrund der vergleichsweise geringeren Einstrahlungsintensität reduziert. Die geltenden Grenz- und Richtwerte nach 39. BImSchV und VDI 2310 Bl. 15 (VDI 2001) wurden daher nicht überschritten. Zudem setzt ein Anstieg der O_3 -Konzentrationen im Vergleich zur Sommersituation später ein und sinkt früher wieder ab, so dass sich bereits um 18:00 Uhr (MEZ) das nächtliche Immissionsniveau einstellt. Für die Immissionssituation des Sekundärspurenstoffs NO_2 konnte eine leichte Überschreitung des 24 h-MIK-Wertes von $50 \mu\text{g m}^{-3}$ nach VDI 2310 Bl. 12 (VDI 2004b) festgestellt werden (NO_2 -Tagesmittel: $55,4 \mu\text{g m}^{-3}$). Das Maximum im Tagesgang der NO_2 -Konzentrationen wurde um 18:00 Uhr (MEZ) erreicht und stimmt somit mit den Sekundärmaxima von CO und NO überein. Am Morgen wiesen die NO_2 -Konzentrationen hingegen vergleichsweise geringe Werte auf. Aufgrund der in diesem Zeitraum erhöhten NO-Immissionen stellt sich das NO/ NO_2 -Verhältnis mit Werten größer eins relativ weit dar (s. Abb. 35). Die CO_2 -Immissionen zeigen tendenziell einen typischen Verlauf mit höheren Werten in der Nacht, einem Maximum am Morgen und einem Anstieg in den Abendstunden. Allerdings ist die Spannweite des Volumenmischungsverhältnisses zwischen etwa 380 und 510 ppm durchaus als erhöht zu bezeichnen. Die PM_x -Konzentrationen (s. Abb. 36) sind hingegen auf einem niedrigen Immissionsniveau und weisen mit einem Tagesmittel für PM_{10} von $31,8 \mu\text{g m}^{-3}$ keine Überschreitung des in der 39. BImSchV verankerten Grenzwertes von $50 \mu\text{g m}^{-3}$ im Tagesmittelwert auf. Auch im Vergleich mit den LUQS-Stationen in Bottrop, Essen und Gelsenkirchen stellt sich die Immissionssituation bezüglich der PM_{10} -Konzentrationen günstig dar (s. Tab. 21).

Bezogen auf den Primärspurenstoff NO nimmt der Standort Resse im interstationären Vergleich mit den LUQS-Standorten eine mittlere Position ein

und für O_3 sind die erfassten Konzentrationen auf einem vergleichbaren Niveau wie an der LANUV-Station Bottrop-Welheim (BOTT). Lediglich für NO_2 ist das Konzentrationsniveau in Resse während des Messzeitraums im Vergleich relativ hoch angesiedelt. Das maximale NO_2 -Stundenmittel von $124,1 \mu\text{g m}^{-3}$ übertrifft sogar die ebenfalls verkehrsnah und stark frequentierte LUQS-Station (VEAE) in Essen.

Abbildung 37 zeigt die per Gaschromatographie ermittelten Konzentrationen der aromatischen Kohlenwasserstoffe Benzol, Ethylbenzol, Toluol und Xylol (BETX). Das Immissionsniveau stellt sich insgesamt weitaus geringer dar, als bei den im Stadtteil Altstadt (Sternschule) und Horst (Schloß Horst) durchgeführten Standmessungen. Der Tagesmittelwert für Benzol betrug $4,3 \mu\text{g m}^{-3}$, im Vergleich dazu liegt der Grenzwert laut 39. BImSchV im Jahresmittel bei $5 \mu\text{g m}^{-3}$. Das Toluol/Benzol-Verhältnis, welches Rückschlüsse über die Art der Emissionsquellen zulässt, weist eine große Spannweite auf. Hohe Werte weisen in der Regel auf erhöhte Toluol-Konzentrationen hin, die bei fehlendem Benzol auf einen industriellen Einfluss schließen lassen. In diesem Fall entstehen die Ausreißer mit Werten bis zu 12,5 allerdings nicht durch erhöhte Toluol-Konzentrationen, sondern beruhen auf den niedrigen Benzolwerten. Für einen Großteil der Messperiode ergibt sich zudem ein für verkehrsnah Standorte typisches enges Verhältnis dieser beiden Aromate.

Die windrichtungsabhängigen mittleren Massenflussdichten und Massenflussdichtedosen der verschiedenen Spurenstoffe und Partikelgrößenfraktionen werden in Abbildung 38 und Abbildung A10 dargestellt. Während die Massenflussdichtedosen für CO , NO , NO_2 sowie PM_x eine starke Orientierung an der Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen aufweisen, ist für O_3 eine deutliche Abweichung von der Hauptwindrichtung zu erkennen. Dies beruht auf der Veränderung der Windverhältnisse im Tagesverlauf. In der Zeit zwischen 09:00 Uhr und 16:00 Uhr (MEZ), also in etwa dem Zeitraum der O_3 -Bildung, herrschten vorwiegend Windrichtungen aus den Sektoren Süd bis Südost vor (s. Karte 13). Daher fehlt sowohl in der Massenflussdichtedosis als auch in der mittleren Massenflussdichte für O_3 eine nordöstliche Komponente. Auch die mittleren Massenflussdichten von CO , NO , NO_2 und PM_x weisen zum Teil erhöhte Werte in den südlichen Sektoren auf, was auf die Verkehrsemissionen im Bereich der Ewaldstraße hinweist. Zudem könnte die etwa 1,2 km in südlicher Richtung entfernten BAB 2 ebenfalls einen, wenn auch untergeordneten, Einfluss auf die Immissionssituation am Standort ausüben.

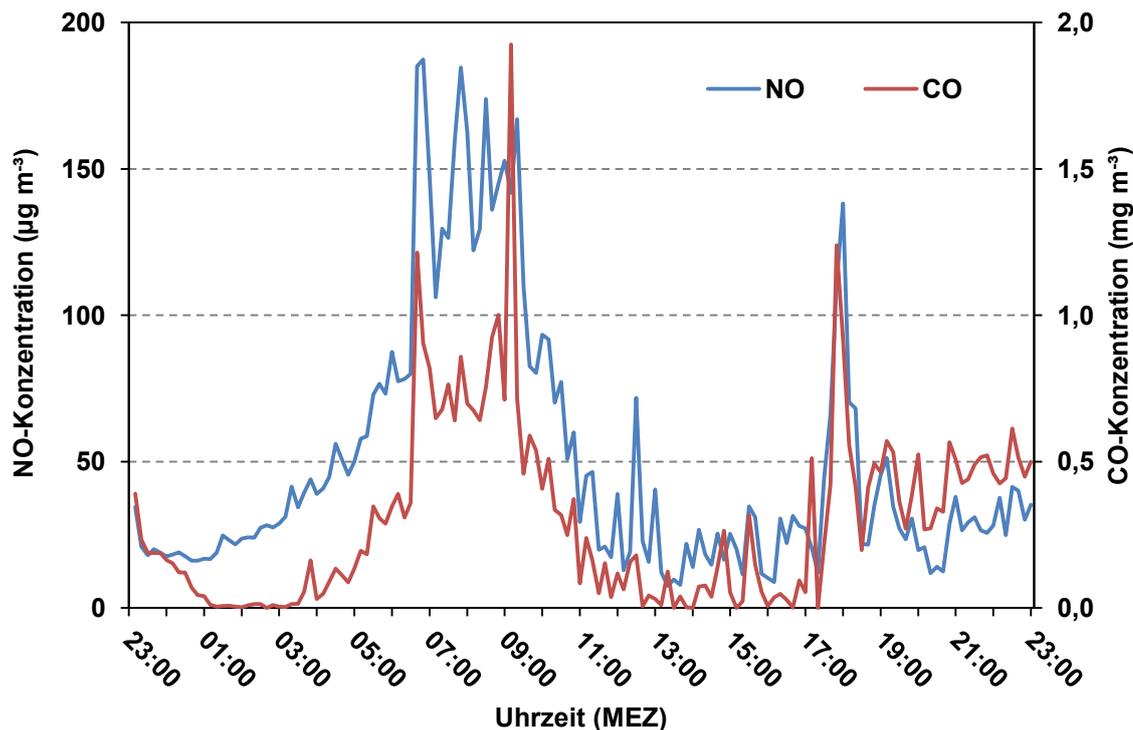


Abb. 33: Tagesgang der NO- und CO-Konzentrationen während der 24 h-Standmessung am Standort Resse (Messzeitraum: 21.09.2010 23:00 MEZ bis 22.09.2010 23:00 MEZ; Datenbasis: 10 min-Mittelwerte)

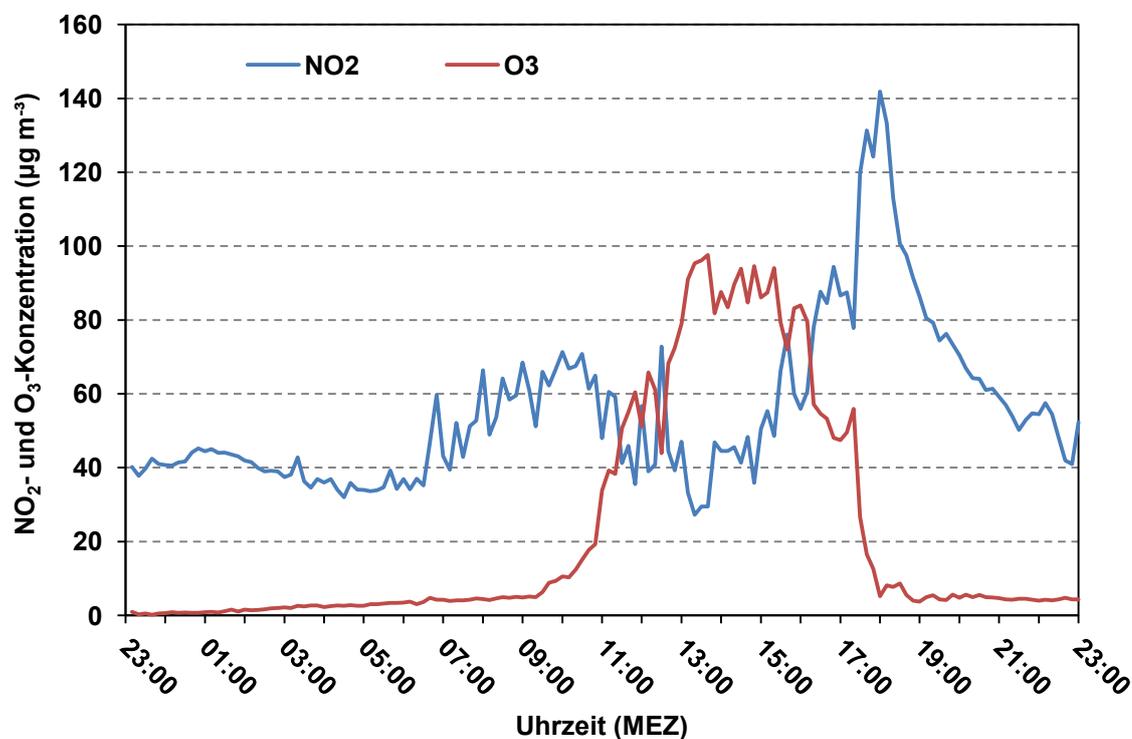


Abb. 34: Tagesgang der NO₂- und O₃-Konzentrationen während der 24 h-Standmessung am Standort Resse (Messzeitraum: 21.09.2010 23:00 MEZ bis 22.09.2010 23:00 MEZ; Datenbasis: 10 min-Mittelwerte)

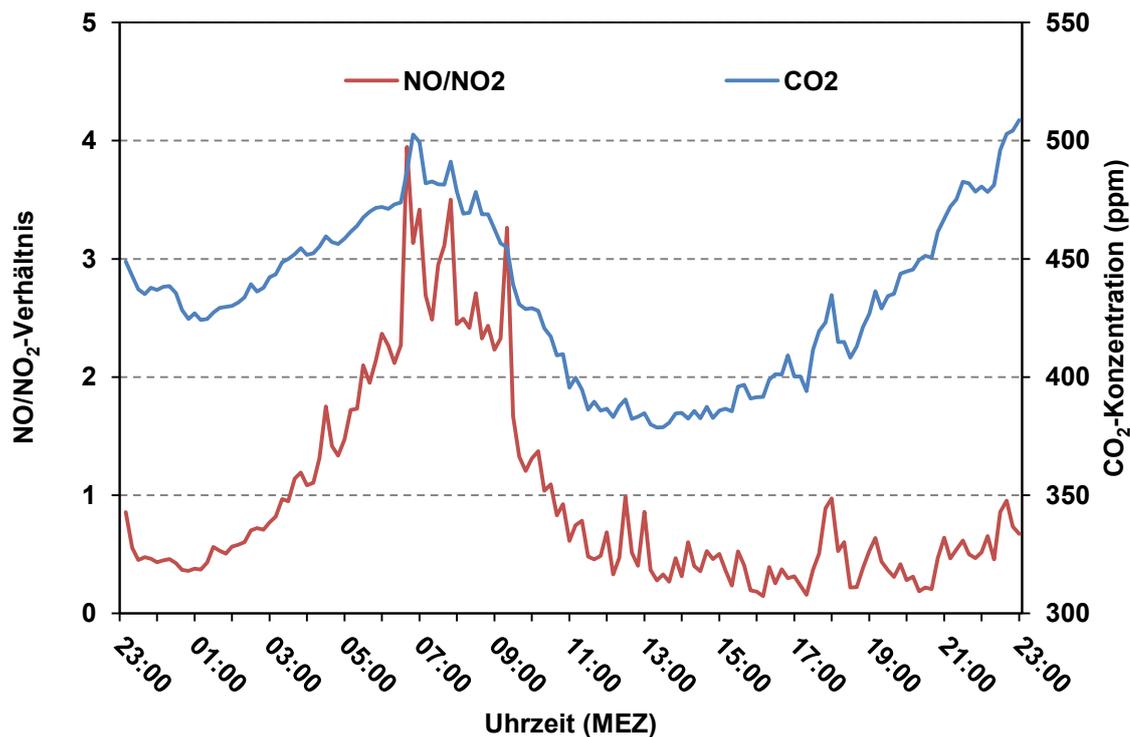


Abb. 35: Tagesgang des NO/NO₂-Verhältnisses und der CO₂-Konzentrationen während der 24 h-Standmessung am Standort Resse (Messzeitraum: 21.09.2010 23:00 MEZ bis 22.09.2010 23:00 MEZ; Datenbasis: 10 min-Mittelwerte)

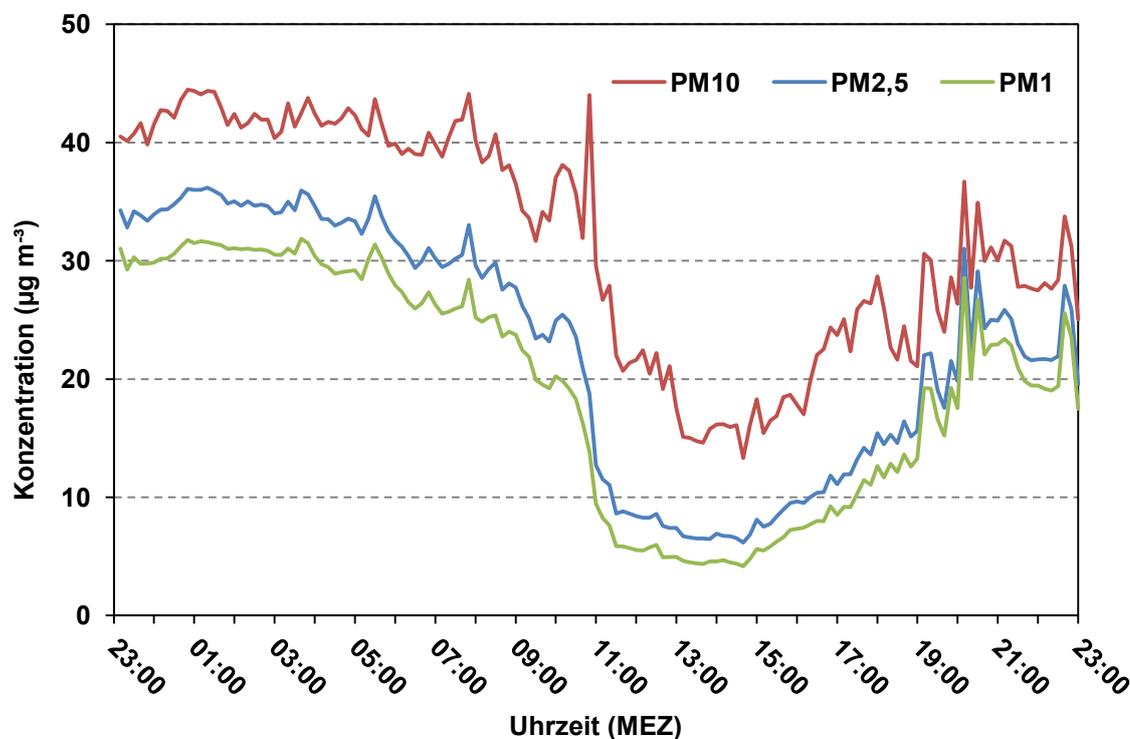


Abb. 36: Tagesgang der PM_x-Konzentrationen während der 24 h-Standmessung am Standort Resse (Messzeitraum: 21.09.2010 23:00 MEZ bis 22.09.2010 23:00 MEZ; Datenbasis: 10 min-Mittelwerte)

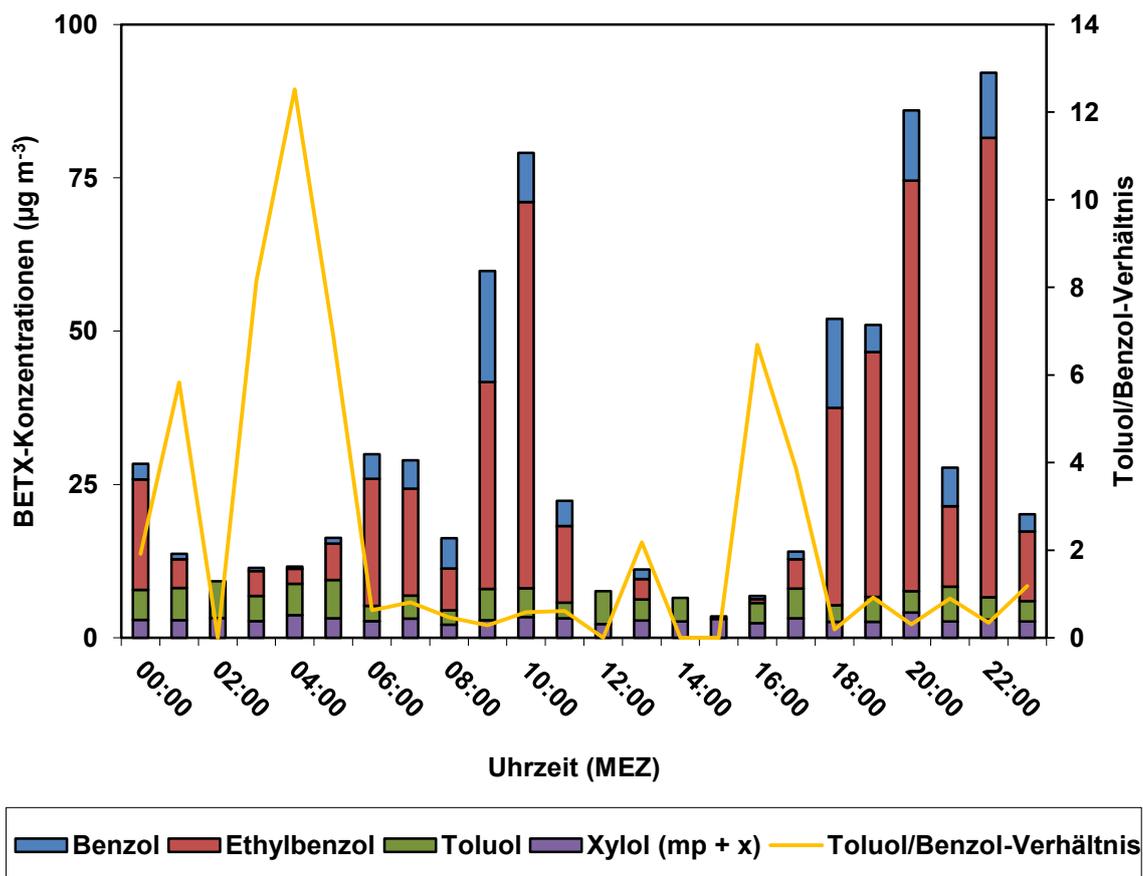


Abb. 37: Tagesgang der BETX-Konzentrationen während der 24 h-Standmessung am Standort Resse (Messzeitraum: 21.09.2010 23:00 MEZ bis 22.09.2010 23:00 MEZ; Datenbasis: Studienmittelwerte)

Tab. 21: Statistische Angaben für NO, NO₂, O₃ und PM₁₀ am Standort Resse im Vergleich zur Situation an den umliegenden LUQS-Stationen (Messzeitraum: 21.09.2010 23:00 MEZ bis 22.09.2010 23:00 MEZ)

	BOTT	GELS	EVOG	VEAE	Resse
PM ₁₀ Tagesmittel (23 - 23 MEZ)	40,3	-	44,5	47,4	31,8
NO Halbstundenwert	137	228	175	377	173,3
NO Tagesmittel (23 - 23 MEZ)	39,2	91,9	45,4	118,1	50,0
NO ₂ Stundenmittel	63,5	71	88	122	124,1
NO ₂ Tagesmittel (23 - 23 MEZ)	35	30,2	44,7	66,7	55,4
O ₃ Stundenmittel	94	-	-	-	91,6
O ₃ Achtstundenwert	66	-	-	-	60,1

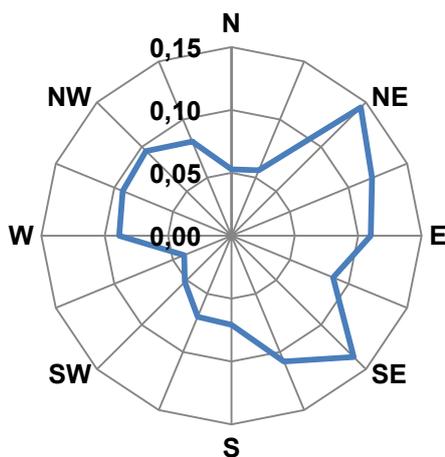
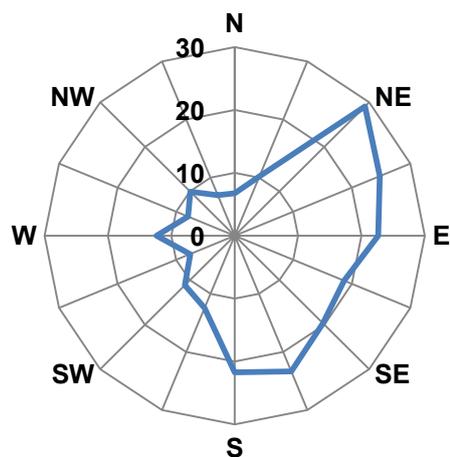
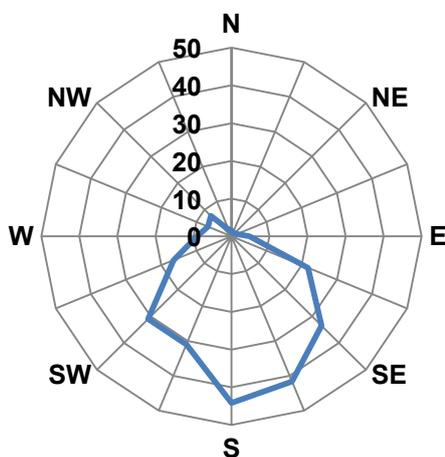
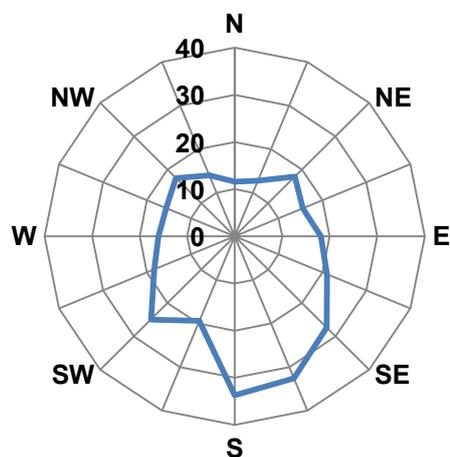
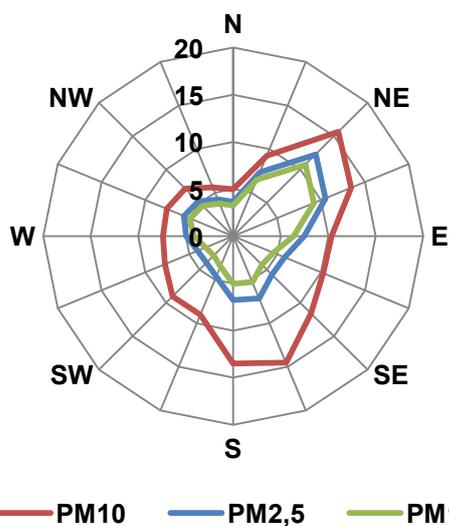
CO ($\text{mg m}^{-2} \text{s}^{-1}$)NO ($\mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$)O₃ ($\mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$)NO₂ ($\mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$)PM_x ($\mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

Abb. 38: Mittlere Massenflussdichte der verschiedenen Spurenstoffe und Partikelgrößenfraktionen während der 24 h-Standmessung am Standort Resse (Messzeitraum: 21.09.2010 23:00 MEZ bis 22.09.2010 23:00 MEZ; Datenbasis: 1 min-Mittelwerte)

5.7.4 Standort Buer

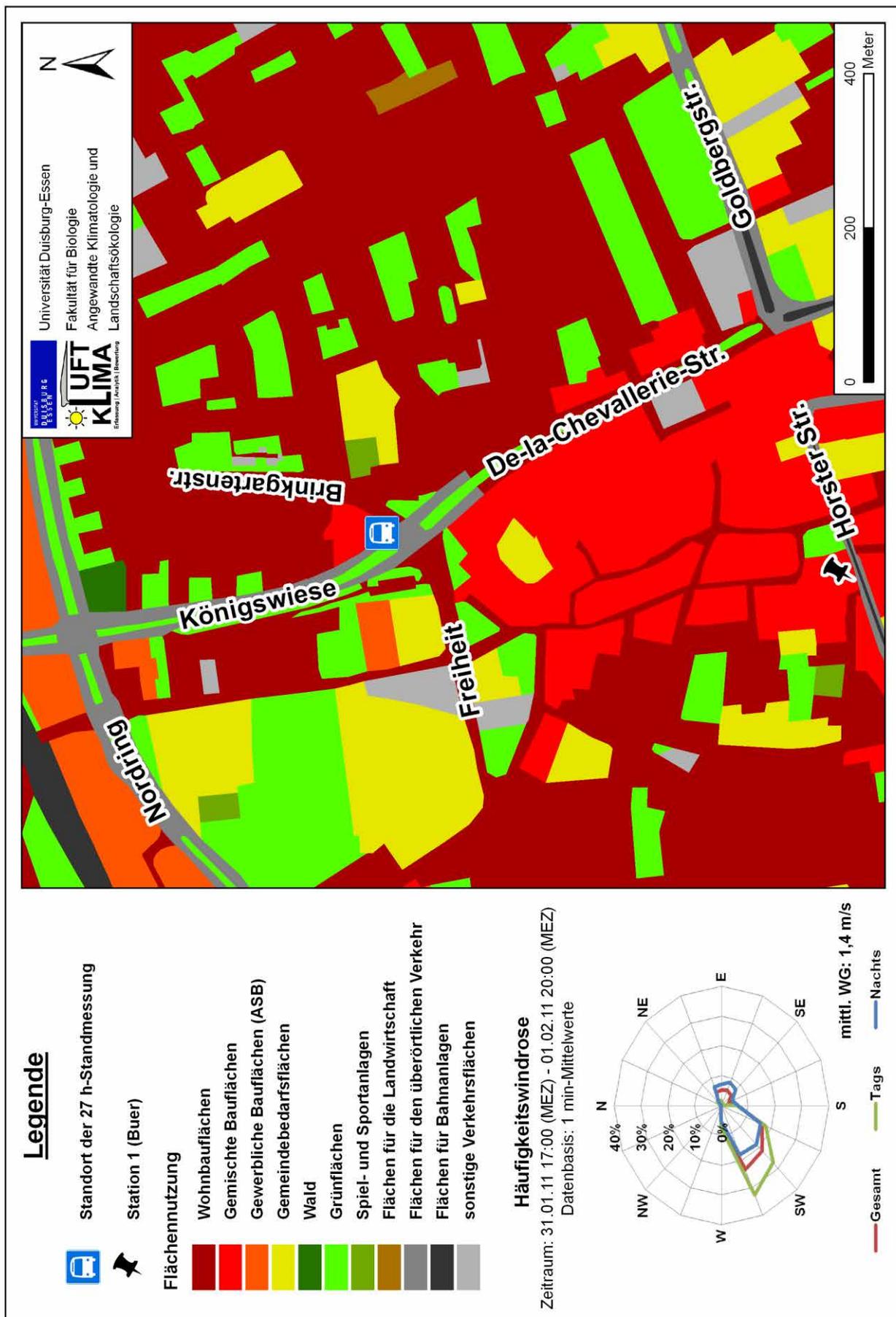
Die lufthygienische Standortmessung in **Gelsenkirchen-Buer** wurde vom 31.01.2011 17:00Uhr (MEZ) bis 01.02.2011 20:00 Uhr (MEZ) über einen Zeitraum von 27 Stunden durchgeführt. Der Standort repräsentiert durch die Lage im unmittelbaren Einflussbereich der mit einem DTV-Wert von etwa 30.100 Kfz relativ stark frequentierten Königswiese bzw. De-la-Chevallerie-Str. ebenfalls einen verkehrsnahen Bereich.

Das Umfeld des Messpunktes wird hauptsächlich durch Wohnbebauung sowie einer gemischten Nutzungsstruktur von Wohnen und Gewerbe im Stadtkern von Buer geprägt (s. Karte 14). Größere industrielle Emittenten, die einen Einfluss auf die Immissionssituation ausüben könnten, sind aufgrund der Innenstadtlage in der näheren Umgebung des Standortes nicht anzutreffen. Da diese Standortmessung jedoch im Winter durchgeführt wurde, ist neben den Verkehrsemissionen ein potentieller Einfluss durch die Quellgruppe Hausbrand zu vermuten.

Die vorherrschende Großwetterlage (Hochdruckbrücke über Mitteleuropa BM) während der Messperiode sorgte zwar bei einer mittleren Windgeschwindigkeit von $1,4 \text{ m s}^{-1}$ für die bei lufthygienischen Untersuchungen relevante austauscharme Situation, allerdings waren die Strahlungsverhältnisse aufgrund einer weitestgehend geschlossenen Wolkendecke infolge großräumiger Nebel- bzw. Hochnebfelder eingeschränkt. Dies äußert sich in einem sehr schwach ausgeprägten Tagesgang der Lufttemperatur (Amplitude: 2,5 K) bei einem Mittelwert von winterlichen $-2,9 \text{ °C}$ (2 m ü. Gr.) und einer relativ hohen Luftfeuchtigkeit von durchschnittlich 84,2 %. Die fehlende Einstrahlung wirkt sich zudem auf die Immissionssituation einzelner Spurenstoffe aus, insbesondere für Ozon (O_3) ist daher von geringen Konzentrationen auszugehen.

In Abbildung 39 bis 42 werden die Verläufe der verschiedenen Spurenstoffe und Partikelgrößenfraktionen (PM_x) während der 27-stündigen lufthygienischen Messung in Gelsenkirchen-Buer aufgezeigt. Für den primär verkehrsbürtigen Spurenstoff NO ergibt sich mit einem Tagesmittel von $92,6 \mu\text{g m}^{-3}$ (bezogen auf den Zeitraum vom 31.01.2011 17:00 Uhr bis 01.02.2011 17:00 Uhr (MEZ)) gegenüber den Standortmessungen während sommerlicher Strahlungswetterlagen am Standort Sternschule (Tagesmittel: $11,8 \mu\text{g m}^{-3}$) und Schloß Horst (Tagesmittel: $14,6 \mu\text{g m}^{-3}$) ein insgesamt höheres Konzentrationsniveau, dessen Maximum im morgendlichen Berufsverkehr begründet ist. Die empfohlene maximale Immissionskonzentration (MIK) von $500 \mu\text{g m}^{-3}$ (VDI 2004b) wird allerdings nicht annähernd erreicht.

Karte 14: Übersichtskarte und Windrose der 27 h-Standmessung am Standort Buer vom 31.01./01.02.2011



UFT KLIMA
 Universität Duisburg-Essen
 Fakultät für Biologie
 Angewandte Klimatologie und
 Landschaftsökologie

Die Konzentrationen des ebenfalls primären Spurenstoffs CO weisen mit einem Tagesmittel von $0,7 \text{ mg m}^{-3}$ insgesamt sehr geringe Werte auf, im Vergleich dazu beträgt der 24 h-MIK-Wert nach VDI 2310 10 mg m^{-3} (LANUV 2010). Im Tagesgang der CO-Konzentration ist allerdings ein deutliches und zu diesem Zeitpunkt untypisches Maximum in der Nacht zwischen 02:00 Uhr (MEZ) und 04:00 Uhr (MEZ) zu erkennen. Da ein Konzentrationsanstieg innerhalb dieses Zeitraums in unterschiedlicher Intensität auch für NO, CO₂ und PM_x zu beobachten ist und eine Abhängigkeit von meteorologischen Parametern nicht besteht, handelt es sich hierbei um eine lokale Emission, deren Quelle im Rahmen der Untersuchungen jedoch nicht identifiziert werden konnte. Allerdings wurden hierdurch auch keinerlei Grenz- oder Richtwerte im Stunden- oder Halbstundenmittel überschritten.

Für den Sekundärspurenstoff NO₂ bleibt der beschriebene nächtliche Peak aus. Vielmehr ist ein stetiger Konzentrationsanstieg über den gesamten Nachtverlauf mit einem Maximum am Morgen zu beobachten, was eindeutig auf eine Akkumulation innerhalb der Mischungsschicht hinweist. Insgesamt stellt sich das Konzentrationsniveau für NO₂ mit einem Tagesmittel von $83,8 \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$, angesichts des nach 39. BImSchV geltenden Grenzwertes von $40 \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$ im Jahresmittel erhöht dar. Die Ozonkonzentrationen sind hingegen, aufgrund der fehlenden Sonneneinstrahlung und somit ausbleibenden O₃-bildenden photo-lytischen Prozesse, vernachlässigbar gering.

Die CO₂-Immissionen zeigen ein ausgeprägtes Maximum am Morgen und bei einem Tagesmittelwert von 451,9 ppm ein gegenüber der Sommersituation leicht erhöhtes Niveau. Dies ist für eine winterliche austauscharme Wetterlage aufgrund der zusätzlichen Emissionen aus dem Hausbrand nicht ungewöhnlich. Außerordentlich hoch stellt sich allerdings die Immissionssituation der luftgetragenen Partikel (PM_x) dar. Der PM₁₀-Grenzwert laut 39. BImSchV von $50 \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$ im Tagesmittel, der 35 mal pro Jahr überschritten werden darf, wurde mit $108,5 \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$ um mehr als das Doppelte übertroffen. Der interstationäre Vergleich mit den LUQS-Standorten der Umgebung zeigt allerdings, dass es sich hierbei nicht um lokale Emissionen handelt (s. Tab. 22). Da sämtliche Stationen fast identisch hohe Tagesmittelwerte aufweisen, ist die Ursache in großräumigen, allochthonen Prozessen zu sehen.

Bezogen auf NO₂ sind die am Standort in Gelsenkirchen-Buer gemessenen Konzentrationen gegenüber den LANUV-Stationen sowohl im Tagesmittel als auch im maximalen Stundenmittel erhöht. Zudem nehmen die NO-Immissionen in Buer höhere Werte an als an den städtischen Hintergrundstationen EVOG und GELS sowie dem Industriestandort BOTT und befinden sich auf einem vergleichbaren Niveau mit der ebenfalls verkehrsnahen Station VEAE.

In Abbildung 43 werden der Tagesgang der BETX-Konzentrationen und das entsprechende Toluol/Benzol-Verhältnis während der lufthygienischen Standortmessung in Gelsenkirchen-Buer aufgezeigt. Das Konzentrationsniveau ist insgesamt relativ gering. Beispielsweise lag das Tagesmittel für Benzol bei lediglich $2,1 \mu\text{g m}^{-3}$, im Vergleich dazu beträgt der Grenzwert laut 39. BImSchV im Jahresmittel $5 \mu\text{g m}^{-3}$. Das Toluol/Benzol-Verhältnis weist insbesondere in den Morgenstunden ein für Verkehrsstandorte typisches enges Verhältnis auf und liegt mit einem Mittelwert von 3,0 durchaus noch in einem plausiblen Bereich für Kfz-bedingte Immissionen. Die zum Teil größeren Werte des Toluol/Benzol-Verhältnisses sowie der erhöhte Anteil der Xylole weisen jedoch auf weitere Quellen hin.

Die windrichtungsabhängigen mittleren Massenflussdichten und Massenflussdichtedosen der verschiedenen Spurenstoffe und luftgetragenen Partikel (PM_x) werden in Abbildung 44 und Abbildung A11 dargestellt. Die Windrosen zeigen insgesamt für alle erhobenen Größen entsprechend der Häufigkeitswindrose (vgl. Karte 14) eine mehr oder weniger deutliche Komponente in den Sektoren Westsüdwest bis Südsüdwest. Daher kann der Verkehr entlang der Königswiese und der De-la-Chevallerie-Straße, deren Emissionen aufgrund der Orientierung des Straßenverlaufs aus nordwestlichen bis südöstlichen Richtungen an den Messpunkt herangetragen wurden, für die Immissionssituation am Standort als Hauptquelle bezeichnet werden.

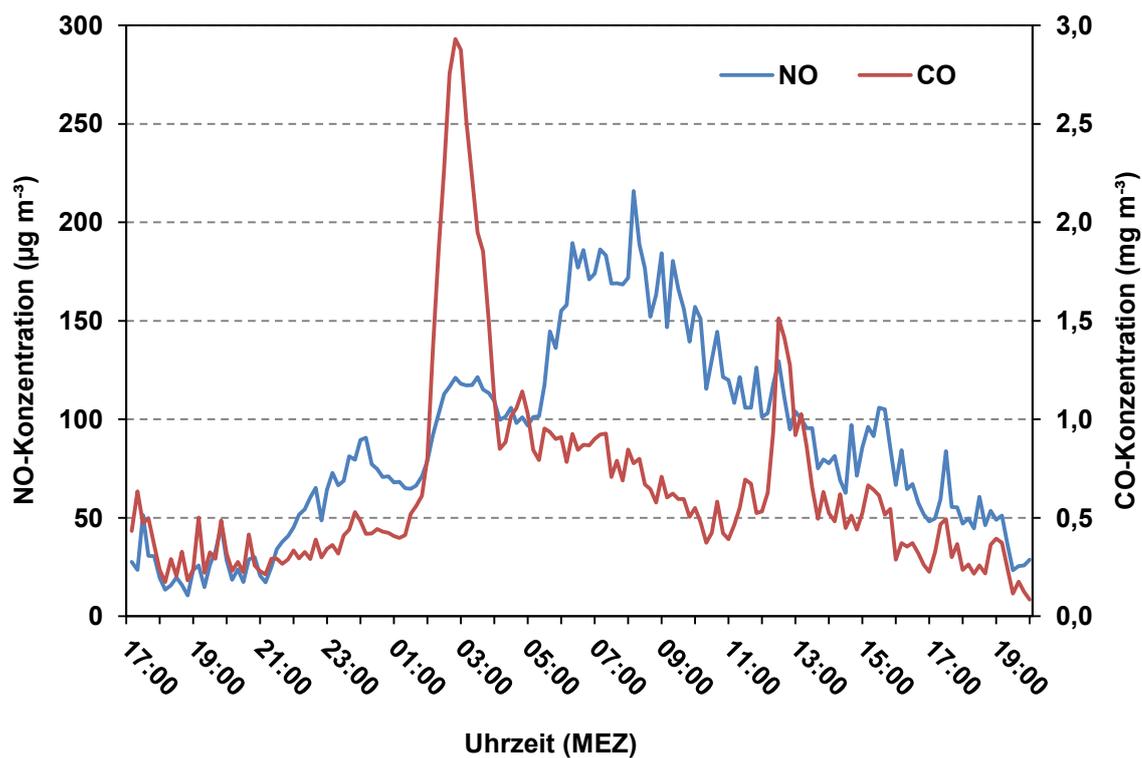


Abb. 39: Tagesgang der NO- und CO-Konzentrationen während der 27 h-Standmessung am Standort Buer (Messzeitraum: 31.01.2011 17:00 MEZ bis 01.02.2011 20:00 MEZ; Datenbasis: 10 min-Mittelwerte)

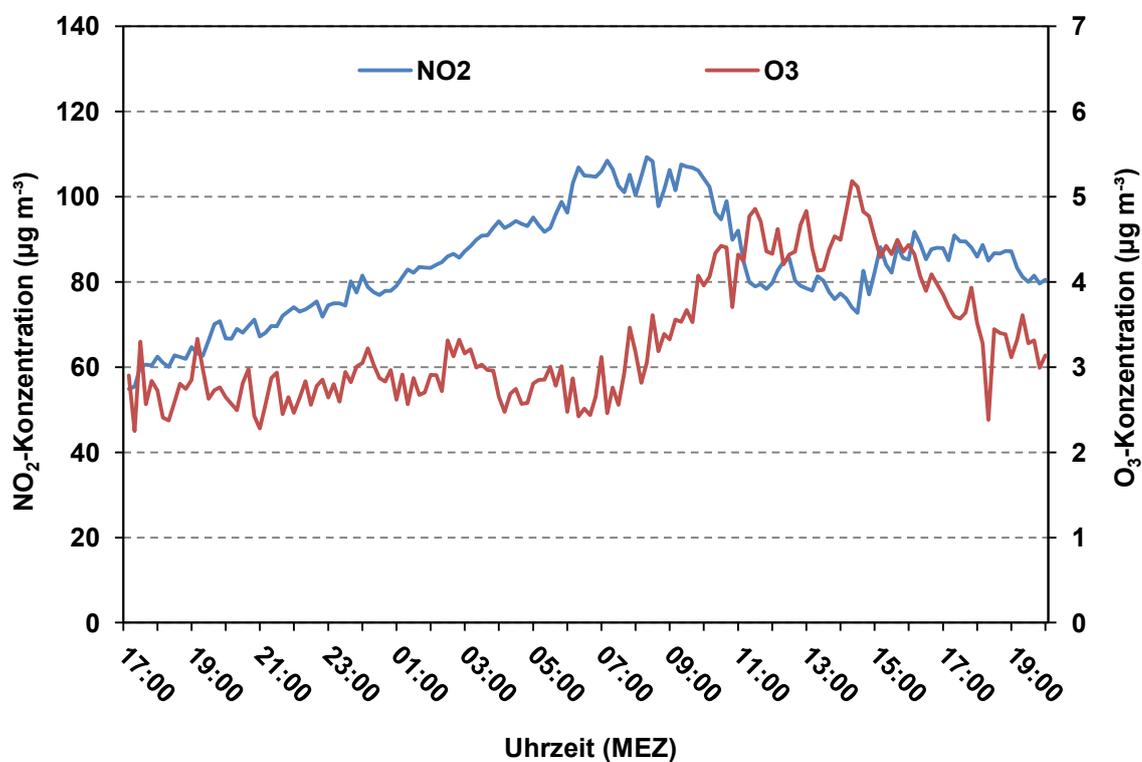


Abb. 40: Tagesgang der NO₂- und O₃-Konzentrationen während der 27 h-Standmessung am Standort Buer (Messzeitraum: 31.01.2011 17:00 MEZ bis 01.02.2011 20:00 MEZ; Datenbasis: 10 min-Mittelwerte)

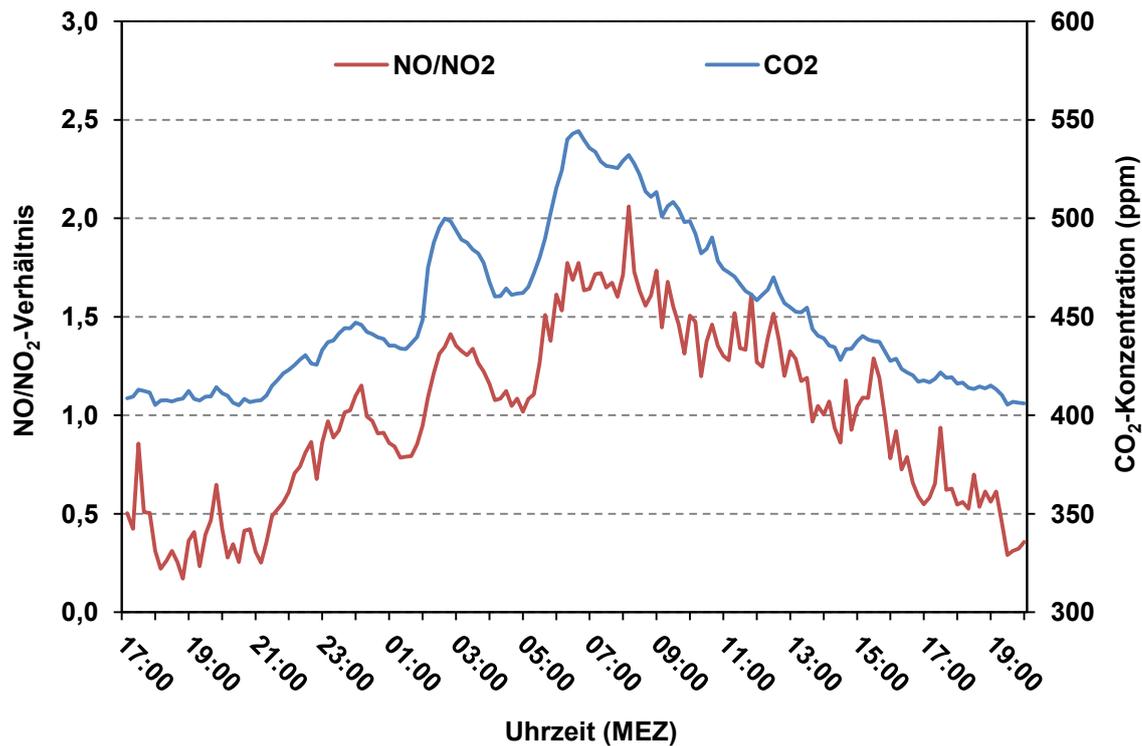


Abb. 41: Tagesgang des NO/NO₂-Verhältnisses und der CO₂-Konzentrationen während der 27 h-Standmessung am Standort Buer (Messzeitraum: 31.01.2011 17:00 MEZ bis 01.02.2011 20:00 MEZ; Datenbasis: 10 min-Mittelwerte)

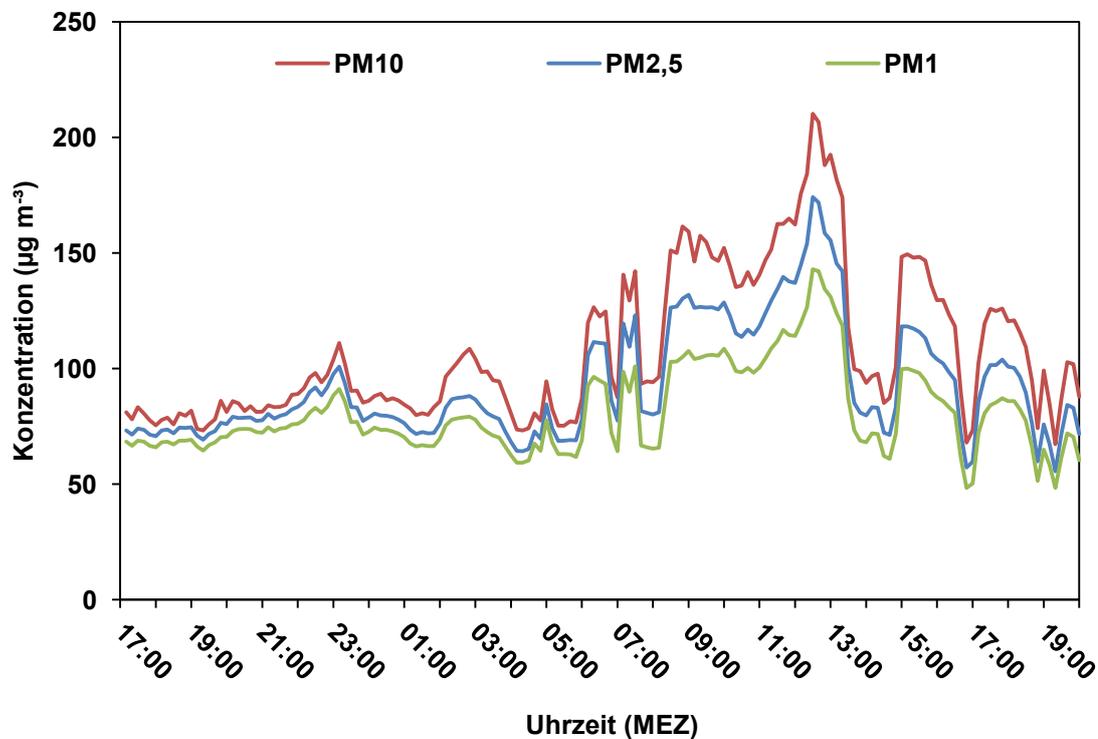


Abb. 42: Tagesgang der PM_x-Konzentrationen während der 27 h-Standmessung am Standort Buer (Messzeitraum: 31.01.2011 17:00 MEZ bis 01.02.2011 20:00 MEZ; Datenbasis: 10 min-Mittelwerte)

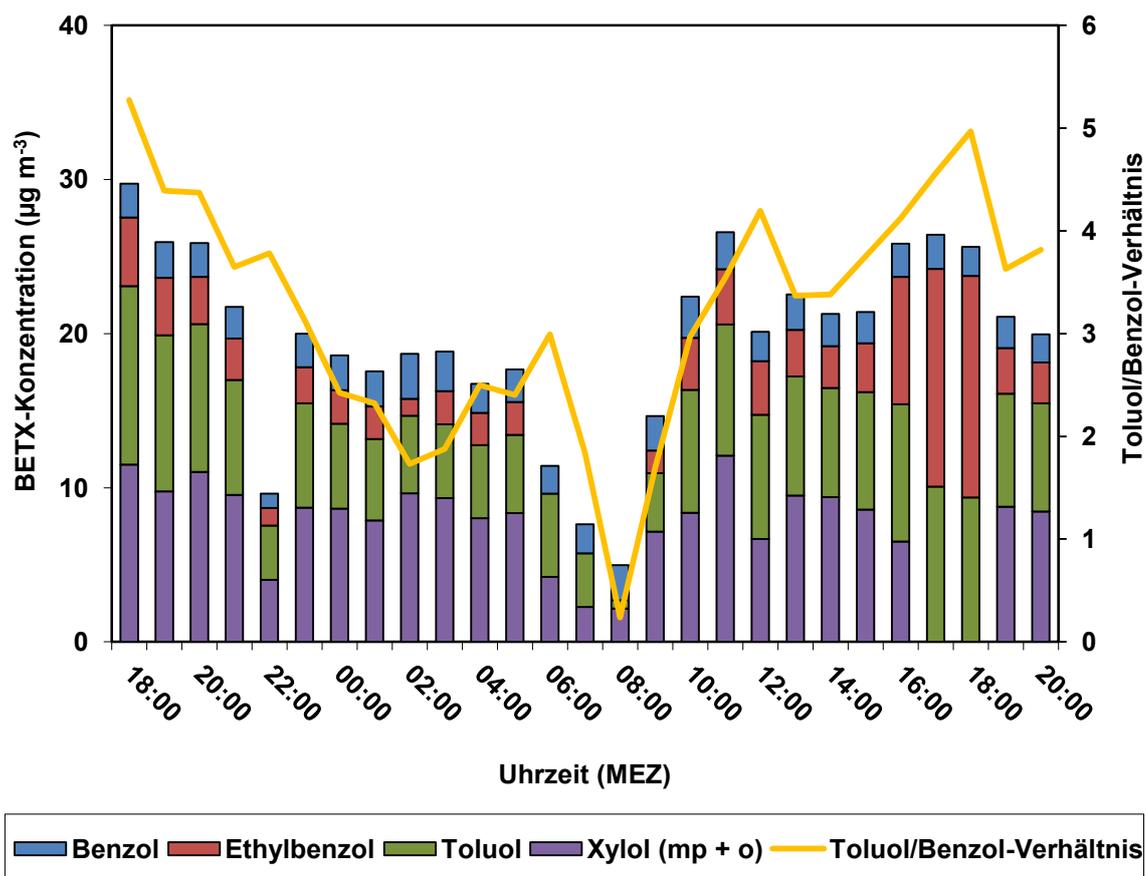
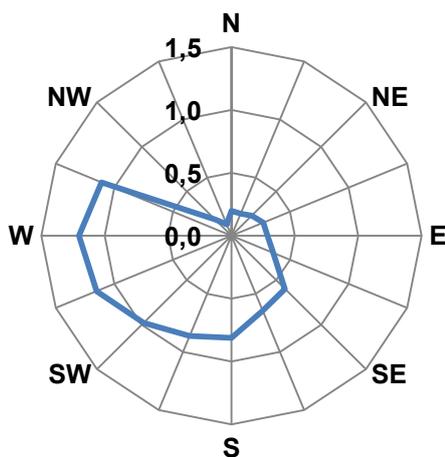
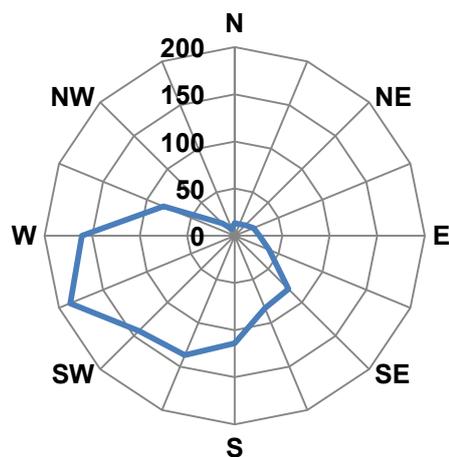
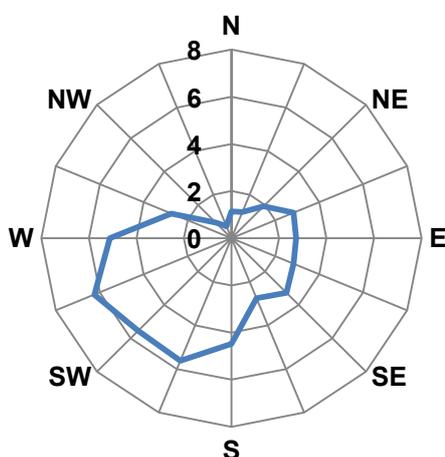
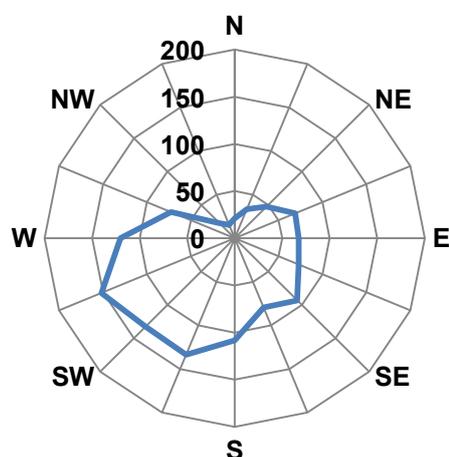
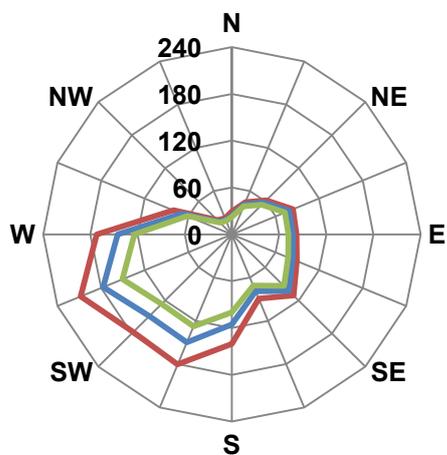


Abb. 43: Tagesgang der BETX-Konzentrationen während der 27 h-Standmessung am Standort Buer (Messzeitraum: 31.01.2011 17:00 MEZ bis 01.02.2011 20:00 MEZ; Datenbasis: 10 min-Mittelwerte)

Tab. 22: Statistische Angaben für NO, NO₂, O₃ und PM₁₀ am Standort Buer im Vergleich zur Situation an den umliegenden LUQS-Stationen (Messzeitraum: 31.01.2011 17:00 MEZ bis 01.02.2011 20:00 MEZ)

	BOTT	GELS	EVOG	VEAE	Buer
PM ₁₀ Tagesmittel (17 - 17 MEZ)	102,2	-	101,9	103,6	108,5
NO Halbstundenwert	132	110	122	183	193,8
NO Tagesmittel (17 - 17 MEZ)	59,2	52,8	54,1	95,4	92,6
NO ₂ Stundenmittel	78,5	84	75,5	90	105,5
NO ₂ Tagesmittel (17- 17 MEZ)	60,8	57,8	61	69,6	83,8
O ₃ Stundenmittel	2	-	-	-	4,9
O ₃ Achtstundenwert	2	-	-	-	4,3

CO ($\text{mg m}^{-2} \text{s}^{-1}$)NO ($\mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$)O₃ ($\mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$)NO ($\mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$)PM_x ($\mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

— PM10 — PM2,5 — PM1

Abb. 44: Mittlere Massenflussdichte der verschiedenen Spurenstoffe und Partikelgrößenfraktionen während der 27 h-Standmessung am Standort Buer (Messzeitraum: 31.01.2011 17:00 MEZ bis 01.02.2011 20:00 MEZ; Datenbasis: 1 min-Mittelwerte)

5.8 Zusammenfassende Bewertung der klimatischen und lufthygienischen Ergebnisse

Während eine Beurteilung der lufthygienischen Verhältnisse durch eine Orientierung an den in der 39. BImSchV gesetzlich festgelegten Grenzwerten eindeutig geregelt ist, liegen zur Bewertung der stadtklimatischen Verhältnisse bis dato keine einheitlichen Verfahren vor (VDI 2004). In der vorliegenden Fachliteratur, z.B. der VDI-Richtlinie 3787 Bl. 2 (VDI 1998/2003), werden zwar eine Vielzahl bewertender Indizes vorgeschlagen, für deren Anwendung die auftragsgemäße Datengrundlage zumeist jedoch nicht ausreichend ist. Die Bewertung der klimatischen und lufthygienischen Situation im Stadtgebiet von Gelsenkirchen basiert daher auf eigens entwickelten und speziell auf die vorliegende Datenstruktur dieser Stadtklimaanalyse abgestimmten Kriterien.

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

Im Folgenden werden nun die in den Kapiteln 5.1 bis 5.7 dargestellten Ergebnisse der stationären und mobilen klimatologischen und lufthygienischen Untersuchungen im Stadtgebiet von Gelsenkirchen zusammenfassend bewertet.

5.8.1 Bewertung der klimatischen Situation

Zur Bewertung der klimatischen Situation im Stadtgebiet von Gelsenkirchen anhand der Ergebnisse des stationären Messnetzes wurde eine dreistufige Skala festgelegt, deren Klassengrenzen auf den 33,3- und 66,6-Perzentilen der jeweiligen klimatologischen Kenngröße beruhen. Tabelle 23 gibt einen Überblick der zur Beurteilung der thermischen, austauschrelevanten und human-biometeorologischen Verhältnisse herangezogenen Kriterien sowie den auf Basis der Stationsdaten ermittelten Bewertungsgrenzen zur Einteilung der drei Belastungsstufen (gering, mittel, hoch). Aufgrund des relativen Vergleichs der fünf Klimafeststationen werden die absoluten Ober- und Untergrenzen der

dreistufigen Skala durch die im Stationskollektiv aufgetretenen Minimum- bzw. Maximumwerte der jeweiligen Größe gebildet.

Zur Beurteilung der thermischen Verhältnisse an den fünf Standorten wurde das Auftreten der verschiedenen klimatologischen Ereignistage verwendet. Die Bewertung der Austauschverhältnisse erfolgte anhand der mittleren Windgeschwindigkeiten, dem Auftreten und der maximalen Andauer von Schwachwindepisoden sowie der Calmenhäufigkeiten. Die human-biometeorologischen Verhältnisse im Stadtgebiet von Gelsenkirchen wurden anhand der mit Hilfe des numerischen Modells RayMan Pro ermittelten PET-Werte beurteilt, wobei lediglich die relative Häufigkeit des Auftretens von Situationen mit starker bis extremer Wärmebelastung ($PET > 35 \text{ °C}$) und starker bis extremer Kältebelastung ($PET < 8 \text{ °C}$) Berücksichtigung fanden (s. Tab. 23).

Tab. 23: Bewertungsgrenzen verschiedener klimatologischer Kennwerte basierend auf den 33,3- und 66,6-Perzentilen der jeweiligen Größen im Untersuchungsgebiet Gelsenkirchen

Kriterium	Einheit	Belastung					
		gering		mittel		hoch	
		von	bis	von	bis	von	bis
Thermische Verhältnisse¹							
Eistage ($t_{(\max)} < 0 \text{ °C}$)	Anzahl	16	18	19		20	
Frosttage ($t_{(\min)} \leq 0 \text{ °C}$)	Anzahl	53	59	60	65	66	71
kalte Tage ($\bar{t} < 0 \text{ °C}$)	Anzahl	35	37	38	40	41	42
Heiztage ($\bar{t} < 15 \text{ °C}$)	Anzahl	244	250	251	254	255	257
warme Tage ($\bar{t} \geq 20 \text{ °C}$)	Anzahl	31	34	35	40	41	44
Sommertage ($t_{(\max)} > 25 \text{ °C}$)	Anzahl	34	35	36		37	39
heiße Tage ($t_{(\max)} > 30 \text{ °C}$)	Anzahl	11	12	13		14	
Grillpartytage ($t_{(21 \text{ h})} > 20 \text{ °C}$)	Anzahl	36	40	41	48	49	62
heiße Nächte ($t_{(0 \text{ h})} > 20 \text{ °C}$)	Anzahl	12	16	17	23	24	28
Austauschverhältnisse¹							
Jahresmittel der Windgeschwindigkeit	m s^{-1}	2,0	1,7	1,6	1,2	1,1	0,7
Mittel der Windgeschwindigkeit an autochthonen Tagen	m s^{-1}	1,2	1,1	1,0	0,8	0,7	0,4
Schwachwindhäufigkeit	%	41,0	55,3	55,4	77,7	77,8	89,8
max. Dauer einer Schwachwindepisode	h	84,0	109,0	110,0	430,0	431,0	912,0
Calmenhäufigkeit im Jahr	%	7,1	10,8	10,9	18,0	18,1	31,0
Calmenhäufigkeit an autochthonen Tagen	%	15,0	24,0	24,1	37,0	37,1	51,6
Human-biometeorologische Verhältnisse²							
relative Häufigkeit von $PET > 35 \text{ °C}$	%	9,9	12,2	12,3	13,8	13,9	17,8
relative Häufigkeit von $PET < 8 \text{ °C}$	%	0,9	1,3	1,4	5,1	5,2	10,5

¹ Messzeitraum: 01.03.2010 – 28.02.2011

² bezogen auf die autochthonen Tage der Sommermonate Juni, Juli und August 2010

Die abschließende Bewertung der betrachteten klimatologischen Kenngrößen für die einzelnen Stationsstandorte erfolgt, entsprechend den in Tabelle 23 aufgezeigten Klassenintervallen, losgelöst von der Angabe absoluter Zahlenwerte unter Verwendung einer bewertenden Farbskala für geringe, mittlere oder hohe Intensität bzw. Belastung.

In Tabelle 24 werden die Ergebnisse der Bewertung der thermischen, austauschrelevanten und human-biometeorologischen Verhältnisse an den fünf Klimafeststationen im Untersuchungsgebiet Gelsenkirchen dargestellt.

Bezüglich der thermischen Situation ist zu beobachten, dass die Stadtstationen (St. 1 Buer und St. 2 Altstadt) während des Sommerhalbjahrs insgesamt hohe und im Winterhalbjahr besonders geringe Belastungen aufweisen. Die ebenfalls urban geprägte Vorortstation Hassel (Station 3) zeigt ein nahezu inverses Verhalten mit günstigen Verhältnissen im Sommerhalbjahr und ungünstigen Verhältnissen bezüglich der Anzahl von Tagen mit Unterschreitung definierter Temperaturschwellen im Winterhalbjahr, was einen innerhalb der umgebenden, lockeren Wohnbebauung gegenüber den verdichteten Stadtkernen gesteigerten Heizbedarf nach sich zieht. Die thermischen Verhältnisse der Umland- bzw. Parkstandorte Sutumer Feld (Station 4) und Nordsternpark (Station 5) sind insgesamt ausgeglichener zu bewerten. Nur vereinzelt treten erhöhte thermische Belastungen in den Wintermonaten auf.

Die Austauschverhältnisse stellen sich an den Umland- bzw. Parkstationen (St. 4 Sutumer Feld und St. 5 Nordsternpark) aufgrund der freianströmbaren Situation und somit geringen Rauigkeit erwartungsgemäß besonders günstig dar, während insbesondere die Standorte Buer (Station 1) und Hassel (Station 3) eine stark eingeschränkte Intensität der Austauschverhältnisse aufweisen. Der Standort Altstadt (Station 2) zeichnet sich hingegen aufgrund der in Kapitel 5.3.1 erläuterten lokalen Beeinflussung des Windfeldes durch die vorherrschenden Umgebungseigenschaften durch begünstigte Austauschbedingungen aus. Diese Bewertung beruht allerdings auf mikroskaligen Windfeldmodifikationen im Umfeld des Messstandortes und ist nicht als Charakteristikum für den gesamten Stadtteil übertragbar.

Die günstigen Austauschverhältnisse an diesem Standort wirken sich zudem auf die Bewertung der human-biometeorologischen Situation aus. Trotz insgesamt erhöhter thermischer Belastung weist Station 2 (Altstadt) bezogen auf den Zeitraum der autochthonen Tage der Sommermonate Juni, Juli und August 2010 ein günstiges Bioklima auf, während an den ebenfalls durch Bebauung geprägten Standorten Buer (Station 1) und Hassel (Station 3) insbesondere das

Tab. 24: Bewertung der thermischen, austauschrelevanten und human-biometeorologischen Verhältnisse im Gelsenkirchener Untersuchungsgebiet

Kriterium	Einheit	Stationstandorte				
		Stadt		Vorort	Umland/Park	
		St. 1 BUE	St. 2 AST	St. 3 HAS	St. 4 SUT	St. 5 NOP
Thermische Verhältnisse¹						
Eistage ($t_{(max)} < 0 \text{ °C}$)	Anzahl					
Frosttage ($t_{(min)} \leq 0 \text{ °C}$)	Anzahl					
kalte Tage ($\bar{t} < 0 \text{ °C}$)	Anzahl					
Heiztage ($\bar{t} < 15 \text{ °C}$)	Anzahl					
warme Tage ($\bar{t} \geq 20 \text{ °C}$)	Anzahl					
Sommertage ($t_{(max)} > 25 \text{ °C}$)	Anzahl					
heiße Tage ($t_{(max)} > 30 \text{ °C}$)	Anzahl					
Grillpartytage ($t_{(21h)} > 20 \text{ °C}$)	Anzahl					
heiße Nächte ($t_{(0h)} > 20 \text{ °C}$)	Anzahl					
Austauschverhältnisse¹						
Jahresmittel der Windgeschwindigkeit	m s^{-1}					
Mittel der Windgeschwindigk. an autochthonen Tagen	m s^{-1}					
Schwachwindhäufigkeit	%					
max. Dauer einer Schwachwindepisode	h					
Calmenhäufigkeit im Jahr	%					
Calmenhäufigkeit an autochthonen Tagen	%					
Human-biometeorologische Verhältnisse²						
relative Häufigkeit von PET > 35 °C	%					
relative Häufigkeit von PET < 8 °C	%					

¹ Messzeitraum: 01.03.2010 – 28.02.2011

² bezogen auf die autochthonen Tage der Sommermonate Juni, Juli und August 2010

 geringe Intensität bzw. Belastung

 mittlere Intensität bzw. Belastung

 hohe Intensität bzw. Belastung

Auftreten von Stunden starker und extremer Wärmebelastung ($PET > 35 \text{ }^\circ\text{C}$) im interstationären Vergleich als ungünstig zu bewerten ist. Demgegenüber stehen die Umland- und Parkstandorte Sutumer Feld (Station 4) und Nordsternpark (Station 5) mit günstigen Verhältnissen der Wärmebelastung, jedoch einer erhöhten Intensität der nächtlich auftretenden Kältebelastungen ($PET < 8 \text{ }^\circ\text{C}$).

Bezüglich der Austauschverhältnisse ist eine Übertragbarkeit, wie bereits obenstehend erläutert, aufgrund der innerhalb städtischer Strukturen stark lokal geprägten Windfeldmodifikationen nicht möglich. Allerdings lassen sich die thermischen und in begrenztem Maße auch die human-bioklimatischen Verhältnisse anhand der nächtliche Temperaturmessfahrten auf das gesamte Stadtgebiet übertragen.

Während der Tagstunden stellt die solare Einstrahlung die entscheidende Einflussgröße auf die thermische Behaglichkeit des Menschen dar (VDI 2006), wodurch infolge der Abschattung umliegender Gebäude oder Vegetationsbestände kleinräumig große Unterschiede im thermischen Empfinden entstehen können. Fehlt die Einstrahlung in der Nacht nimmt die Bedeutung der Lufttemperatur und Windgeschwindigkeit zu. Demnach sind insbesondere während windschwacher Strahlungsnächte die Lufttemperaturverhältnisse die entscheidende Einflussgröße auf das thermische Empfinden des Menschen.

Bezogen auf die nächtliche Situation sommerlicher, windschwacher Strahlungstage ist daher eine Übertragbarkeit der human-biometeorologischen Verhältnisse anhand der nächtlichen Temperaturverteilung innerhalb des Stadtgebietes von Gelsenkirchen gegeben (vgl. Karte 2, S. 36). Insbesondere in den Stadtkernen Buer und Altstadt sowie in Teilbereichen von Erle, Schalke, Bulmke-Hüllen und Ückendorf ist während sommerlicher Strahlungsnächte mit erhöhten Temperaturen zu rechnen. Diese resultieren zwar insgesamt für den Aufenthalt im Freien in günstigen human-biometeorologischen Verhältnissen (Tab. 24), können im Einzelfall, insbesondere während „heißer Nächte“, allerdings eine Verminderung der Schlafqualität der städtischen Bewohner bewirken (Hupfer u. Kuttler 2006). Mit zunehmendem Vorortcharakter (lockerere Bebauung, geringer Versiegelungsgrad, Nähe zu Freiflächen), wie in den Stadtteilen Hassel, Resse oder Beckhausen, nimmt die nächtliche Überwärmung ab, was dem nächtlichen Schlafkomfort zu Gute kommt. An den Umland- bzw. Parkstationen Sutumer Feld (Station 4) und Nordsternpark (Station 5) wurden die human-biometeorologischen Verhältnisse während sommerlicher Strahlungsnächte als besonders ungünstig bewertet. Dies ist jedoch darauf zurückzuführen, dass den Berechnungen eine Bekleidung mit leichter Sommerbekleidung zu Grunde liegt und sich in den stärker auskühlenden Freiräumen somit schneller ein Kälteempfinden einstellt.

5.8.2 Bewertung der lufthygienischen Situation

Zur Bewertung der lufthygienischen Situation im Stadtgebiet von Gelsenkirchen anhand der lufthygienischen Messfahrten wurde ein Immissionsindex auf Basis der gemittelten Streckenabschnittsmittelwerte der drei lufthygienischen Messfahrten berechnet. Dieser Immissionsindex beruht auf den 90-Perzentilen aller Streckenabschnittsmittelwerte für die Spurenstoffe CO, NO und NO₂ sowie der Partikelgrößenfraktion PM₁₀ (s. Tab. 25). Das bedeutet, es werden jene Streckenabschnitte hervorgehoben, die den 10 % der Abschnitte mit den höchsten Konzentrationen angehören.

Tab. 25: Statistische Angaben der über drei Messfahrten (23.03.2010, 16.04.2010, 10.01.2011) gemittelten Streckenabschnittsmittelwerte von CO, NO, NO₂ und PM₁₀

	CO (mg m ⁻³)	NO (µg m ⁻³)	NO ₂ (µg m ⁻³)	PM ₁₀ (µg m ⁻³)
Minimum	0,2	5,9	21,1	26,0
Mittelwert	0,6	73,7	58,2	42,6
90-Perzentil	0,9	162,2	97,7	50,9
Maximum	2,2	297,2	141,2	91,0

Bei einem Immissionsindex von 1 wurde auf diesem Streckenabschnitt lediglich für eine der betrachteten Komponenten der 90 %-Wert überschritten. Ein Indexwert von 2 bedeutet zwei Überschreitungen, während der Höchstwert von 4 für Streckenabschnitte mit einer Überschreitung der 90-Perzentile aller vier Komponenten vergeben wird und auf besonders ungünstige lufthygienische Verhältnisse in diesem Bereich hinweist. Abschnitte mit einem Immissionsindex von 0 sind hingegen bezüglich aller Komponenten unauffällig.

Des Weiteren erfolgt die Beurteilung der lufthygienischen Situation anhand der vier im Stadtgebiet von Gelsenkirchen durchgeführten lufthygienischen Standmessungen. Die Vergabe des Immissionsindexes beruht in diesem Fall auf der Überschreitungshäufigkeit geltender Grenz- und Richtwerte für die Spurenstoffe CO, NO und NO₂ sowie die Partikel PM₁₀. Die zur Bewertung herangezogenen Grenz- und Richtwerte werden in Tabelle 26 aufgezeigt. Da für NO derzeit kein gesetzlich bindender Grenzwert nach 39. BImSchV besteht, wurde für diese Komponente auf eine Orientierung an der laut VDI 2310 empfohlenen maximalen Immissionskonzentration (MIK) (LANUV 2010) zurückgegriffen. Tabelle 26 liefert darüber hinaus eine Übersicht der mittleren Konzentrationen der jeweiligen Komponenten für die vier lufthygienischen Standmessungen sowie die aus den Grenzwertüberschreitungen resultierenden Indexwerte. Dabei wurde für jede Überschreitung eines der aufgeführten Grenzwerte der Indexwert um 1 erhöht.

Auf eine Berücksichtigung der O₃-Konzentrationen bei der Berechnung des Immissionsindexes wurde bewusst verzichtet, da das Immissionsniveau des sekundären Spurenstoffes O₃ einer starken jahreszeitlichen Abhängigkeit unterlegen ist, die durchgeführten lufthygienischen Messfahrten sowie Standmessungen allerdings über die gesamte Dauer der Messperiode (01.03.2010 bis 28.02.2011) verteilt sind und somit eine vergleichende Betrachtung nicht sinnvoll erscheint. Eine Beurteilung der O₃-Immissionen im Stadtgebiet von Gelsenkirchen erfolgt daher separat anhand der erhobenen Datenlage.

Tab. 26: Statistische Angaben der Konzentrationen von CO, NO, NO₂ und PM₁₀ während der vier lufthygienischen Standmessungen sowie der jeweilige aus Grenzwertüberschreitungen resultierende Immissionsindex

Stoff (Einheit) u. Intervall	Sternschule*	Schloß Horst*	Resse*	Buer*	Grenz-/Richtwert
CO (mg m ⁻³) Achtstundenwert	0,3	0,4	0,5	1,1	10 (39. BImSchV)
NO (µg m ⁻³) Tagesmittel	11,8	14,6	50	92,6	500 (MIK-Wert nach VDI 2310)
NO ₂ (µg m ⁻³) Einstundenwert	84,4	98,4	113,8	105,5	200 (bei 18 zulässigen Überschreitungen pro Jahr nach 39. BImSchV)
PM ₁₀ (µg m ⁻³) Tagesmittel	33	20,4	31,8	108,5	50 (bei 35 zulässigen Überschreitungen pro Jahr nach 39. BImSchV)
Indexwert	0	0	0	1	

* Messzeiträume: Sternschule 22.06.2010 11:00 – 23.06.2010 23:00 MEZ
 Schloß Horst 19.07.2010 23:00 – 20.07.2010 23:00 MEZ
 Resse 21.09.2010 23:00 – 22.09.2010 23:00 MEZ
 Buer 31.01.2011 17:00 – 01.02.2011 20:00 MEZ

In Karte 15 (S. 117) wird die räumliche Verteilung des Immissionsindexes innerhalb des Gelsenkirchener Stadtgebietes anhand der Streckenabschnitte der lufthygienischen Messfahrten sowie für die Standorte der lufthygienischen Standmessungen dargestellt.

Daraus geht hervor, dass Streckenabschnitte mit einem Immissionsindex größer 0, also mit mindestens einer Überschreitung des 90-Perzentils der Komponenten CO, NO, NO₂ und PM₁₀, hauptsächlich entlang vielbefahrener Straßen auftreten. Dies wird zudem durch Abbildung A12 deutlich, in der die prozentualen Anteile der jeweiligen Indexwerte für jeden Straßentyp wiedergegeben werden. Demnach weisen die Streckenabschnitte entlang der Bundesautobahnen 2 und 42 zu 84,6 % und entlang der Bundesstraße 224 zu 83,3 % mindestens einen Immissionsindex von 1 auf, während dieser Anteil bezogen auf die Nebenstraßen in Wohngebieten und dem städtischen Umland bei lediglich 8,8 % bzw. 5,0 % liegt.

Besonders ungünstige lufthygienische Verhältnisse mit einem Immissionsindex von 3 und 4 wurden lediglich für 6 der 203 Streckenabschnitte (3 %) vergeben (s. Karte 15). Nur ein Streckenabschnitt entlang der BAB 42 (östlich der Anschlussstelle 15 Gelsenkirchen-Heßler) zeigte für alle vier betrachteten Komponenten eine Überschreitung des 90 %-Wertes auf. Die Abschnitte entlang der Hölscher- und Breddestraße in Buer zeigen sich mit einem Immissionsindex von 3 ebenfalls erhöht. Die Ursache für die ungünstige lufthygienische Situation in diesem Bereich ist vermutlich einerseits in eingeschränkten Austauschbedingungen aufgrund hoher Randbebauung zu sehen und andererseits sorgen zwei Ampelanlagen der angrenzenden Kreuzungsbereiche dieser Straßenzüge temporär für eine höhere Verweilzeit der Kraftfahrzeuge im Straßenraum. Eine Anhäufung von Ampelanlagen und ein erhöhtes durchschnittliches tägliches Verkehrsaufkommen (DTV) von etwa 27.100 Kraftfahrzeugen ist zudem die Ursache für die ungünstige lufthygienische Situation entlang der Florastraße auf Höhe des Musiktheaters in Gelsenkirchen-Altstadt. Die beiden weiteren Streckenabschnitte mit einem Immissionsindex von 3 (entlang der Bismarckstraße und der Willy-Brandt-Allee) sind vermutlich wiederum auf schlechte Austauschverhältnisse aufgrund der Umgebungseigenschaften (enge Straßenschlucht bzw. dichte Baumbepflanzung) zurückzuführen.

Weite Teile des Stadtgebietes von Gelsenkirchen zeichnen sich allerdings durch günstige lufthygienische Verhältnisse aus. So wurden insbesondere in den Bereichen Löchterheide - Eckeresse - Resse, Sutumer Feld - Beckhausen - Horst, dem Waldgebiet Resser Mark und dem Revierpark Nienhausen sowie in weiten Teilen der südlichen Stadteile Rotthausen und Ückendorf keinerlei Überschreitungen der 90-Perzentile für die betrachteten Spurenstoffe CO, NO, und NO₂ sowie der Partikel PM₁₀ erreicht.

Die vier durchgeführten lufthygienischen Standmessungen weisen insgesamt sehr geringe Immissionsindex-Werte auf, welche auf günstige lufthygienische Verhältnisse schließen lassen. Lediglich während der Standmessung in Buer konnte, aufgrund der in Kapitel 5.7.4 erläuterten großräumig erhöhten PM₁₀-Konzentrationen, eine Überschreitung des nach 39. BImSchV geltenden PM₁₀-Tagesmittelwertes von 50 µg m⁻³ festgestellt werden. Für die betrachteten Grenz- und Richtwerte der Spurenstoffe CO, NO und NO₂ waren hingegen keinerlei Überschreitungen zu verzeichnen (vgl. Tab. 26). Allerdings wurde die laut VDI 2310 Bl. 12 (VDI 2004b) für NO₂ empfohlene maximale Immissionskonzentration (MIK) von 50 µg m⁻³ im Tagesmittel, welche zur Berechnung des Immissionsindex keine Berücksichtigung fand, an den Standorten Horst (51,8 µg m⁻³), Resse (55,4 µg m⁻³) und Buer (83,8 µg m⁻³) überschritten.

Zudem kam es während der in den Sommermonaten Juni und Juli durchgeführten lufthygienischen Standmessungen an den Standorten Sternschule und Schloß Horst zu erhöhten O₃-Konzentrationen. Während an beiden Standorten die empfohlene maximale Immissionskonzentration (MIK) von 120 µg m⁻³ im Halbstundenwert (nach VDI 2310 Bl. 15) mit einem Maximum von 124,2 µg m⁻³ (Sternschule) bzw. 157,6 µg m⁻³ (Schloß Horst) innerhalb des Untersuchungszeitraums mehrfach überschritten wurde, lag am Standort Schloß Horst zudem der maximale Achtstundenwert mit 134,8 µg m⁻³ über dem nach 39. BImSchV geltenden Grenzwert (120 µg m⁻³). Die räumliche Verteilung der O₃-Konzentrationen anhand der lufthygienischen Messfahrten lässt vermuten, dass an diesen Tagen in den emissionsfernen Bereich des Stadtgebietes von Gelsenkirchen noch höhere O₃-Werte erreicht wurden. Das Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV NRW) stellt in seinem „Bericht über die Luftqualität im Jahre 2010“ heraus, dass die Überschreitungen des Informationswertes für empfindliche Personen (Einstundenwert von 180 µg m⁻³) nach 39. BImSchV an den 27 O₃-Messstationen in NRW sich auf lediglich 14 Tage in den Monaten Juni und Juli konzentrieren und auf die in diesem Zeitraum hochsommerliche Witterung zurückzuführen ist. Für die LUQS-Station in Gelsenkirchen-Bismarck (GELS) weist der LANUV-Fachbericht 33 im Jahr 2010 allerdings keine auffälligen Überschreitungen geltender Grenzwerte bezüglich der betrachteten Komponenten auf (LANUV 2011b).

Daher sind die lufthygienischen Verhältnisse im Stadtgebiet von Gelsenkirchen, insbesondere unter Berücksichtigung der Lage im größten Ballungsraum der Bundesrepublik Deutschlands, zusammenfassend als durchaus günstig zu bewerten. Die während der lufthygienischen Messfahrten und Standmessungen erhobenen Konzentrationen der Spurenstoffe und Partikelgrößenfraktionen wiesen zwar insgesamt in stärker frequentierten Verkehrsbereichen und Abschnitten mit eingeschränkten Austauschbedingungen höhere Werte auf, allerdings war das Immissionsniveau nur in Ausnahmefällen im Bereich der geltenden Grenz- und Richtwerte angesiedelt. Als Hauptbelastungsschwerpunkte konnten die Bundeautobahnen 2 und 42 sowie die Bundesstraße 224 herausgestellt werden. Ein signifikanter Unterschied zwischen den naturräumlichen Grenzen im Norden und Süden des Stadtgebietes sowie der Emscherniederung war im Rahmen dieser Untersuchungen nicht zu erkennen.

6 Die Stadt Gelsenkirchen im Zeichen des globalen Klimawandels

In diesem Kapitel sollen die Auswirkungen des globalen Klimawandels auf das Stadtgebiet von Gelsenkirchen erläutert werden. Zu diesem Zweck wird zunächst eine kurze Übersicht zum beobachteten und für die Zukunft projizierten globalen Klimawandel gegeben. Anschließend werden am Beispiel des Ruhrgebietes Untersuchungen und Modellergebnisse zu den Auswirkungen der weltweiten Klimaänderungen auf regionaler Ebene aufgezeigt, bevor die klimatischen Veränderungen der letzten vier Jahrzehnte in Gelsenkirchen anhand einer kontinuierlichen Messreihe der meteorologischen Parameter Lufttemperatur und Niederschlag am Max-Planck-Gymnasium (MPG) in Buer eingegangen wird. Darüber hinaus erfolgt ein Vergleich der Stationsdaten der Standorte Buer (Station 1) und Sutumer Feld (Station 4) bezogen auf die beiden Messzeiträume März 2010 bis Februar 2011 und November 1998 bis Oktober 1999 (Kuttler et al. 2000).

6.1 Globaler Klimawandel

Bereits seit Mitte des 18. Jahrhunderts ist ein Anstieg der global gemittelten Lufttemperatur zu verzeichnen. Dies wird auf die seit Beginn der Industrialisierung weltweit zunehmende anthropogene Emission von Treibhausgasen zurückgeführt (MUNLV 2010). So stieg etwa die Konzentration des wichtigsten anthropogenen Treibhausgases, Kohlendioxid (CO_2), in der Atmosphäre ausgehend von einem vorindustriellen Wert von 280 ppm bis zum Jahr 2009 (387 ppm) um 38 Prozent an (IPCC 2007, Kuttler 2011). Zudem zeigt die globale mittlere Konzentration weiterer anthropogener Treibhausgase wie Methan (CH_4) oder Distickstoffoxid (N_2O) ebenfalls einen deutlichen Anstieg seit Beginn der Industrialisierung (IPCC 2007). Als maßgebliche Quellen der für den anthropogenen Treibhauseffekt relevanten Spurenstoffe sind neben der Verbrennung fossiler Energieträger und den Landnutzungsänderungen (Zerstörung natürlicher Vegetation), unter anderem auch die intensive Land- und Viehwirtschaft (insbesondere die Rinderhaltung und der Reisanbau) sowie das Auftauen von Permafrostböden anzusehen (MUNLV 2010, Kuttler 2011).

Die Auswirkungen auf die globale mittlere Lufttemperatur weisen unter der Annahme eines linearen Trends für einen 100-jährigen Bezugszeitraum von 1906-2005 eine Erhöhung um 0,74 K auf (IPCC 2007). Dies allein scheint auf

den ersten Blick nicht besonders besorgniserregend, jedoch wirkt sich der globale Anstieg der Lufttemperatur in vielfältiger Weise auf die verschiedenen Subsysteme der Erde und deren Interaktionen aus. Beispielsweise hat der beobachtete Anstieg der mittleren Wassertemperatur der Ozeane eine Ausdehnung des Meerwassers zur Folge und resultiert somit in einem Anstieg des Meeresspiegels, welcher zudem durch die Gletscher- und Eiskappenschmelze intensiviert wird (IPCC 2007).

Der globale Klimawandel äußert sich jedoch nicht weltweit in identischem Ausmaß, sondern weist eine auf regionaler Ebene differenzierte Ausprägung in Abhängigkeit der geographischen Breite, der topographischen Lage sowie der Landnutzung etc. auf (MUNLV 2010). Beispielsweise stieg die mittlere arktische Lufttemperatur im letzten Jahrhundert um das Doppelte des globalen Mittels an. Ein Rückgang des arktischen Meereises und der flächenhaften Ausdehnung der Permafrostböden sind die Folge. Weitere beobachtete Auswirkungen des globalen Klimawandels stellen das erhöhte Auftreten intensiver und langer Dürreperioden in den Tropen und Subtropen, die Zunahme von Starkregenereignissen in den meisten Landregionen sowie eine Änderung im Auftreten von Extremtemperaturen seit Mitte des 20. Jahrhunderts dar (IPCC 2007).

Bei einer weiteren Emission anthropogener Treibhausgase ist auch künftig von einer Zunahme der mittleren globalen Lufttemperatur und einer Verschärfung der damit verbundenen Auswirkungen auf das System Erde auszugehen (MUNLV 2010). Um das Ausmaß des globalen Klimawandels abschätzen und gezielte Mitigations- und Adaptionstrategien entwickeln zu können, wird die zukünftige Klimaentwicklung vom Zwischenstaatlichen Ausschuss für Klimaänderungen (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) mit bis zu 23 verschiedenen globalen Klimamodellen simuliert, deren Ergebnisse zu Multimodell- bzw. Ensembleergebnissen zusammengefasst werden um den wahrscheinlichsten Wertebereich zu erzielen. Zudem werden den Simulationen unterschiedliche Emissionsszenarien unter Berücksichtigung verschiedener Zukunftsvisionen bezüglich der Weltwirtschafts- und Bevölkerungsentwicklung, sowie des Umweltschutzes und der globalen Energiepolitik zugrunde gelegt.

In Abbildung 45 werden die für die Zukunft simulierten Ensembleergebnisse der globalen Erderwärmung für einige Emissionsszenarien dargestellt. Das Szenario A1B, welches auf den Annahmen eines schnellen Wirtschaftswachstums, einer Bevölkerungszunahme bis Mitte dieses Jahrhunderts sowie einer schnellen Einführung neuer, effizienter Technologien und einer Mischform der Energienutzung mit sukzessivem Ersatz der fossilen durch regenerativen Energieträger, gilt als das wahrscheinlichste aller Szenarien (MUNLV 2010).

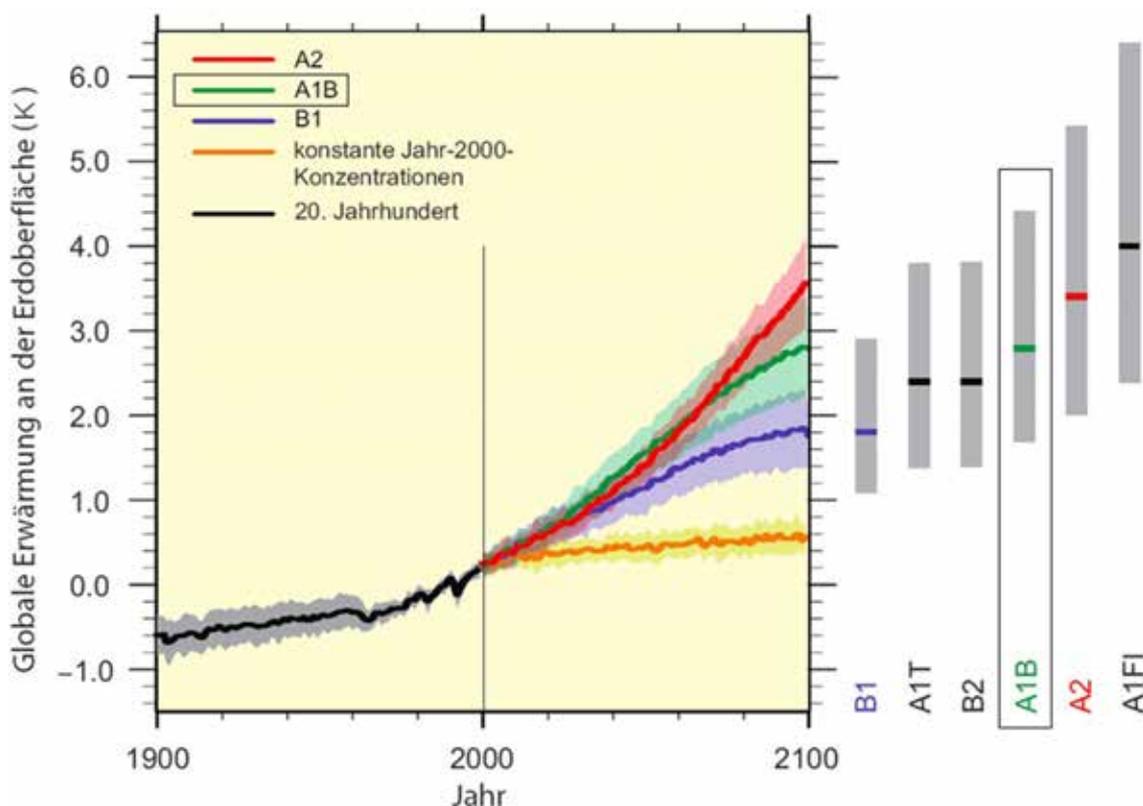


Abb. 45: Darstellung der simulierten globalen Erwärmung an der Erdoberfläche für verschiedene Szenarien im Vergleich zum Bezugszeitraum 1980-99 (durchgezogene Linien stellen den Ensemblemittelwert dar; Schattierungen repräsentieren die Spannweite der einzelnen Modellergebnisse) (verändert nach IPCC 2007)

Demnach wird die mittlere globale Lufttemperatur bis zum Ende des Jahrhunderts im Vergleich zum Bezugszeitraum 1980-1999 durchschnittlich um 2,8 K ansteigen. Die Spannweite der unterschiedlichen globalen Klimamodelle liegt dabei zwischen 1,7 und 4,4 K (IPCC 2007).

Entsprechend den beobachteten Klimaänderungen der letzten Dekaden, ergeben sich auch bezüglich der für das 21. Jahrhundert projizierten globalen Erwärmung deutliche regionale Unterschiede (vgl. Abb. 46). Insgesamt ist mit einer stärkeren Erwärmung über den Landflächen gegenüber den Ozeanen zu rechnen. Während die größten Anstiege in der Lufttemperatur für die hohen nördlichen Breitengrade zu verzeichnen sind, ist über der Südsee sowie Teilen des Nordatlantiks mit schwächeren Ausprägungen zu rechnen. Bezüglich der Niederschlagsentwicklung geht aus Abbildung 47 hervor, dass die Modelle im Mittel eine Erhöhung der Jahressummen in den hohen Breiten und geringere Niederschläge in den subtropischen Landregionen simulieren (IPCC 2007). Zudem wird ersichtlich, dass für die zukünftige Niederschlagsverteilung eine differenzierte Aussage über die Entwicklungen in den verschiedenen Jahreszeiten getroffen werden muss. So ist im Szenario A1B für den mitteleuropäischen Raum eine prozentuale Zunahme der Winter- und eine Abnahme der Sommerniederschläge simuliert worden.

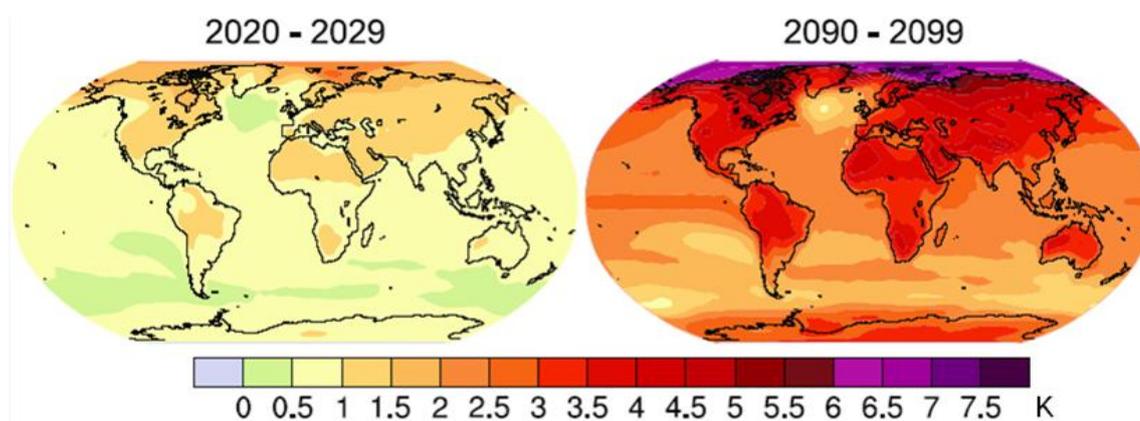


Abb. 46: Globale Projektion der Veränderung der Erdoberflächentemperatur für das frühe und späte 21. Jahrhundert im Vergleich zum Bezugszeitraum 1980-99 (verändert nach IPCC 2007)

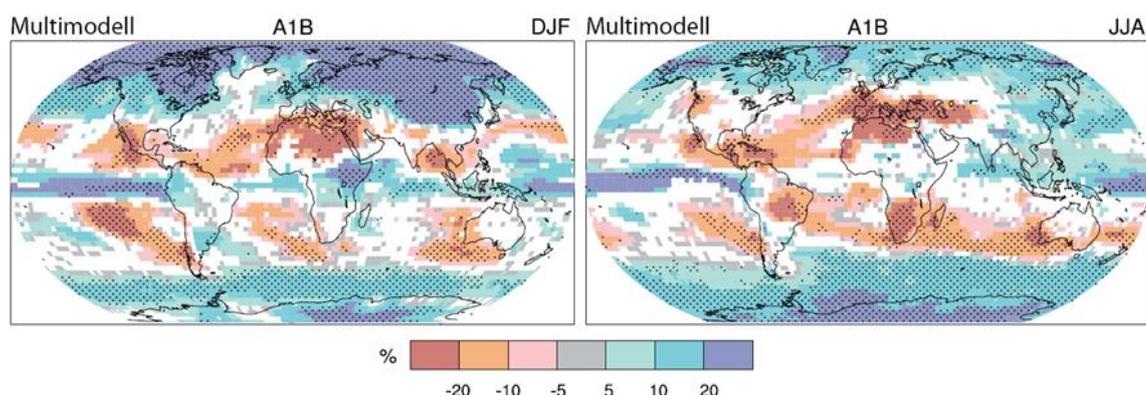


Abb. 47: Simulierte relative Veränderung der globalen Niederschlagssummen für die letzte Dekade des 21. Jahrhunderts (2090-99) im Vergleich zum Bezugszeitraum 1980-99 differenziert nach Sommer- und Wintermonaten

Insgesamt ist unter anderem von einem weiteren Rückgang der Schneebedeckung, der Permafrostgebiete und des Meereises in Arktis sowie Antarktis, einem daraus resultierenden andauernden Meeresspiegelanstieg, einer ebenso weiteren Zunahme von Hitzewelle, heißen Extremtemperaturen und Starkregenereignissen sowie einer Intensivierung der tropischen Zyklone auszugehen (IPCC 2007).

6.2 Auswirkungen des globalen Klimawandels auf das Ruhrgebiet

Auch in Europas größter Metropolregion, dem Ruhrgebiet, ist eine Veränderung der klimatischen Verhältnisse seit Ende des 19. Jahrhunderts zu beobachten. So stieg etwa das durchschnittliche Jahresmittel der Lufttemperatur, bezogen auf die mittlere Situation des gesamten Stationskollektivs des Deutschen Wetterdienstes (DWD) in Nordrhein-Westfalen (NRW) unter Annahme eines linearen Temperaturtrends innerhalb des letzten Jahrhunderts um 1 K an. Die beobachtete Temperaturerhöhung in NRW liegt somit oberhalb des globalen Mittels von 0,74 K pro 100 Jahre (Kuttler 2011, IPCC 2007). Zudem ist

seit 1980 eine stärkere Zunahme gegenüber den vorherigen Dekaden festzustellen. Eine Tendenz zu höheren Temperaturen ist dabei in jedem Monat des Jahres erkennbar, weist jedoch in den Herbstmonaten die stärkste Ausprägung auf. Des Weiteren ist für das NRW-Gebietsmittel der Jahresniederschlagssummen ebenfalls ein Anstieg zu verzeichnen, welcher nach linearem Trend etwa 100 mm pro 100 Jahre beträgt. Ähnlich dem Temperaturniveau ist auch bezüglich der Niederschläge seit 1980, aufgrund des erhöhten Auftretens von Jahresniederschlagssummen über 1000 mm, ein stärkerer Anstieg als zuvor zu beobachten. Zusammenfassend ist daher eine Entwicklung zu einem wärmeren und feuchteren Klima in NRW und somit auch im Ruhrgebiet erkennbar (Kuttler 2011).

Um eine differenzierte Abschätzung der zukünftigen Entwicklung des Klimas und deren Auswirkungen innerhalb einer Region wie dem Ruhrgebiet zu erlangen, sind die globalen Klimamodelle mit ihrer räumlichen Auflösung von 100-200 km nicht hinreichend genau. Zu diesem Zweck steht eine Vielzahl regionaler Klimamodelle zur Verfügung, die ebenso auf Grundlage der vom IPCC ausgewiesenen Emissionsszenarien basieren (MUNLV 2010). In Abbildung 48 und 49 werden die flächenhaften Ausprägungen des Klimawandels im Ruhrgebiet auf die Jahresmitteltemperaturen und -niederschlagssummen anhand eines Dekadenvergleichs der Zeiträume 1991-2000 und 2051-2060 für vier verschiedene regionale Klimamodelle (CLM, REMO 10, STAR II, WETTREG) basierend auf dem Emissionsszenario A1B dargestellt.

Demzufolge wird die Lufttemperatur im Ruhrgebiet bis Mitte dieses Jahrhunderts um 1,5 bis 2,1 K gegenüber der letzten Dekade des vergangenen Jahrhunderts ansteigen. Um den Folgen des Klimawandels auf regionaler und lokaler Ebene zu entgegnen ist die Kenntnis von Veränderungen der Jahresmitteltemperaturen allein nicht ausreichend. Insbesondere aufgrund der vom IPCC prognostizierten Verschärfung von Extremereignissen kommt den sommerlichen Maximumtemperaturen und der Entwicklung des Auftretens sommerlicher klimatischer Ereignistage eine besondere Bedeutung in Hinblick auf die thermische Belastung der Bevölkerung zu. Während die Variabilität zwischen den regionalen Modellen bezüglich des simulierten Anstiegs sommerlicher Höchsttemperaturen eine Spannweite von 1,1 K bis 2,7 K (ohne Darstellung) aufweist, ist künftig insgesamt von einem erhöhten Auftreten sommerlicher Ereignistage auszugehen. So wird sich etwa die Anzahl heißer Tage ($T_{\max} > 30$ °C) von derzeit 6 auf künftig 12 Tage verdoppeln (Kuttler 2010b, MUNLV 2010). Starkregenereignissen werden im Ruhrgebiet in Zukunft ebenfalls häufiger auftreten. Bezüglich der Jahresniederschlagssummen geht aus Abbildung 49 hervor, dass alle Modelle einen relativen Anstieg bis Mitte des Jahrhunderts

simulieren, die Erhöhung der Jahresniederschläge zwischen den Modellen aber von 0,9-12,4 % (REMO 10) bis 12,7-36 % (CLM) schwankt. Deutlichere Unterschiede zwischen den Modellen ergeben sich bei der Projektion der saisonalen Niederschlagsverteilung für die Sommer- und Wintermonate. Während WETTREG für das gesamte Ruhrgebiet eine Abnahme der sommerlichen Niederschläge von bis zu 21 % simuliert, weisen diese laut der Modelle CLM und REMO 10 einen Anstieg von bis 23 % auf. Ein nahezu inverses Bild ergibt sich bezüglich der projizierten Niederschlagsveränderung der Wintermonate (ohne Darstellung). Somit ist eine gesicherte Aussage über zukünftige Niederschlagstrends im Ruhrgebiet lediglich für die Jahressummen möglich. Bezüglich der Jahreszeitenverteilung sind die modellübergreifenden Differenzen hingegen zu groß (MUNLV 2010).

Im Folgenden soll untersucht werden, ob und wenn mit welcher Intensität sich der globale Klimawandel auf die klimatischen Verhältnisse der letzten vier Jahrzehnten in Gelsenkirchen ausgewirkt hat.

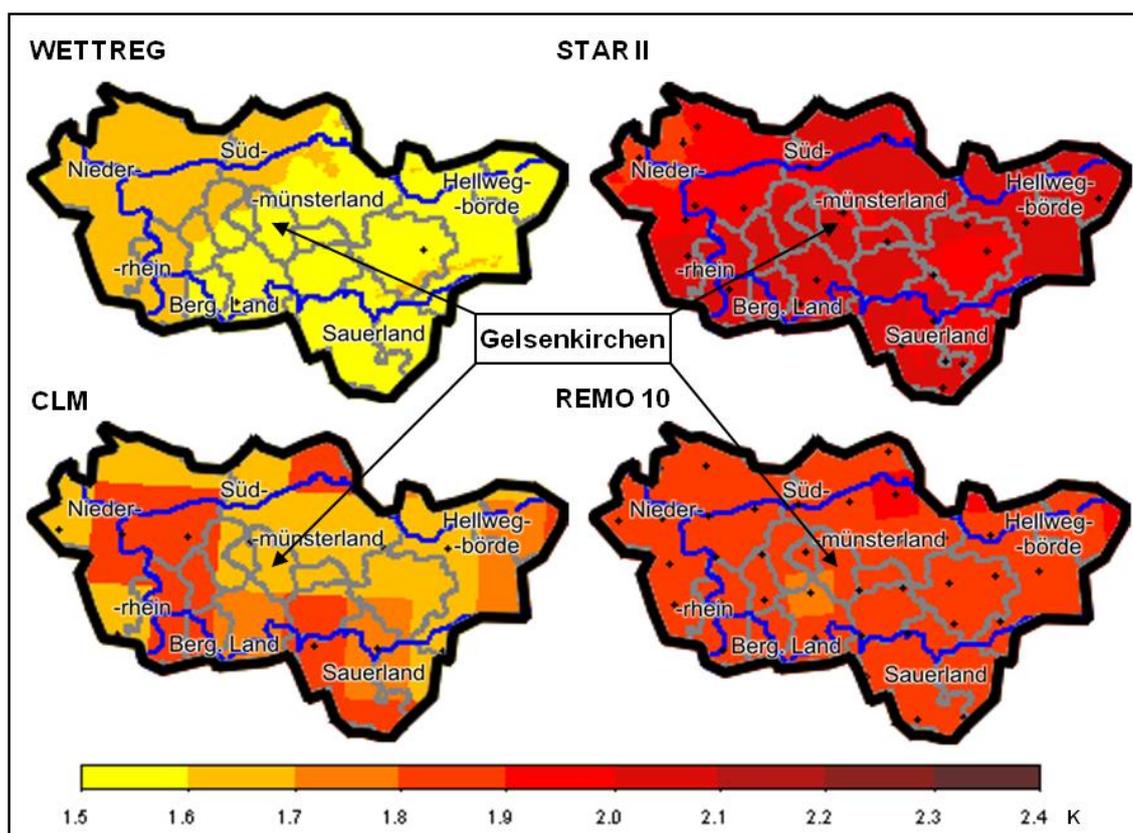


Abb. 48: Differenz der Jahresmitteltemperaturen im Ruhrgebiet zwischen den Dekaden 1991-2000 und 2051-2060 von vier verschiedenen regionalen Klimamodellen basierend auf dem Emissionsszenario A1B des IPCC (verändert nach MUNLV 2010)

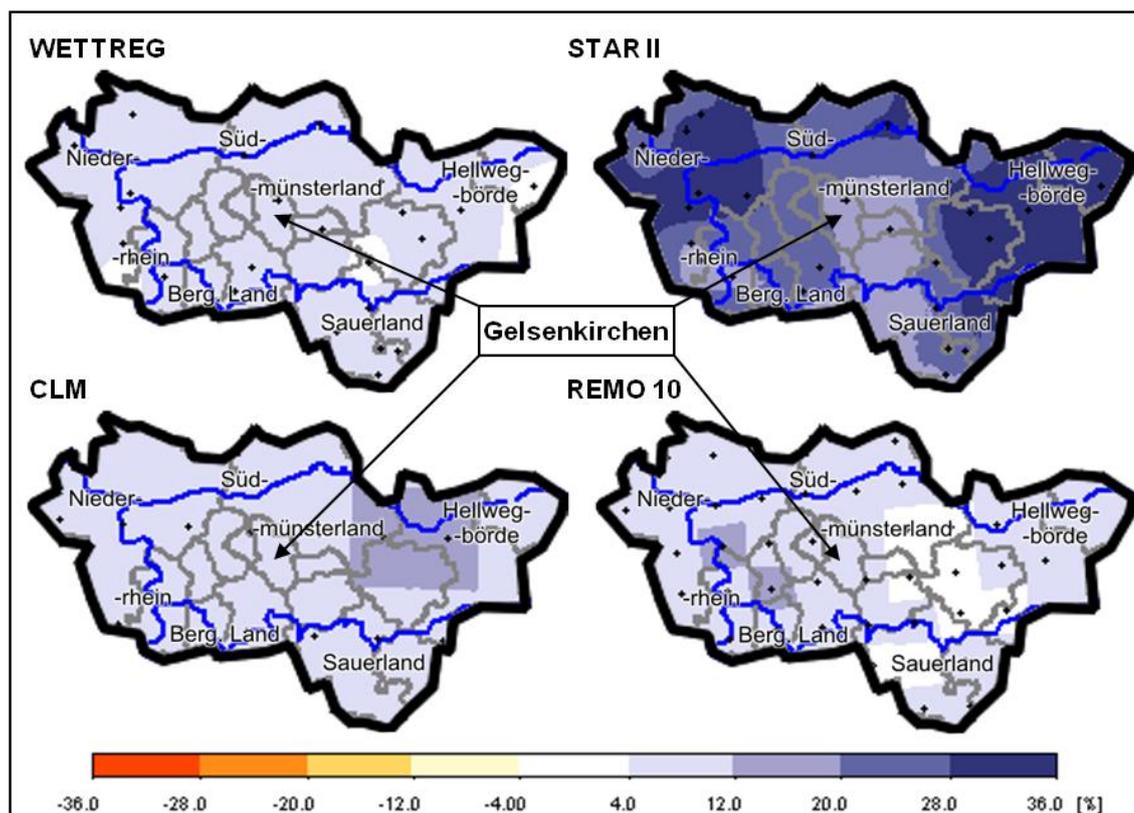


Abb. 49: Prozentuale Differenz der Jahresniederschlagssummen im Ruhrgebiet zwischen den Dekaden 1991-2000 und 2051-2060 von verschiedenen regionalen Klimamodellen basierend auf dem Emissionsszenario A1B des IPCC (verändert nach MUNLV 2010)

6.3 Beobachtungen zum Klimawandel in Gelsenkirchen

Zur Auswertung potentieller Klimaveränderungen in Gelsenkirchen kann auf eine 43-jährige homogene Messreihe zurückgegriffen werden. Bereits seit 1968 wird im Innenhof des Max-Planck-Gymnasiums in Buer eine Wetterstation betrieben (s. Karte 1, S. 18), die kontinuierliche Daten der meteorologischen Parameter Lufttemperatur und Niederschlag liefert. Lediglich im Jahre 2000 weist der in Form von Monatsmittelwerten bzw. -summen vorliegende Datensatz eine Lücke von einigen Monaten bezüglich der Lufttemperatur auf.

Bevor auf die Klimaentwicklung in Gelsenkirchen eingegangen wird, liefert Abbildung 50 zunächst eine Übersicht der mittleren klimatischen Verhältnisse innerhalb des Untersuchungszeitraums von 1968-2010. Bei einer durchschnittlichen Jahresmitteltemperatur von 10,5 °C weist der mittlere Jahresgang ein für die mittleren Breiten typisches Verlauf der Lufttemperatur mit einem Maximum im Juli (19,1 °C) und einem Minimum im Januar (2,6°C) auf. Die mittlere Jahresniederschlagssumme liegt bezogen auf die 43-jährige Messperiode bei 769 mm. Die durchschnittliche Verteilung der Niederschläge zeichnet sich durch ein ebenfalls typisches Sommermaximum mit einem mittleren Monatsnieder-

schlag von 75,7 bzw. 72,2 mm in den Monaten Juli und August und einem sekundären winterlichen Maximum von 70,8 mm im Dezember aus. Die geringsten monatlichen Niederschlagssummen werden durchschnittlich im Frühjahrsmonat April (44,4 mm) verzeichnet.

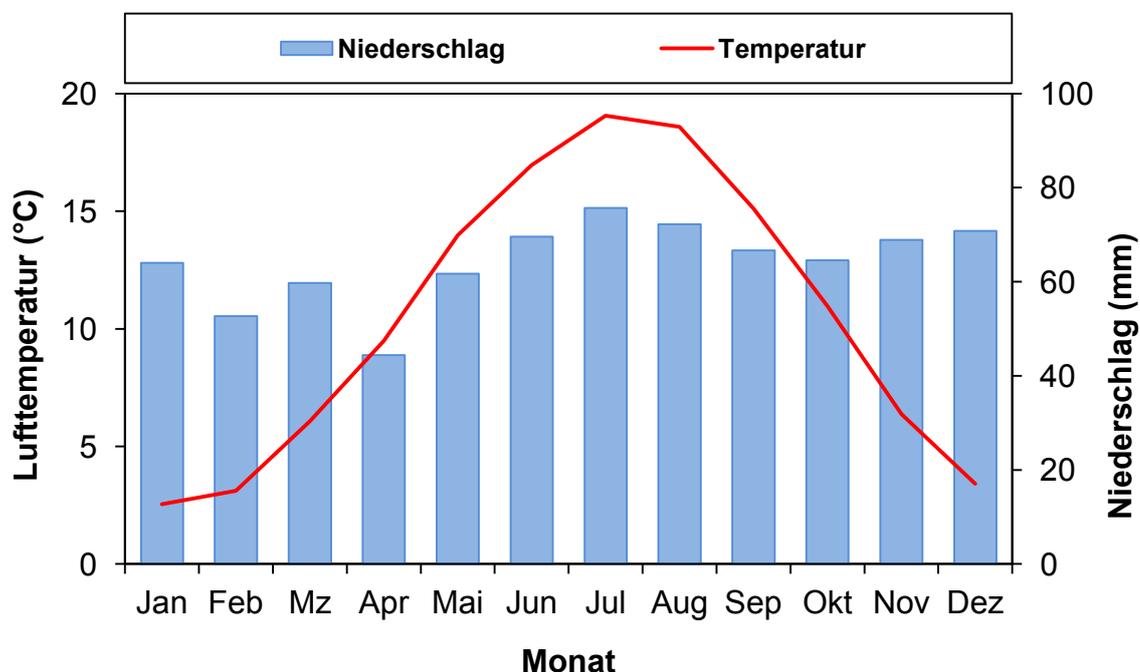


Abb. 50: Mittlere Verhältnisse der Monatsmitteltemperaturen und –niederschlagssummen an der Wetterstation Max-Planck-Gymnasium in Buer bezogen auf den Zeitraum 1968-2010

In Abbildung 51 wird die Entwicklung der Jahresmitteltemperaturen und Jahresniederschlagssummen an der Wetterstation Max-Planck-Gymnasium in Buer während der letzten 43 Jahre dargestellt. Demnach wies das Jahr 2006 mit 12,7°C die höchste Jahresmitteltemperatur der Messperiode auf. Seitdem ist jedoch ein kontinuierlicher Rückgang der Temperaturen zu beobachten, so dass das vergangene Jahr 2010 mit einer Jahresmitteltemperatur von 8,3 °C das kälteste Jahr seit Beginn der Messung am Max-Planck-Gymnasium darstellt. Die Spannweite der gemessenen Jahresniederschlagssummen reicht von 544,2 mm (1976) bis 1015,1 mm (2007).

Die linearen Trends der beiden Zeitreihen lassen sowohl für die Jahresmitteltemperatur als auch für die Jahresniederschlagssummen einen leichten Anstieg erkennen, was tendenziell mit den Beobachtungen auf regionaler und globaler Ebene übereinstimmt. Unter Berücksichtigung dieses linearen Trends hat sich die durchschnittliche Temperatur seit Beginn der Messung von 9,9 °C auf 10,9 °C um 1 K erhöht, was einer Zunahme von 2,3 K pro 100 Jahre entspricht. Der beobachtete lineare Temperaturtrend im Gebietsmittel für NRW beträgt hingegen nur 1 K pro 100 Jahre (vgl. Kap. 6.2). Unter der Annahme einer weiterhin linearen Temperaturerhöhung dieses Ausmaßes würde das durchschnittliche Jahresmittel der Lufttemperatur in Gelsenkirchen im Jahre 2100

13,2 °C betragen und sich damit um 3,3 K erhöht gegenüber dem Ausgangsniveau Ende der 1960'er Jahre darstellen.

Bezüglich der Niederschlagsentwicklung weist der lineare Trend einen Anstieg der Jahressummen in Gelsenkirchen von 61,7 mm innerhalb der letzten 43 Jahre auf. Dies entspricht einem linearen Anstieg von 143 mm pro 100 Jahre und liegt damit ebenfalls über dem für die Gesamtfläche von NRW gemittelten Anstieg (100 mm pro 100 Jahre). Der Anstieg der Jahresniederschläge in Gelsenkirchen ist allerdings nicht, wie im Mittel für NRW beobachtet, auf eine erhöhte Anzahl von Jahren mit Niederschlagssummen größer 1.000 mm seit 1980 zurückzuführen, sondern zeichnet sich durch ein geringeres Auftreten relativ trockener Jahre mit Niederschlagssummen kleiner 600 mm aus. Folgt man dem linearen Trend steigen die Jahresniederschlagssummen in Gelsenkirchen bis Ende des 21. Jahrhunderts gegenüber den Anfängen der Messperiode um 194 mm auf durchschnittlich etwa 932 mm an.

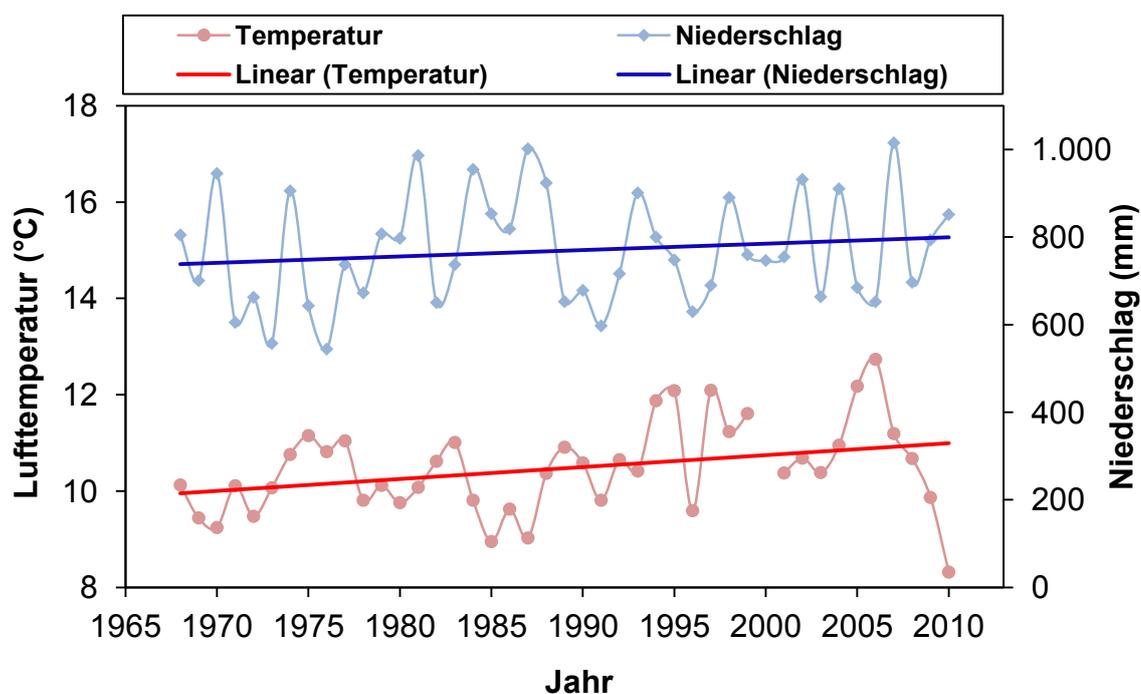


Abb. 51: Entwicklung der Jahresmitteltemperaturen und –niederschlagssummen sowie deren lineare Trends an der Wetterstation Max-Planck-Gymnasium in Buer für den Zeitraum 1968-2010

Die beschriebenen Entwicklungen der Jahresmitteltemperaturen und Jahresniederschlagssummen zeigen zudem unterschiedliche Ausprägungen differenziert nach den Jahreszeiten (s. Abb. 52 und 53). Hingegen den oben angeführten Beobachtungen für NRW, weist der Herbst in Gelsenkirchen mit lediglich 0,4 K den geringsten linearen Anstieg der Lufttemperatur innerhalb der letzten 43 Jahre auf. Demgegenüber stehen Sommer und Frühjahr in denen sich die Lufttemperaturen in Buer seit 1968 dem linearen Trend folgend um 1,7 K bzw. 1,8 K erhöht haben.

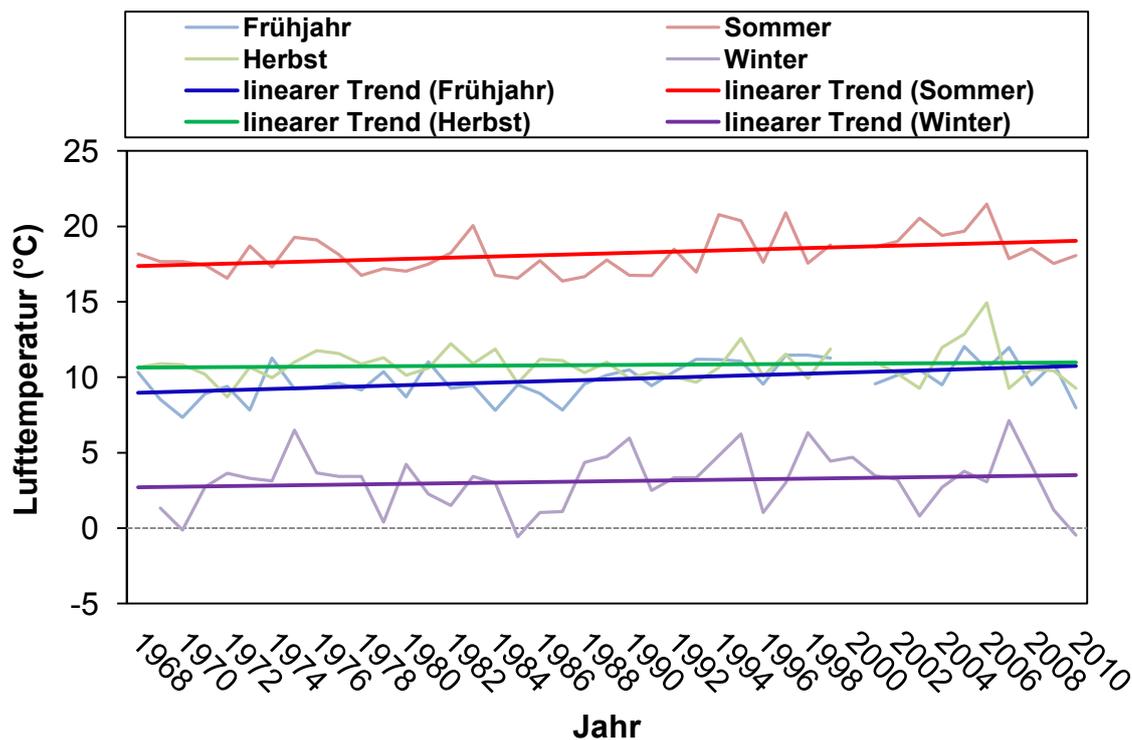


Abb. 52: Nach Jahreszeiten differenzierte Entwicklung der mittleren Lufttemperatur sowie deren lineare Trends an der Wetterstation Max-Planck-Gymnasium in Buer für den Zeitraum 1968-2010

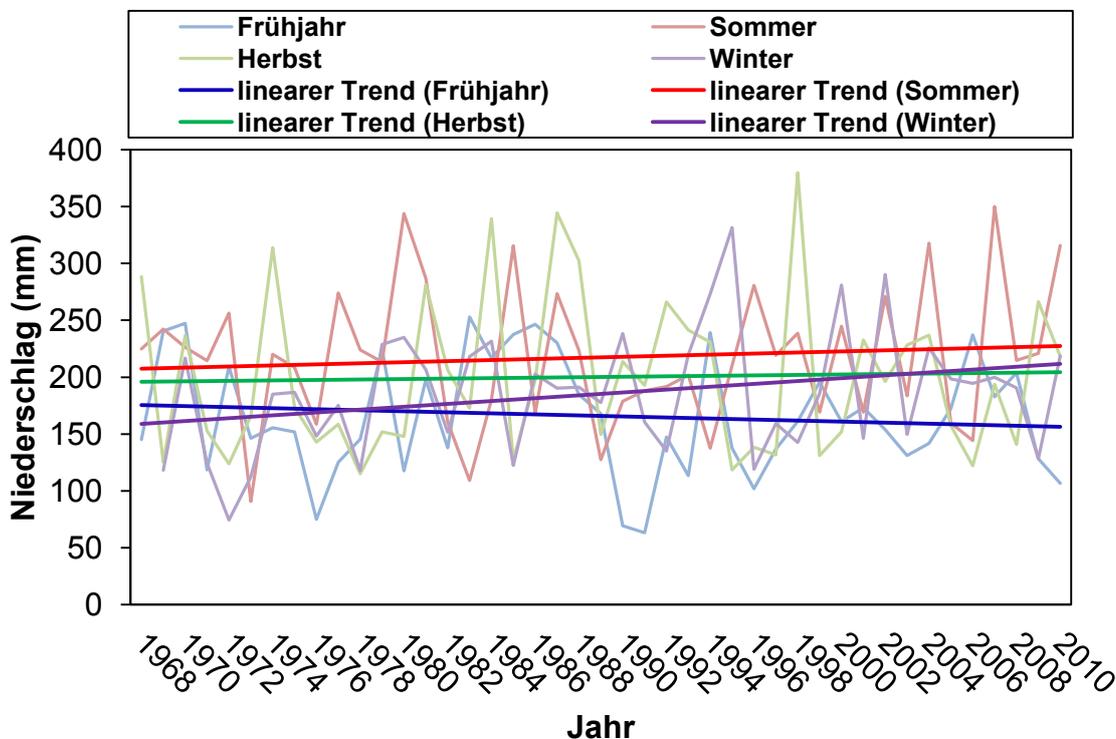


Abb. 53: Nach Jahreszeiten differenzierte Entwicklung der mittleren Niederschlagssumme sowie deren lineare Trends an der Wetterstation Max-Planck-Gymnasium in Buer für den Zeitraum 1968-2010

Bezüglich der Niederschlagssummen zeigt sich eine tendenzielle Übereinstimmung der Zunahme von Winterniederschlägen zwischen den Beobachtungen in Gelsenkirchen und dem Gebietsmittel für NRW. Seit Beginn der Messung am MPG sind die Niederschlagssummen in den Wintermonaten linear um 54 mm angestiegen. Allerdings ist in den Sommermonaten ebenfalls ein linearer Anstieg von 20,5 mm in den 43 Jahren zu verzeichnen. Lediglich das Frühjahr weist eine lineare Abnahme der Niederschlagssummen auf.

Abbildung 54 zeigt des Weiteren die durchschnittlichen monatlichen Veränderungen der Lufttemperatur- und Niederschlagsverhältnisse anhand eines Vergleiches der letzten (2001-10) zur ersten (1971-80) vollständigen Dekade des Messzeitraums 1968-2010 am Max-Planck-Gymnasium in Gelsenkirchen-Buer. Demnach wiesen die Monate April bis November des letzten Jahrzehnts (2001-10) gegenüber der Vergleichsperiode 1971-80 durchgängig höhere Lufttemperaturen auf, die sich in den Monaten April, Juni und Juli mit Veränderungen von 1,5 bis 2,0 K besonders ausgeprägt darstellen. Geringere durchschnittliche Lufttemperaturen konnten hingegen in den Monaten Dezember bis März festgestellt werden. Insbesondere der Dezember wies in den Jahren 2001-10 durchschnittlich um 2,1 K geringere Lufttemperaturen auf als in der Vergleichsperiode 1971-80.

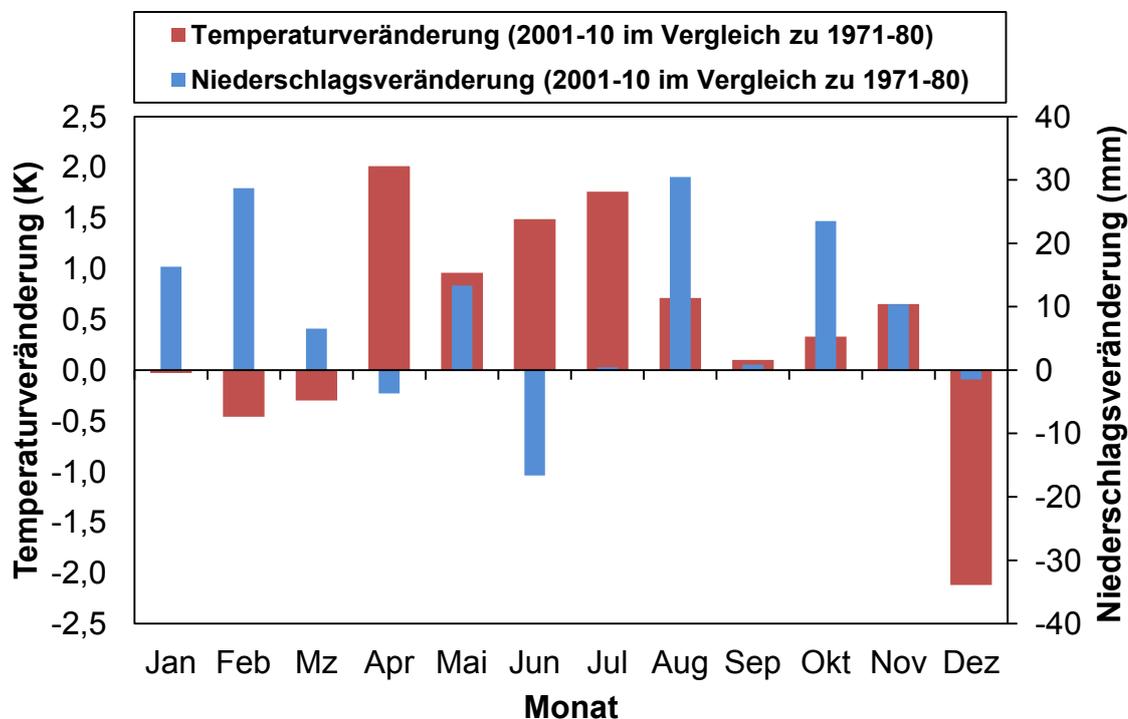


Abb. 54: Temperatur- und Niederschlagsveränderung im Vergleich der letzten (2001-10) zur ersten (1971-80) vollständigen Dekade des Untersuchungszeitraums 1968-2010 an der Wetterstation Max-Planck-Gymnasium in Buer

Bezüglich der Niederschlagsverhältnisse zeigt sich im Dekadenvergleich ein weitaus differenzierteres Bild. Eine deutliche Erhöhung der mittleren monatlichen Niederschlagssummen innerhalb der letzten Dekade (2001-10) zeigt sich gegenüber der Vergleichsperiode (1971-80) neben den Wintermonaten Januar (16,3 mm) und Februar (28,7 mm) insbesondere im August (30,5 mm) und Oktober (23,5 mm). Wesentlich geringere Niederschlagssummen waren im Durchschnitt hingegen im Sommermonat Juni (-16,6 mm) zu verzeichnen.

Abschließend sollen die Lufttemperaturverhältnisse in Gelsenkirchen anhand der Klimafeststationen Buer (Station 1) und Sutumer Feld (Station 4) für die beiden Untersuchungszeiträume dieser und der aus dem Jahre 2000 vorliegenden Gesamtstädtischen Klimaanalysen Gelsenkirchen (Kuttler et al. 2000) verglichen werden (Abb. A13). Aufgrund des besonders kalten Jahres 2010 (vgl. Abb. 51) stellte sich der Untersuchungszeitraum 1998/99 insgesamt wärmer dar als die Messperiode 2010/11. Diese wies jedoch eine größere Amplitude im Jahresgang auf und zeichnet sich an beiden Stationen durch höhere Lufttemperaturen in den Sommermonaten Juni und Juli sowie geringeren monatlichen Mitteltemperaturen in den Wintermonaten Dezember und Januar aus. Zudem stellt sich der Untersuchungszeitraum 1998/99 in den Monaten Mai und September deutlich wärmer dar. Die interstationären Differenzen im Stadt-Umland-Gefüge zwischen den beiden Standorten Buer (Station 1) und Sutumer Feld (Station 4) weisen keine Auffälligkeiten auf. Während in der Messperiode 1998/99 die Station Buer (Station 1) im Mittel um 0,5 K wärmer war als die Station Sutumer Feld (Station 4), betrug dieser Wert in der Messperiode 2010/11 0,4 K.

Insgesamt konnte aufgezeigt werden, dass auch in Gelsenkirchen eine Entwicklung zu einem wärmeren und feuchteren Klima innerhalb der letzten 43 Jahre erkennbar ist und sich die Ausprägung dieser Klimaveränderungen stärker darstellen als im regionalen oder globalen Mittel. Allgemein ist daher davon auszugehen, dass Städte aufgrund der sich infolge hoher Bevölkerungsdichte und Oberflächenversiegelung, geringer Grünflächenanteile sowie erhöhter Luftverschmutzung etc. gegenüber dem Umland einstellenden klimatischen Defizite in besonderem Maße vom Klimawandel betroffen sind und künftig sein werden (Kuttler 2010b).

Um den Auswirkungen dieser Klimaveränderungen zu entgegnen wurden mit der Synthetischen Klimafunktionskarte und der Planungshinweiskarte zum einen eine Übersicht der klimatischen und lufthygienischen Verhältnisse in Gelsenkirchen erstellt und zum anderen Planungshinweise zur Verbesserung bzw. Sicherung der klimatischen und lufthygienischen Situation ausgewiesen, welche nachfolgend im Einzelnen vorgestellt werden.

7 Synthetische Klimafunktionskarte

Die Synthetische Klimafunktionskarte stellt eine bewertende, flächenhafte Übersicht der klimatischen und lufthygienischen Verhältnisse im Stadtgebiet von Gelsenkirchen dar und repräsentiert eine Aktualisierung der aus dem Jahre 2000 vorliegenden Synthetischen Klimafunktionskarte (Kuttler et al. 2000).

Dabei beruht die klimatische und lufthygienische Differenzierung des Untersuchungsgebietes in erster Linie auf der Topographie und aktuellen Flächennutzung in Gelsenkirchen unter Berücksichtigung der Ergebnisse der im Rahmen dieser Gesamtstädtischen Klimaanalyse Gelsenkirchen im Zeitraum vom 01.03.2010 bis 28.02.2011 durchgeführten stationären und mobilen Messkampagnen. Zudem wurden die Ergebnisse der Gesamtstädtischen Klimaanalyse Gelsenkirchen aus dem Jahre 2000 (Kuttler et al. 2000) sowie der klimatologischen Teilgutachten der Untersuchungsflächen „Stadtquartier Bismarck“ und „Schalker Verein“ (Kuttler et al. 2003), „Chemische Schalke“ (Kuttler et al. 2005) und „Norderweiterung Chemiestandort Gelsenkirchen-Scholven“ (Kuttler et al. 2007b) anhand von Analogieschlussbetrachtung unter Berücksichtigung aktueller Flächennutzung auf ihre Gültigkeit hin überprüft und gegebenenfalls in die Synthetische Klimafunktionskarte integriert. In der ebenfalls bereitgestellten GIS-Datenstruktur ist hinterlegt auf welches der genannten Gutachten sich die einzelnen Signaturen beziehen.

Zur Erstellung der Synthetischen Klimafunktionskarte sowie der Planungshinweiskarte wurde die GIS-Software ArcGIS 9.3 der Firma ESRI verwendet. Die Karten sowie sämtliche Dateien wurden anschließend in das dem Auftraggeber vorliegende Format der Version ArcGIS 9.1 konvertiert. Die räumliche Darstellung bezieht sich dabei unter Einsatz der Universalen-Transversalen-Mercator-Projektion (UTM) auf das Europäische Terrestrische Referenzsystem 1989 (ETRS89). Als Kartengrundlage diente die vom Referat Umwelt der Stadt Gelsenkirchen in verschiedenen Maßstäben zur Verfügung gestellte Digitale Stadtkarte. Darüber hinaus lagen seitens des Auftraggebers ein Digitales Geländemodell (DGM) des Stadtgebietes mit einer Rasterauflösung von 10 m sowie die aktuelle Flächennutzung in Gelsenkirchen anhand des Regionalen Flächennutzungsplans der Städteregion Ruhr vor. Die Erstellung der Synthetischen Klimafunktionskarte sowie der Planungshinweiskarte erfolgte basierend auf der beschriebenen Datengrundlage in einem Bearbeitungsmaßstab von 1:20.000. Die diesem Bericht beigefügte Druckversion der erstellten Synthetischen Klimafunktionskarte entspricht aufgrund des Formates in DIN A3 einem Maßstab von 1:46.000.

Im Folgenden werden zunächst die unterschiedlichen Darstellungsebenen der Synthetischen Klimafunktionskarte (Karte 16) näher erläutert und anschließend auf die klimatisch-lufthygienische Gliederung des Stadtgebietes von Gelsenkirchen in der Synthetischen Klimafunktionskarte eingegangen.

7.1 Darstellungsebenen der Synthetischen Klimafunktionskarte

Die **erste Darstellungsebene** beinhaltet die flächenhafte klimatische und lufthygienische Differenzierung des Stadtgebietes von Gelsenkirchen anhand verschiedener Klimatope. Die einzelnen Klimatope umfassen Bereiche, die sich durch weitestgehend identische klimatische Ausprägungen und Immissions-situationen auszeichnen. Zudem weisen diese Bereiche ähnliche Flächen-nutzungs- und Bauungsstrukturen sowie Versiegelungsgrade, Grünflächen-anteile und Emittentengruppen auf. Die Grenzen der in der Synthetischen Klimafunktionskarte ausgewiesenen Klimatope sind hingegen der Darstellung nicht als flächenscharf zu betrachten, sondern unterliegen vielmehr ineinander-greifenden, fließenden Übergängen der entsprechenden Klimatopcharakte-ristika. Aus Gründen der Vergleichbarkeit mit dem ebenfalls durch das Referat Umwelt der Stadt Gelsenkirchen in Auftrag gegebene und im Rahmen der Erstellung eines Konzeptes zur städtebaulichen Anpassung an den Klima-wandel zu entwickelnde Stadtklimamanagement (Stufe II) erfolgte die Ausweisung der Klimatope in der aktualisierten Synthetischen Klimafunktions-karte in Anlehnung an die in der VDI-Richtlinie 3787 Bl. 1 (VDI 1997/2003) vorgeschlagenen Klimatope. Mit der Ausnahme, dass das nach VDI ausgewiesene Klimatop „Gartenstadt / Dorf“ im gegebenen Untersuchungs-maßstab (1:20.000) innerhalb der Stadtstrukturen von Gelsenkirchen nicht ausgewiesen werden konnte und somit keine Berücksichtigung findet. Des Weiteren wurde die differenzierte Ausweisung eines Haldenklimatops als Ruhrgebietsspezifikum mit in die Analyse aufgenommen.

In einer **zweiten Darstellungsebene** werden ausschließlich anhand von Mess-kampagnen (z.B. Tracergaskampagne) nachgewiesene klimatische Funktionen untersuchter Flächen innerhalb des Stadtgebietes aufgezeigt. Hierzu zählen insbesondere Kaltluftproduktions- und -sammelgebiete sowie Kaltluftflüsse und Luftleitbahnen. Wie bereits obenstehend beschrieben, wurden die Ergebnisse der Untersuchungen im Rahmen dieser Gesamtstädtischen Klimaanalyse nach eingehender Gültigkeitsprüfung um die Erkenntnisse aus bestehenden klima-tologischen Gutachten und Stellungnahmen der letzten Jahre ergänzt. Da im Rahmen dieses Gutachtens in Absprache mit dem Auftraggeber auf die

Untersuchung der Inversionshäufigkeit aufgrund unveränderter topographischer Verhältnisse verzichtet wurde, konnte die Ausweisung von Gebieten mit erhöhter Inversionsgefahr entsprechend der Gesamtstädtischen Klimaanalyse aus dem Jahre 2000 (Kuttler et al. 2000) übernommen werden. Demnach ist die Inversionshäufigkeit im gesamten Stadtgebiet infolge der relativ geringen Höhenunterschiede als annähernd identisch anzusehen. Allerdings konnte für die tiefst gelegenen Gebiete im Bereich der Emscherniederung eine etwas erhöhte Inversionsgefährdung festgestellt werden.

Den lufthygienischen Verhältnissen im Stadtgebiet von Gelsenkirchen wird in einer **dritten Darstellungsebene** durch das Aufgreifen des bereits in Kapitel 5.8.2 vorgestellten Immissionsindexrechnung getragen. In Form von Linien-signaturen werden jene Streckenabschnitte dargestellt, welche sich im Mittel der drei durchgeführten lufthygienischen Messfahrten durch vergleichsweise hohe Immissionskonzentrationen (Überschreitung des 90 %-Wertes, vgl. Kap. 5.8.2) der Spurenstoffe CO, NO, NO₂ und/oder der Partikel PM₁₀ als auffällig erwiesen.

7.1.1 Klimatope

Im Folgenden werden die typischen Charakteristika der zehn verschiedenen in der Synthetischen Klimafunktionskarte in Anlehnung an die VDI 3787 Bl. 1 (VDI 1997/2003) ausgewiesenen Klimatope im Einzelnen näher erläutert.

Stadtkernklima

Diesem Klimatop werden die am stärksten urban geprägten Bereiche des Untersuchungsgebietes zugeordnet, welche sich im Wesentlichen auf die Innenstadtbereiche der beiden Stadtkerne in Buer und Altstadt sowie deren angrenzenden Siedlungsbereiche konzentrieren. Diese Bereiche zeichnen sich im Allgemeinen durch einen sehr hohen Versiegelungsgrad und entsprechend geringen Grünflächenanteil aus. Die Vegetationsstruktur ist hauptsächlich auf Straßenbäume und Straßenbegleitgrün beschränkt. Kleinere Wiesen- und Rasenflächen treten nur sporadisch auf. Die hochverdichtete Bebauung mit Verwaltungs-, Geschäfts- und Wohngebäuden höherer Geschosshöhen weist häufig eine geschlossene Randstruktur auf, wodurch ein Straßenschluchtcharakter entsteht. Dieser zeichnet sich aufgrund stark eingeschränkter Austauschverhältnisse und verminderter nächtlicher Ausstrahlung (infolge von Mehrfachreflexion und Wärmespeicherung der Gebäude) durch eine sehr deutliche nächtliche Überwärmung gegenüber dem Umland aus. Bei entsprechend

hoher Verkehrsbelastung sind zudem erhöhte Spurenstoffkonzentrationen im Straßenraum zu erwarten. Neben dem Verkehr stellt der Hausbrand die entscheidende Emissionsquelle dar.

Klima verdichteter Stadtbebauung

Das Klimatop der verdichteten Stadtbebauung beinhaltet die an die Stadtkerne angrenzenden dicht besiedelten Bereiche, deren Struktur sich überwiegend aus 2- bis 5-geschossigen Wohnblocks und Blockbebauung zusammensetzt. Es herrscht weiterhin ein hoher Versiegelungsgrad vor, weshalb in diesen Bereichen der Anteil der Garten- und Freilandnutzung auf ein Minimum reduziert ist. Durch die gegebene Bauungsstruktur entstehen auch hier teilweise Straßenzüge mit schluchtartigem Charakter, was infolge eingeschränkter Austauschbedingungen vornehmlich entlang von Hauptverkehrsachsen zu erhöhten Spurenstoffkonzentrationen führen kann. Ebenfalls spielen die Hausbrandemissionen neben dem Verkehr eine entscheidende Rolle bezüglich der lufthygienischen Situation. Die insbesondere während windschwacher Strahlungsnächte auftretende städtische Überwärmung äußert sich in diesen Bereichen ebenfalls deutlich, zeigt gegenüber dem Stadtkernklimatop jedoch eine Verbesserung.

Stadtrandklima

Die Minderung des UHI-Effektes setzt sich in diesem Klimatop fort, so dass teilweise bereits Werte unterhalb des Gebietsmittels der Lufttemperaturmessungen auftreten. Das Stadtrandklima umfasst weite Bereiche im Übergang zwischen dem Freiland und den stark verdichteten Zentren. Bei mäßigem Versiegelungsgrad nimmt der Anteil der Garten- und Freilandnutzung innerhalb der Siedlungskörper mit zunehmender Entfernung von den Stadtkernen zu. Die Bauungsstruktur reicht von Einzelhäusern über Wohnblocks bis zur Blockbebauung. Vereinzelt kann es aber noch zur Bildung von Straßenschluchten kommen. Die Hauptemissionsquellen für Spurenstoffe bilden ebenfalls der Verkehr und der Hausbrand.

Klima der Industriegebiete

Dieses Klimatop kennzeichnet die klimatischen und lufthygienischen Verhältnisse im Bereich von Industriegebieten. Diese werden einerseits durch den infolge der industriellen Flächennutzung zumeist hohen Versiegelungsgrad geprägt. Andererseits bestimmen die Freisetzung von Abwärme sowie gas- und partikelförmiger Spurenstoffe die Ausprägung des Mikroklimas. Die lufthygie-

nische Belastung steht in starker Abhängigkeit zur Art der industriellen Nutzung und somit zur Emissionsstruktur. Industrie- und Kraftwerksschornsteine, produktionsbedingte Anlagen, diffuse Quellen sowie ein gesteigertes Aufkommen des Schwerlastverkehrs können die Hauptemissionsquellen darstellen.

Klima der Gewerbegebiete

Dieses Klimatop wird geprägt durch Gewerbebetriebe mit den dazugehörigen Produktions-, Lager- und Umschlagstätten und zeichnet sich ebenfalls durch einen i.d.R. hohen Versiegelungsgrad mit entsprechend geringem Grünflächenanteil aus. Die Emissionsstruktur, deren Hauptquellen Feuerungsanlagen sowie produktionsbedingte Anlagen und der Schwerlastverkehr darstellen können, ist wiederum stark abhängig von der Art der gewerblichen Nutzung.

Klima innerstädtischer Grünflächen

Größere innerstädtische Parks, Friedhöfe und Wiesenflächen zeichnen sich gegenüber der umliegenden Bebauung durch stärker ausgeprägte Tagesgänge der Lufttemperatur sowie Luftfeuchtigkeit und insbesondere geringeren Lufttemperaturen aus. Damit können sie als Kaltluftproduktionsfläche fungieren und bei entsprechender Vernetzung mit angrenzenden Siedlungskörpern eine klimameliorierende Wirkung ausüben, deren Reichweite zum einen in Abhängigkeit zur Flächengröße der Grünfläche steht und zum anderen durch die Beschaffenheit der Randstrukturen bestimmt wird. Immissionsbelastungen können bei schlechten Austauschverhältnissen, welche im Wesentlichen durch die Vegetationsstruktur bestimmt werden, lediglich durch Einträge des Verkehrs entlang angrenzender Straßen oder benachbarter Emittenten auftreten.

Freilandklima

Großräumige landwirtschaftliche Nutzflächen, Wiesen und Weiden stellen typische Flächennutzungsarten dieses ländlich geprägten Klimatops dar. Das Freilandklima wird bestimmt durch weitestgehend unversiegelte Flächen und einer aufgrund vornehmlich niedriger Vegetationsstruktur geringen Rauigkeit. Dadurch weisen diese Flächen allgemein gute Austauschverhältnisse und stark ausgeprägte Tagesgänge der Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit mit deutlich niedrigeren nächtlichen Temperaturen gegenüber den urban geprägten Bereichen auf. Freiflächen gelten daher generell als potentielle Kaltluftproduktionsgebiete. Erhöhte Konzentrationen atmosphärischer Spurenstoffe können lediglich an stark befahrenen, übergeordneten Straßen (Autobahnen, Bundesstraßen und Hauptverkehrsstraßen) auftreten.

Waldklima

Das Waldklima umfasst größere Wald- und Forstgebiete, die bei dichtem und hochwachsendem Bewuchs ein Bestandsklima mit gedämpften Tagesgängen der Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit sowie stark verminderten Windgeschwindigkeiten im Stammraum aufweisen. Die Hauptumsatzfläche für energetische Prozesse bildet der obere Kronenbereich, weshalb oberhalb dieses geschlossenen Kronendachs eine Kaltluftbildung einsetzen kann. Zudem kommt Waldgebieten eine Filterfunktion für atmosphärische Spurenstoffe zu, weshalb sie ebenfalls als Frischluftentstehungsgebiete fungieren können. Erhöhte Emissionen treten auch hier lediglich in übergeordneten Straßen auf.

Gewässer- und Seenklima

Wasserkörper zeichnen sich aufgrund ihrer thermischen Trägheit durch ausgeglichene klimatische Verhältnisse mit gedämpftem Tagesgang der Lufttemperatur und erhöhter Luftfeuchtigkeit aus. Diese Wirkung bleibt insbesondere bei kleineren Gewässern zumeist auf den Wasserkörper selbst sowie die unmittelbare Umgebung begrenzt. Allerdings können breite, linienhafte Gewässerstrukturen wegen ihrer geringen Rauigkeit die Funktion als Luftleitbahn inne haben.

Haldenklima

Halden stellen effektive Strömungshindernisse dar und können eine starke lokale Windfeldmodifikation bewirken. Bei ausreichender Größe des Haldenkörpers kann während austauscharmer Strahlungsnächte eine Kaltluftbildung einsetzen. Das Abfließen der gebildeten Kaltluft kann bei Ansammlung infolge von Stauwirkungen und gleichzeitig erhöhter Freisetzung von Emissionen im Bereich des Haldenfusses zur Anreicherung von Spurenstoffen führen (Immissionsfalle).

7.1.2 Klimatische Funktionen

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

Nachgewiesenes Kaltluftproduktionsgebiet

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

Nachgewiesenes Kaltluftsammelgebiet

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

Nachgewiesene Kaltluftflüsse

Die Dynamik lokal gebildeter Kaltluft wird entweder durch einen schwachen Gradientwind, einen gravitativen Antrieb infolge der Geländeausrichtung oder durch Temperaturgegensätze verschiedener Flächennutzungsstrukturen, also thermisch, induziert. In der vorliegenden Synthetischen Klimafunktionskarte werden lediglich Kaltluftflüsse dargestellt, die im Rahmen von Tracergaskampagnen während autochthoner Strahlungsnächte nachgewiesen wurden.

Nachgewiesene Luftleitbahn

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

Kaltluftbedingte erhöhte Inversionsgefahr

Insbesondere in Talungen ist mit einem erhöhten Auftreten und einer gesteigerten Mächtigkeit von kaltluftinduzierten Inversionen zu rechnen. Die Inversionsschicht bewirkt eine Unterbindung des vertikalen atmosphärischen Austauschs und kann somit zur Anreicherung von Spurenstoffen unterhalb der Inversionsgrenze im bodennahen Bereich führen.

7.1.3 Lufthygienische Verhältnisse

Zur Darstellung der lufthygienischen Situation wird in der Synthetischen Klimafunktionskarte zusätzlich der bereits in Kapitel 5.8.2 vorgestellte Immissionsindex aufgeführt.

Immissionsindex

Der Immissionsindex dient zur Beschreibung der Immissionssituation innerhalb des Untersuchungsgebietes bezogen auf die Spurenstoffe CO, NO und NO₂ sowie der Partikel PM₁₀ anhand von Streckenabschnittsmittelwerten der drei im Stadtgebiet von Gelsenkirchen durchgeführten lufthygienischen Messfahrten. Auf eine Darstellung der unauffälligen Streckenabschnitte (Immissionsindex von 0) wurde verzichtet. Eine Übertragbarkeit der Immissionsverhältnisse auf nicht untersuchte Straßenabschnitte ist nur bei vergleichbarem Verkehrsaufkommen und entsprechenden Randstrukturen möglich.

7.2 Klimatisch-lufthygienische Gliederung des Untersuchungsgebietes Gelsenkirchen in der Synthetischen Klimafunktionskarte

Die dezentrale Siedlungs- bzw. Bebauungsstruktur von Gelsenkirchen hat einen deutlichen Einfluss auf die klimatischen und lufthygienischen Verhältnisse innerhalb des Stadtgebietes. So spiegelt sich die Bipolarität der beiden Zentren Buer und Altstadt deutlich in der Synthetischen Klimafunktionskarte wider. Infolge der hochverdichteten Bebauung in beiden Bereichen konnte ein starker städtischer Einfluss auf die thermischen Verhältnisse mit einer starken nächtlichen Überwärmung während autochthoner Wetterlagen anhand der durchgeführten Temperaturmessfahrten und ein nahezu identisches, gegenüber den anderen Stationen erhöhtes, Temperaturniveau an den Standorten der Klimafeststationen 1 (Buer) und 2 (Altstadt) festgestellt werden, was jeweils zur

Ausweisung des Stadtkernklimatops führte. Die Ausdehnung dieses am stärksten urban geprägten Klimatopes umfasst im Bereich Altstadt zudem nördlich angrenzende Siedlungsgebiete des, mit einem Anteil an Bau- und Verkehrsfläche von 83 % (vgl. Tab. A1), am stärksten versiegelten Gelsenkirchener Stadtteils Schalke. In Buer ist das Stadtkernklimatop hauptsächlich auf die Innenstadt und deren südlich angrenzende Bebauung beschränkt.

Das Klimatop der verdichteten Bebauung ist hauptsächlich auf die Bereiche angrenzend an die Stadtkerne Buer und Altstadt, sowie einige kleinere, aber ebenfalls hochverdichtete Bereiche im Kern der Nebenzentren Erle, Horst, Resse, Hassel und Ückendorf begrenzt. Während sich die nächtliche Überwärmung hier zum Teil (z.B. Erle, Schalke, Ückendorf) noch sehr deutlich äußert, treten in freiraumnahen Nebenzentren, insbesondere in Hassel, bereits geringere positive Abweichungen vom Gebietsmittelwert auf.

Neben dem BP-Werk in Gelsenkirchen-Scholven und vereinzelt im gesamten Stadtgebiet auftretenden, kleineren Industrie- und Gewerbegebieten sind große und zum Teil zusammenhängende industriell bzw. gewerblich genutzte Areale hauptsächlich nördlich sowie südlich der Emscher bzw. des Rhein-Herne-Kanals in den Stadtteilen Schalke, Schalke-Nord, Heßler, Horst und südlich von Erle vorzufinden. Da diese Komplexe weitestgehend innerhalb der Emscherniederung gelegen sind, dem Gebiet in Gelsenkirchen mit einer erhöhten Inversionshäufigkeit, ist während entsprechender Wetterlagen potentiell von einer Gefahr der Spurenstoffakkumulation auszugehen. Die durchgeführte lufthygienische 24 h-Standmessung in Gelsenkirchen-Horst sowie die Untersuchungen im Rahmen der Gesamtstädtischen Klimaanalyse aus dem Jahre 2000 (Kuttler et al. 2000) wiesen diesbezüglich jedoch keine Auffälligkeiten auf, was auf eine gute Ventilation der Bereiche aufgrund der Funktion der Emscher und des Rhein-Herne-Kanals als Luftleitbahn zurückzuführen sein dürfte.

Insgesamt konnten weite Teile des Stadtgebietes dem moderaten Stadtrandklimatop zugeordnet werden, welches die Verhältnisse im Übergangsbereich zwischen dem Freiland und der zunehmend stärker verdichteten Bebauung repräsentiert. Anhand der durchgeführten nächtlichen Temperaturmessfahrten (vgl. Karte 2, S. 36) ist in diesen Bereichen mit zunehmender Entfernung von den stark überwärmten Zentren ein deutlicher Einfluss der Freiraumflächen erkennbar.

Größere zusammenhängende städtische Freiräume mit den entsprechenden positiven klimatischen und lufthygienischen Verhältnissen bilden neben den landwirtschaftlichen Nutzflächen im Norden des Stadtgebietes, das Waldgebiet Löchterheide in Verbindung mit den Acker- und Wiesenflächen im Bereich Eckerresse sowie die Resser Mark in Verbindung mit den südlich angrenzen-

den Freiflächen im Bereich der Stadtgrenze zu Herne. Zudem erweitern einige innerstädtische Grünflächen, wie die Parkanlagen um das Schloß Berge, der Nordsternpark und die ehemalige Galopprennbahn in Horst, der Revierpark Nienhausen in Verbindung mit dem Stadtgarten, der Consol-Park sowie die Zoom-Erlebniswelt und die verschiedenen Friedhöfe innerhalb des Stadtgebietes die Grünflächenstruktur von Gelsenkirchen.

Grundsätzlich stellen all diese Freiraum- und Grünflächen potentielle Produzenten für lokale Kaltluft dar. In der Synthetischen Klimafunktionskarte werden allerdings lediglich die per Tracergaskampagne nachgewiesenen Kaltluftproduktionsgebiete sowie deren Dynamik dargestellt. In den bestehenden Klimagutachten für das Stadtgebiet von Gelsenkirchen konnten bereits ein effektiver Kaltlufttransport von den Acker- und Wiesenflächen des Sutumer Feldes in die westlich angrenzende Bebauung von Beckhausen sowie eine Leitfunktion des Bereichs „Schalker Verein“ für Kaltluft aus den östlichen Freiräumen bis in die Altstadt hinein nachgewiesen werden. Im Rahmen dieser Gesamtstädtischen Klimaanalyse wurden mit den landwirtschaftlich genutzten Freiflächen in den Bereichen Eckerresse und Hegefeld, sowie der ehemaligen Galopprennbahn (heutiger Golfplatz) in Horst drei weitere Kaltluftgebiete hinsichtlich ihrer Dynamik und den daraus resultierenden Auswirkung auf angrenzende Siedlungskörper untersucht.

Hierbei stellt sich insbesondere die innerstädtische Grünfläche am Schloß Horst als bedeutsamer Kaltluftproduzent heraus, da ein Vordringen der Kaltluft in die westlich gelegene Wohnbebauung nachgewiesen werden konnte und ein abkühlender Effekt dieser Bereiche anhand der nächtlichen Temperaturmessungen ersichtlich ist. Im Bereich Eckerresse konnte ein Kaltlufttransport der landwirtschaftlich genutzten Flächen in die Siedlungsstruktur von Buer selbst bei östlichem Gradientwind aufgrund der Riegelwirkung des Waldgebietes Löchterheide nicht festgestellt werden. Die Ablenkung der lokalen Kaltluft in Richtung Hassel konnte zudem auch hier keinen effektiven Einfluss auf die klimatischen Verhältnisse ausüben. Allerdings ist bei fehlendem Gradientwind oder leichter nördlicher bzw. nordwestlicher Anströmung aufgrund der nach Südosten abfallenden Reliefstruktur ein Eindringen der Kaltluft in den Siedlungskörper von Resse zu vermuten. Lediglich dem Bereich Hegefeld konnte im Rahmen der Untersuchungen keine Relevanz der Funktion als Kaltluftproduzent zugesprochen werden, da aufgrund der Geländeausrichtung ein gravitativer Abfluss in Richtung Stadtgrenze erfolgt und die nördlich der BAB 2 gelegene Bebauung von Beckhausen somit nicht als Wirkgebiet ausgewiesen werden konnte.

Die lufthygienische Situation im Stadtgebiet von Gelsenkirchen, dargestellt anhand der Immissionsverhältnisse der Spurenstoffe CO, NO, NO₂ sowie der Partikel PM₁₀ entlang der Streckenabschnitte der lufthygienischen Messfahrten, zeigt auf, dass erhöhte Konzentrationen neben der BAB 2 und 42 sowie der B 224 überwiegend innerhalb der hochverdichteten Klimatope (Stadtkernklima und Klima der verdichteten Stadtbebauung) auftreten. Vereinzelt Abschnitte mit erhöhten Konzentrationen außerhalb dieser Bereiche sind i.d.R. auf lokal eingeschränkte atmosphärische Austauschbedingungen infolge der Randstrukturen (Bebauung; geschlossenes Kronendach etc.) zurückzuführen.

Gesamtstädtische Klimaanalyse Gelsenkirchen

Synthetische Klimafunktionskarte



Universität Duisburg-Essen
Fakultät für Biologie
Angewandte Klimatologie
und Landschaftsökologie



Stadtkernklima: hochverdichtete Bebauung mit Verwaltungs-, Geschäfts- und Wohngebäuden höherer Geschosshöhen; hoher Versiegelungsgrad und entsprechend geringer Vegetationsanteil; häufig geschlossene Randstrukturen (Straßenschluchten); stark eingeschränkte atmosphärische Austauschverhältnisse; starke nächtliche Überwärmung; erhöhte Verkehrs- und Hausbrandemissionen



Klima verdichteter Stadtbebauung: stark verdichtete Wohnbebauung mit 2- bis 5-geschossigen Wohnblocks und Blockbebauung; hoher Versiegelungsgrad und geringer Vegetationsanteil; z.T. Straßenschluchten; eingeschränkte atmosphärische Austauschbedingungen; deutliche nächtliche Überwärmung; teilweise erhöhte Verkehrs- und Hausbrandemissionen



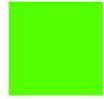
Stadttrandklima: im Übergang vom Freiland zunehmend stärkere Verdichtung der Bebauung; mäßiger Versiegelungsgrad; z.T. noch Garten- und Freilandnutzung; Baustruktur: Einzelhäuser, Wohnblocks bis Blockbebauung; teilweise eingeschränkte atmosphärische Austauschbedingungen; Verkehrs- und Hausbrandemissionen möglich



Klima der Industriegebiete: Industriebetriebe mit Produktions-, Lager- und Umschlagstätten; zumeist hoher Versiegelungsgrad; Vegetationsbestände häufig auf Randbereiche begrenzt; Freisetzung von Abwärm; lufthygienische Belastung stark von der Nutzungsart und Emissionsart abhängig; Emissionsquellen: Industrie- und Kraftwerksschornsteine, diffuse Quellen sowie Schwerlastverkehr



Klima der Gewerbegebiete: Gewerbebetriebe mit Produktions-, Lager- und Umschlagstätten; zumeist hoher Versiegelungsgrad (abgesehen von Brachflächen); geringer Vegetationsanteil; Freisetzung von Abwärm; lufthygienische Belastung stark von der Nutzungsart und Emissionsart abhängig; Emissionsquellen: Feuerungsanlagen, diffuse Quellen sowie Schwerlastverkehr



Klima innerstädtischer Grünflächen: Parks, Friedhöfe etc.; geringer Versiegelungsgrad; Rauigkeit abhängig von Vegetationsstruktur; ausgeprägte Tagesgänge der Lufttemperatur u. Luftfeuchte mit geringeren Lufttemperaturen; Funktion als Kaltluftproduktionsgebiet möglich; Wirkung auf Umgebungsbebauung abhängig von Größe u. Randstruktur; erhöhte Emissionen i.d.R. nur in übergeordneten Straßen



Freilandklima: landwirtschaftliche Nutzflächen, Weiden und Wiesen; sehr geringer Versiegelungsgrad; geringe Rauigkeit; gute atmosphärische Austauschverhältnisse; stark ausgeprägte Tagesgänge der Lufttemperatur und Luftfeuchte mit deutlich niedrigeren nächtlichen Lufttemperaturen; Funktion als Kaltluftproduktionsgebiet möglich; erhöhte Emissionen i.d.R. nur in übergeordneten Straßen

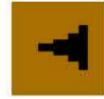


Waldklima: größere Wald- und Forstgebiete; dichte und hochwachsende Baumvegetation bedingt gedämpfte Tagesgänge der Lufttemperatur und Luftfeuchte sowie geringe Windgeschwindigkeiten im Stammraum (Bestandsklima); Kaltluftstehung oberhalb des geschlossenen Kronendachs; Filterfunktion für atmosphärische Spurenstoffe; erhöhte Emissionen i.d.R. nur in übergeordneten Straßen



Gewässer- und Seenklima:

Wasserkörper mit ausgleichender thermischer Wirkung; Einfluss zumeist auf das Gewässer und unmittelbare Randbereiche begrenzt, Wirkung als Luftleitbahn möglich



Haldenklima:

effektive Strömungshindernisse durch Halden; lokale Windfeldveränderungen; Funktion als Kaltluftstehungsgebiet möglich; eventuell Spurenstoffanreicherung bei Kaltluftsanammlung und erhöhten Emissionen im Haldenfußbereich



Nachgewiesenes Kaltluftproduktionsgebiet: effektive nächtliche Ausstrahlung unversiegelter Oberflächen; Ausbildung bodennaher Kaltluft; bei entsprechender Dynamik (induziert durch schwachen Gradientwind, gravitativen Antrieb oder Temperaturgegensätze) Beitrag zur Belüftung und Abkühlung benachbarter Siedlungsgebiete möglich



Nachgewiesenes Kaltluftammelgebiet:

Ansammlung lokaler Kaltluft durch hohe Kaltluftproduktion, fehlende Kaltluftdynamik, Strömungshindernisse oder bestimmte Reliefformen (z.B. Mulden); Anreicherung von Spurenstoffen bei bodennaher Emission innerhalb dieser Gebiete möglich



Kaltluftbedingte erhöhte Inversionsgefahr:

tiefstgelegene Areale im Stadtgebiet von Gelsenkirchen im Bereich der Emscherniederung mit reduziertem atmosphärischem Austausch



Nachgewiesene Luftleitbahn:

Flächen mit geringer Rauigkeit, größerer Breite und weitgehend geradliniger Ausrichtung dienen vor allem während autochthoner Wetterlagen einer bodennahen Belüftung



Nachgewiesene Kaltluftflüsse:

mittels Tracergaskampagnen während windschwacher Strahlungsnächte nachgewiesene Kaltluftflüsse

Immissionssituation der Spurenstoffe CO, NO und NO₂ sowie der Partikel PM₁₀ entlang der Streckenabschnitte der lufthygienischen Messfahrten im Stadtgebiet von Gelsenkirchen

	CO (mg m ⁻³)	NO (µg m ⁻³)	NO ₂ (µg m ⁻³)	PM ₁₀ (µg m ⁻³)
Minimum *	0,2	5,9	21,1	26,0
Mittelwert *	0,6	73,7	58,2	42,6
90 %-Wert *	0,9	162,2	97,7	50,9
Maximum *	2,2	297,2	141,2	91,0

Dargestellt werden lediglich die Streckenabschnitte, welche für mindestens eine der betrachteten Komponenten die Überschreitung des jeweiligen 90 %-Wertes aufweisen und somit die relativ höchste Belastung entlang der Messroute aufzeigen. Eine Übertragbarkeit auf nicht untersuchte Straßenabschnitte innerhalb des Untersuchungsgebietes ist nur bei vergleichbarem Verkehrsaufkommen und entsprechenden Randstrukturen gegeben.

* Statistische Angaben der über die drei Messfahrten (23.03.2010, 16.04.2010, 10.01.2011) gemittelten Streckenabschnittswerte von CO, NO, NO₂ und PM₁₀

Immissionsindex 1: eine der vier Komponenten (CO, NO, NO₂ und PM₁₀) übersteigt den jeweiligen 90%-Wert

Immissionsindex 2: zwei der vier Komponenten (CO, NO, NO₂ und PM₁₀) übersteigen den jeweiligen 90%-Wert

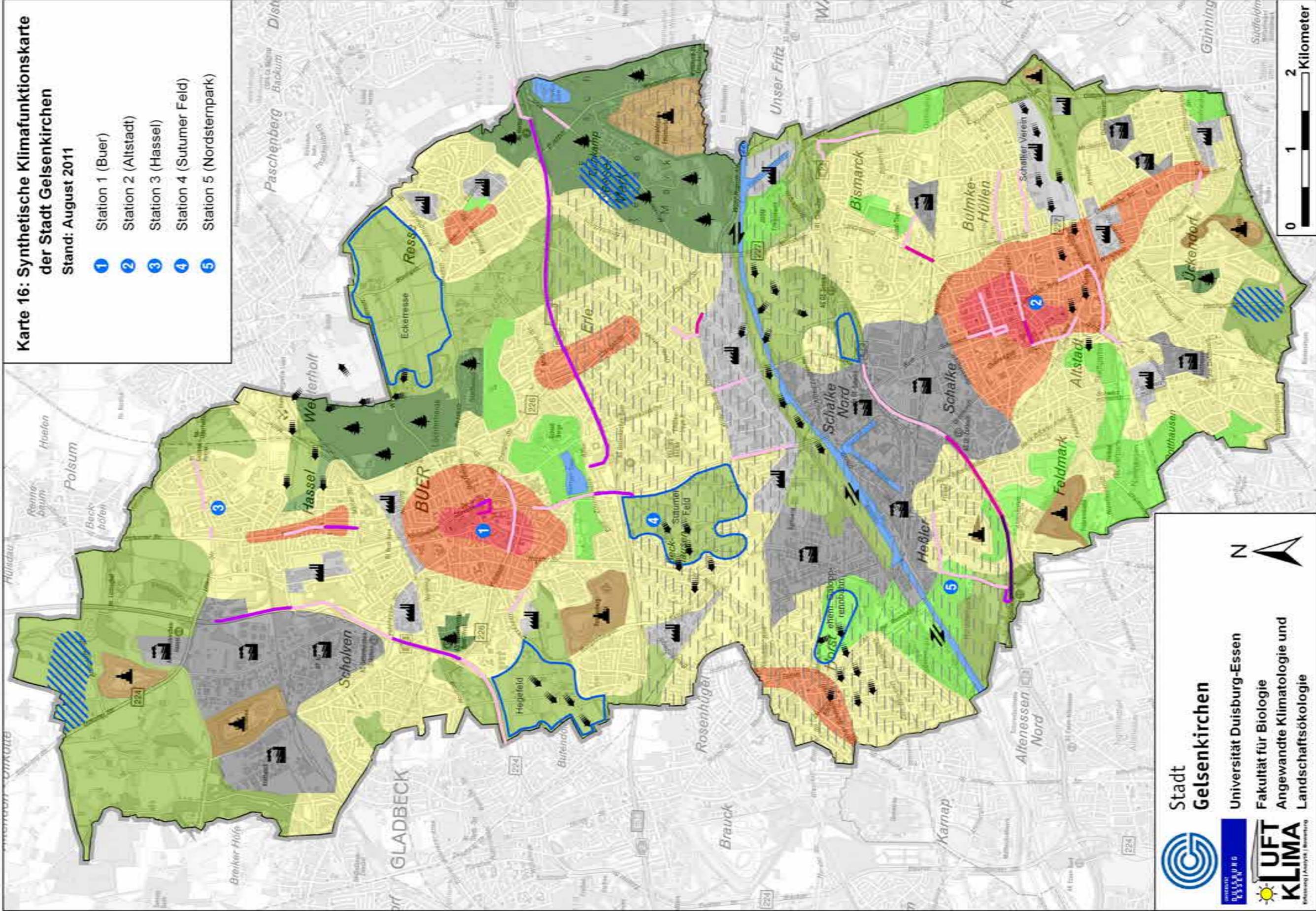
Immissionsindex 3: drei der vier Komponenten (CO, NO, NO₂ und PM₁₀) übersteigen den jeweiligen 90%-Wert

Immissionsindex 4: alle vier Komponenten (CO, NO, NO₂ und PM₁₀) übersteigen den jeweiligen 90%-Wert

Stadtgrenze

**Karte 16: Synthetische Klimafunktionskarte
der Stadt Gelsenkirchen**
Stand: August 2011

- 1 Station 1 (Buer)
- 2 Station 2 (Altstadt)
- 3 Station 3 (Hassel)
- 4 Station 4 (Sutumer Feld)
- 5 Station 5 (Nordsternpark)




Stadt Gelsenkirchen
 Universität Duisburg-Essen
 Fakultät für Biologie
 Angewandte Klimatologie und
 Landschaftsökologie


8 Planungshinweiskarte

Die Erstellung der Planungshinweiskarte der Stadt Gelsenkirchen erfolgte auf Grundlage der Synthetischen Klimafunktionskarte (Karte 16). Somit beruht die Ableitung von Planungshinweisen zur Verbesserung bzw. Sicherung der klimatischen und lufthygienischen Verhältnisse ebenfalls auf der Topographie und aktuellen Flächennutzung im Stadtgebiet von Gelsenkirchen sowie den Ergebnissen der im Rahmen der Gesamtstädtischen Klimaanalyse Gelsenkirchen durchgeführten Untersuchungen. Die zur Erarbeitung der Planungshinweiskarte verwendete GIS-Software, die seitens des Auftraggebers zur Verfügung gestellte Datengrundlage sowie der Bearbeitungsmaßstab entsprechen den in Kapitel 7 beschriebenen Ausführungen.

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

8.1 Darstellungsebenen der Planungshinweiskarte

Die Planungshinweiskarte (Karte 17) der Stadt Gelsenkirchen setzt sich aus zwei Ebenen zusammen. In der **ersten Darstellungsebene** werden anhand von Planräumen, ähnlich den Klimatopen, Bereiche innerhalb des Stadtgebietes wiedergegeben, für die Planungshinweise aufgrund der weitestgehend einheitlichen Strukturen eine flächenhafte Gültigkeit aufweisen. Hierbei werden unter anderem klimatische Last-, Ungunst- und Ausgleichsräume voneinander abgegrenzt. Die klimatischen Lasträume umfassen dabei einerseits die Bereiche, welche in der Synthetischen Klimafunktionskarte als Stadtkernklima und Klima der verdichteten Bebauung ausgewiesen sind. Zum anderen sind auch die Industrie- und Gewerbegebiete den klimatischen Lasträumen zuzuordnen. Aufgrund der differenziert zu betrachtenden Planungshinweise die sich für diese Bereiche ergeben, werden die industrieklimatischen und gewerblichen Lasträume in der Planungshinweiskarte allerdings gesondert ausgewiesen. Des Weiteren werden stärker versiegelte Bereiche innerhalb der Stadtrandklimatope, wie beispielsweise Areale angrenzend an die Zentren und Nebenzentren, als klimatische Ungunsträume zusammengefasst, während die locker bebauten Randbereiche der Siedlungskörper und Gebiete mit vergleichsweise günstigen klimatischen und lufthygienischen Verhältnissen als Übergangsbereich zwischen Last- und Ausgleichsraum bezeichnet werden. Die klimatischen Aus-

gleichsräume umfassen neben den größeren innerstädtischen Freiflächen und den hauptsächlich landwirtschaftlich genutzten Freiräumen im Umland zudem die ebenfalls gesondert ausgewiesenen innerstädtischen Grünflächen, Gewässer sowie Wald- und Forstgebiete.

In der **zweiten Gliederungsebene** werden hingegen eine Reihe spezifischer Planungshinweise von zumeist lokaler Relevanz ausgewiesen, wie etwa die Erhaltung von Luftleitbahnen, die Verkehrsvermeidung in Straßen mit hoher Frequenz und/oder eingeschränkten atmosphärischen Austauschbedingungen sowie die Vermeidung weiterer Bebauung oder Ansiedlung von Emitenten in Kaltluftammelgebieten. Ferner werden jedoch auch Bereiche ausgewiesen, in denen eine maßvolle Verdichtung der Bebauung unter klimatisch-lufthygienischen Aspekten möglich ist.

8.2 Gliederung der Stadt Gelsenkirchen anhand der Planungshinweiskarte

Nachstehend werden die in der Planungshinweiskarte der Stadt Gelsenkirchen ausgewiesenen flächenhaft gültigen Planungshinweise der verschiedenen Planräume sowie die spezifischen Planungshinweise mit überwiegend lokaler Relevanz im Einzelnen kurz erläutert und deren Gliederung bzw. räumliche Verteilung innerhalb des Stadtgebietes von Gelsenkirchen dargestellt.

8.2.1 Planräume

Klimatischer Lastrraum

In den klimatischen Lasträumen treten die negativen Ausprägungen des Stadtklimas am deutlichsten hervor. Diese Planräume beschränken sich im Wesentlichen auf die beiden Stadtkerne Altstadt und Buer sowie Teilbereiche der Nebenzentren Erle, Hassel, Horst, Resse und Ückendorf. Zur Verbesserung der klimatischen und lufthygienischen Situation in diesen stark urban geprägten Siedlungsgebieten ist es notwendig, die Be- und Entlüftung durch Verbindung mit klimatischen Ausgleichsräumen im Umland in Form von Luftleitbahnen und Grünflächenvernetzungen zu fördern. Als Beispiel hierfür ist die Förderung der Vernetzung des Grünflächenverbundes Revierpark Nienhausen und Stadtpark mit den hochversiegelten Bereichen der Altstadt anzuführen. Zu diesem Zweck sollte der Anteil verdunstungsaktiver Flächen, dazu gehören Grün-, Frei- und Wasserflächen, erhöht werden. Von einer weiteren Verdichtung der Bebauung innerhalb der klimatischen Lasträume ist abzusehen, hingegen

sollten nach Möglichkeit Entsiegelungs- und Begrünungsmaßnahmen (z.B. von Innenhöfen) erfolgen. Bei fehlender Entsiegelungs- und Rückbaumöglichkeiten können Dach- und Fassadenbegrünungen als Alternative zur Steigerung des Grünflächenanteils dienen. Insbesondere in stark frequentierten Straßen mit eingeschränkten atmosphärischen Austauschbedingungen sind zudem eine Emissionsminderung sowie die Auflockerung der Randstrukturen zu forcieren, um der Spurenstoffanreicherung in diesen Bereichen entgegen zu wirken.

Klimatischer Ungunstraum

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

Industrieklimatischer und gewerblicher Lastraum

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

Übergangsbereich zwischen Last- und Ausgleichsraum

Als Übergangsbereiche mit sowohl positiven als auch negativen klimatisch-lufthygienischen Ausprägungen sind weiträumig die zumeist locker bebauten

und mit erhöhtem Grün- und Freiflächenanteil versehenen Siedlungsbereiche anzusehen, welche sich um die klimatischen Last- und Ungunsträume erstrecken. Insbesondere am Siedlungsrand ist zur Erhaltung und Verbesserung des Austauschs zwischen den Last- und Ausgleichsräumen eine Riegelbebauung zu vermeiden. Bei weiteren Bebauungsmaßnahmen ist unbedingt die Vernetzungsfunktion der Grünflächen zu beachten und zu bewahren. Insgesamt sollte der vorhandene Grün- und Freiflächenanteil sowie deren Vernetzung in Richtung Siedlungskerne erhalten bleiben bzw. ausgebaut werden.

Klimatischer Ausgleichsraum

Die klimatischen Ausgleichsräume umfassen größere innerstädtische Freiflächen (z.B. Sutumer Feld; Entwicklungsprojekt Graf Bismarck etc.) und die hauptsächlich landwirtschaftlich genutzten Freiräume im Umland (z.B. im Norden des Stadtgebietes; Eckerresse etc.) der urban geprägten Siedlungskörper. Sie stellen wichtige klimatische und lufthygienische Ausgleichspotentiale dar und sollten daher möglichst erhalten bleiben und ausgebaut werden. Von entscheidender Bedeutung ist jedoch die Vernetzung dieser Ausgleichsräume mit den klimatischen Last- und Ungunsträumen innerhalb des Stadtgebietes. Hierzu ist die Erhaltung bestehender Luftleitbahnen, die Schaffung neuer Be- und Entlüftungsschneisen sowie die Auflockerung und Beseitigung von Strömungshindernissen erforderlich. Zudem sollte die Ansiedlung weiterer Emittenten in diesen Bereichen verhindert werden.

Innerstädtische Grünflächen

Innerstädtische Grünflächen, wie die Parkanlage um das Schloß Berge, die ehemalige Galopprennbahn am Schloß Horst, der Stadtgarten oder der Consol Park stellen lokal-klimatische Ausgleichsflächen innerhalb der Siedlungsstrukturen dar. Zur Förderung der ausgleichenden Wirkung ist eine Vernetzung von Grünflächen erforderlich. Hierzu sollten bestehende Grünflächen erweitert und wo möglich auch eine Neuanlage von Parks, beispielsweise auf alten Industrie- und Gewerbebrachen, als Ziel gesetzt werden. Dichte, geschlossene Randstrukturen sollten vermieden bzw. aufgelockert werden, um die Verzahnung mit der angrenzenden Bebauung zu fördern bzw. herzustellen. Auf eine Versiegelung und Ansiedlung von Emittenten in diesen Bereichen sollte verzichtet werden.

Wald- und Forstgebiete

Größere geschlossene Wald- und Forstgebiete, wie im Bereich Resser Mark und Löchterheide dienen als Frisch- und Kaltluftproduzenten. Sie können bei entsprechender Vernetzung mit den klimatischen Last- und Ungunsträumen daher ebenfalls als klimatische Ausgleichsräume fungieren. Die bestehenden Bestände und deren Vernetzung mit den angrenzenden Siedlungskörpern von Buer, Hassel, Erle und Resse anhand von Luftleitbahnen sind daher zu erhalten und auszubauen. Eine Ansiedlung von Emittenten kann die Funktion der Frischluftproduktion beeinträchtigen und ist daher zu vermeiden.

Gewässer

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

Halden

Insbesondere bei größeren Haldenkörpern (z.B. der Zentraldeponie Emscherbruch oder der Rungenberghalde) sind in den Hangfussbereichen Luftleitbahnen mit einer Vernetzung zu klimatischen Last- und Ungunsträumen für die nächtlich abfließende Kaltluft zu schaffen bzw. zu erhalten. Bestehende Strömungshindernisse und Geländehohlformen können zur Kaltluftakkumulation führen. Dort sind weitere bodennahe Emittenten zu vermeiden.

8.2.2 Planungshinweise

Luftleitbahn erhalten

Die bestehende, bereits im Rahmen der Gesamtstädtischen Klimaanalyse Gelsenkirchen aus dem Jahre 2000 nachgewiesene (Kuttler et al. 2000), Luftleitbahn innerhalb der Emscherniederung sollte erhalten bleiben. Von einer Riegelbebauung in den Be- und Entlüftungsschneisen sowie einer Ansiedlung weiterer Emittenten sollte abgesehen werden. Hingegen ist eine Förderung bzw. Herstellung der Vernetzung mit den angrenzenden Siedlungsgebieten zu realisieren.

Austausch und Vernetzung fördern bzw. herstellen

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

Industrie- und Gewerbebrachen mit potentieller Vernetzung

Einige Industrie- und Gewerbebrachen innerhalb des Stadtgebietes von Gelsenkirchen, wie das Gelände der ehemaligen Kokerei Hassel, der ehemaligen Zeche Hugo sowie im Bereich Schalker Verein beinhalten potentielle Vernetzungsfunktionen zwischen den klimatischen Last- bzw. Ungunsträumen und den klimatischen Ausgleichsräumen. Soweit noch nicht geschehen werden der Rückbau alter industrieller oder gewerblicher Gebäude und Anlagen sowie die Entsiegelung dieser Flächen zugunsten einer Begrünung zur Förderung der Vernetzungsfunktionen empfohlen.

Verkehrsvermeidung

Durch diesen Planungshinweis werden Bereiche herausgestellt, in denen während der durchgeführten lufthygienischen Messfahrten vermehrt Straßenabschnitte mit erhöhten Immissionskonzentrationen festgestellt werden konnten. Von den Empfehlungen ausgenommen sind die Bundesautobahnen 2 und 42 sowie die Bundesstraße 224, da es sich hier um überregionale Verkehrsachsen handelt, bei denen eine Verkehrssteuerung auf kommunaler Ebene kaum realisierbar ist. Die Straßenzüge für die der Planungshinweis zur Verkehrsvermeidung ausgewiesen werden konnte sind ausnahmslos in den klimatischen Last- und Ungunsträumen angesiedelt und zeichnen sich i.d.R. durch ein erhöhtes Verkehrsaufkommen und/oder eingeschränkte atmosphärische Austauschbedingungen aus. Eine Reduzierung des Verkehrsaufkommens bzw. eine Vermeidung der Verkehrszunahme wird empfohlen. Zudem sollten nach Möglichkeit die Randstrukturen zur Förderung des atmosphärischen Austausches aufgelockert werden. Im Einzelfall kann auch ein geschlossenes Baumkronendach im Straßenraum den Grund für eine Spurenstoffakkumulation darstellen. Derartige Vegetationsstrukturen sind in hochfrequentierten Straßen zu vermeiden.

Keine Bebauung oder Emittenten

In den nachgewiesenen Kaltluftsammlgebieten im Norden des Stadtgebietes sowie im Bereich Resser Mark und dem Landschaftspark Mechtenberg ist aufgrund einer potentiellen Spurenstoffanreicherung von einer weiteren Ausweisung und Ausweitung von Wohngebieten sowie der Ansiedlung von Emittenten abzusehen.

Maßvolle Verdichtung möglich

In locker bebauten Siedlungsgebieten mit vergleichsweise günstigen klimatischen und lufthygienischen Verhältnissen (geringe nächtliche Überwärmung; keine größeren Emissionsquellen) ist eine weitere maßvolle Verdichtung möglich. Derartige Strukturen lassen sich beispielsweise in den nördlichen Siedlungsbereichen von Hassel, nordöstlich des Consol Parks in Bismarck oder im südlichen Bereich des Sutumer Feldes vorfinden.

Immissionsschutz einrichten

Aufgrund während der lufthygienischen Messfahrten festgestellter erhöhter Immissionswerte verschiedener Spurenstoffe entlang der Bundesautobahnen 2 und 42 sowie der Bundesstraße 224, sollte, soweit noch nicht vorhanden, ein Immissionsschutz gegenüber den angrenzenden Wohngebieten und Freiflächen errichtet werden. Dieser kann wahlweise aus Immissionsschutzpflanzungen, -wällen, -wänden oder Waldstreifen bestehen.

Gebiete mit erhöhtem Flachdachvorkommen

In der Planungshinweiskarte werden des Weiteren Gebiete ausgewiesen, die ein erhöhtes Aufkommen an Flachdachbauten aufweisen. Flachdächer eignen sich zur Installation von Dachbegrünungen, welche insbesondere in hochverdichteten Stadtgebieten eine Alternative zur Integration von mehr Grünflächen in der Stadt darstellen. Dachbegrünungen fungieren bei ausreichender Wasserversorgung als verdunstungsaktive Flächen und sind in der Lage ein Vielfaches der jährlichen Depositionsrates an Feinstäuben zu binden. Aufgrund dieser Eigenschaften können Gründächer zur Verbesserung des Mikroklimas beitragen (MUNLV 2010; Frahm und Sabovljevic 2007). Darüber hinaus dienen Flachdächer als Standorte für Photovoltaik- und Solarthermie-Anlagen, wodurch eine Verringerung der Emissionen erzielt werden kann. Innerhalb des Stadtgebietes von Gelsenkirchen treten Gebiete mit erhöhtem Anteil an Flachdächern vorwiegend in den Industrie- und Gewerbegebieten mit den typischen Produktions- und Lagerhallen sowie in einigen Bereichen der

klimatischen Last- und Ungunsträume in den Stadtteilen Buer, Altstadt, Schalke, Horst etc. auf. Insbesondere in diesen Bereichen sind Dachbegrünungen aufgrund der hohen Versiegelung, des geringen Grünflächenanteils und dem fehlenden Platzangebot für die Integration neuer begrünter Freiflächen eine sinnvolle und platzsparende Alternative.

Planungshinweiskarte



Klimatischer Lastraum: Förderung der Be- und Entlüftung durch Verbindung mit klimatischen Ausgleichsräumen anhand von Luftleitbahnen und Grünflächenvernetzung; Erhöhung des Anteils verdunstungsaktiver Flächen (Grün-, Frei- und Wasserflächen); Einsatz von Dach- und Fassadenbegrünung; Entsiegelung und Begrünung von Innenhöfen; keine weitere Verdichtung der Bebauung; Auflockerung der Randstrukturen sowie Emissionsminderung in Straßen mit eingeschränkten atmosphärischen Austauschbedingungen



Klimatischer Ungunstraum: Förderung der Be- und Entlüftung durch Verbindung mit klimatischen Ausgleichsräumen anhand von Luftleitbahnen und Grünflächenvernetzung; zunehmende Verdichtung vermeiden; bei weiterer Bebauung Frei- und Grünflächenausgleich durch Dach- und Fassaden- sowie Straßenraumbegrünung schaffen; Entsiegelung und Begrünung von Innenhöfen; Auflockerung der Randstrukturen sowie Emissionsminderung in Straßen mit eingeschränkten atmosphärischen Austauschbedingungen



Industrieklimatischer und gewerblicher Lastraum:

Ansiedlung möglichst emissionsarmer Betriebe; Reduzierung der Emissionen aus dem Schwerlastverkehr; Erhöhung des Grün- und Freiflächenanteils (auch in Form von Dach- und Fassadenbegrünungen); Entsiegelung von Industrie- und Gewerbebrachen



Übergangsbereich zwischen Last- und Ausgleichsraum:

Grün- und Freiflächenanteil sowie deren Vernetzung erhalten bzw. ausbauen; bei weiteren Bebauungsmaßnahmen auf die Vernetzungsfunktion der Grünflächen achten; keine Riegelbebauung am Siedlungsrand zulassen



Klimatischer Ausgleichsraum: möglichst Erhaltung und Ausbau der klimatischen und lufthygienischen Ausgleichspotentiale; offenhalten der bestehenden Luftleitbahnen sowie Schaffung neuer Be- und Entlüftungsschnitten zur Verbesserung der Vernetzung mit klimatischen Last- und Ungunsträumen; keine weiteren Emissionsquellen in diesen Bereichen zulassen; Auflockerung oder Beseitigung von Strömungshindernissen



Innerstädtische Grünflächen: Förderung ausgleichender Wirkung durch Vernetzung von Grünflächen; Erweiterung der bestehenden Grünflächen sowie Neuanlage, wo möglich; Verzahnung mit angrenzender Bebauung fördern bzw. herstellen; dichte Randstrukturen vermeiden bzw. auflockern; keine weitere Versiegelung sowie Emissionsquellen zulassen



Wald- und Forstgebiete:

Erhalt und Ausweitung der geschlossenen Wald- und Forstbestände als Frisch- und Kaltluftproduzenten; Vernetzung mit klimatischen Last- und Ungunsträumen anhand von Luftleitbahnen schaffen bzw. fördern und erhalten; keine weiteren Emissionsquellen zulassen



Gewässer:

weitere Riegelbebauung in den Randbereichen vermeiden; bestehende Strömungshindernisse beseitigen oder auflockern; Vernetzung mit angrenzender Bebauung fördern bzw. herstellen



Halden:

im Haldenfußbereich Luftleitbahnen für abfließende Kaltluft schaffen bzw. erhalten; bei Kaltluftakkumulation in Geländehohlförmungen und an Strömungshindernissen weitere bodennahe Emittenten vermeiden



Luftleitbahn erhalten:

bestehende Luftleitbahn innerhalb der Emscherniederung erhalten; keine Riegelbebauung in Be- und Entlüftungsschnitten; weitere Emittenten vermeiden; Vernetzung mit angrenzenden Siedlungsgebieten fördern bzw. herstellen



Austausch und Vernetzung fördern bzw. herstellen:

Austausch und Vernetzungsfunktion zwischen klimatischen Last- bzw. Ungunsträumen und klimatischen Ausgleichsräumen fördern bzw. herstellen; Luftleitbahnen schaffen bzw. freihalten; Vermeidung und Auflockerung von Strömungshindernissen



Industrie- und Gewerbebrachen mit potentieller Vernetzung:

Industrie- oder Gewerbebrache mit potentieller Vernetzungsfunktion zwischen klimatischen Last- bzw. Ungunsträumen und klimatischen Ausgleichsräumen; Vernetzungsfunktion erhalten bzw. fördern; Rückbau, Entsiegelung und Begrünung soweit noch nicht geschehen



Verkehrsvermeidung: Straßenabschnitte mit erhöhtem Verkehrsaufkommen und / oder eingeschränktem atmosphärischen Austauschbedingungen; Verkehrsaufkommen reduzieren bzw. weitere Zunahme des Verkehrs vermeiden; wenn möglich zur Förderung des atmosphärischen Austauschs die Randstrukturen auflockern; kein geschlossenes Baumkronendach im Straßenraum



Keine Bebauung oder Emittenten:

Ausweitung von Wohnbebauung sowie Ansiedlung von Emittenten in Kaltluftsammlergebieten vermeiden



Maßvolle Verdichtung möglich:

in locker bebauten Wohngebieten mit geringer nächtlicher Überwärmung und ohne größere Emittenten maßvolle Verdichtung unter klimatisch-lufthygienischen Aspekten unbedenklich



Immissionsschutz einrichten:

soweit nicht vorhanden, Immissionsschutz einrichten (Immissionsschutzpflanzungen bzw. -wände, -wände oder Waldstreifen)



Gebiete mit erhöhtem Flachdachvorkommen:

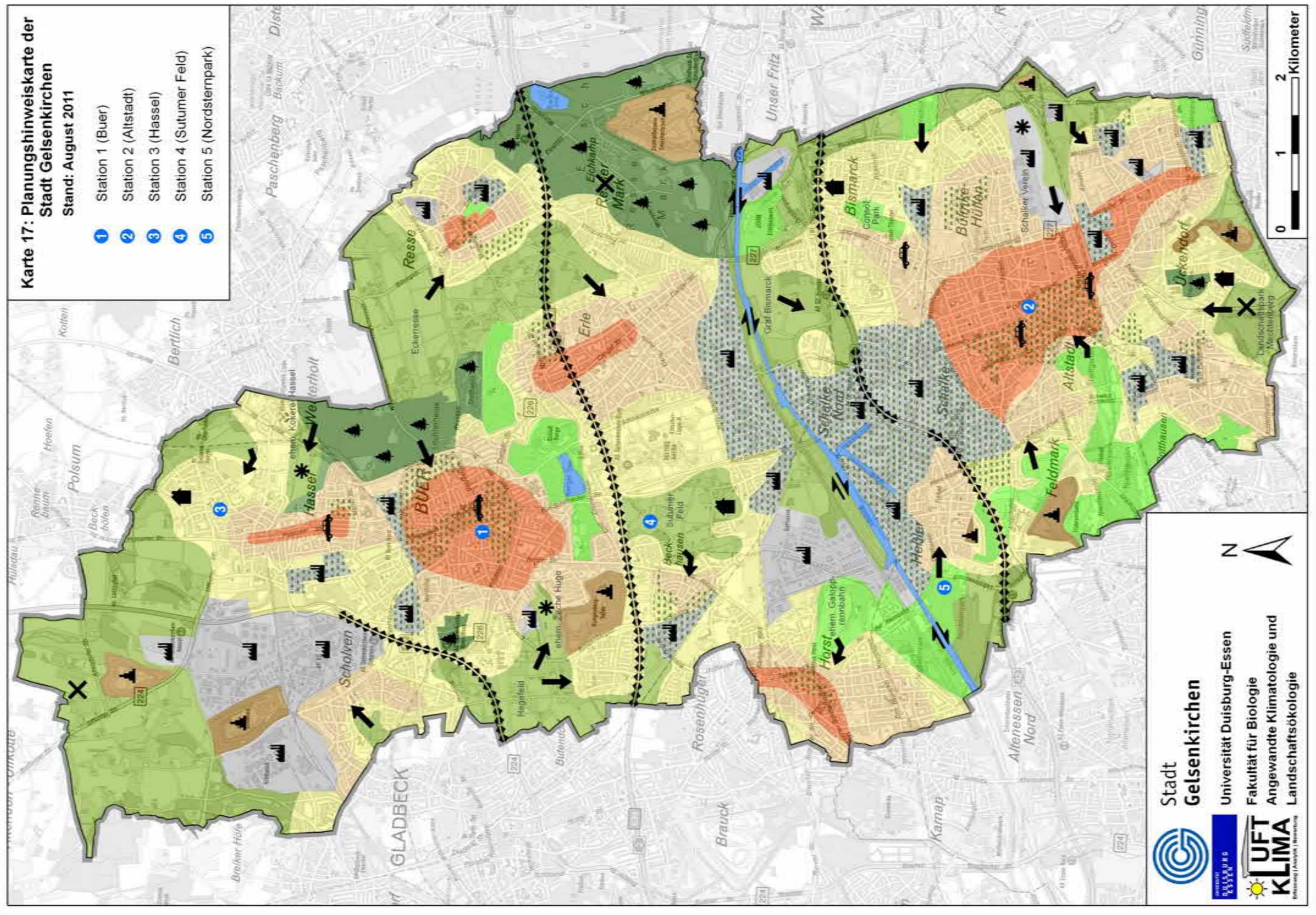
Eignung zur Integration von mehr Grün (Dachbegrünung) in der Stadt; Gründächer stellen verdunstungsaktive Flächen dar (platzsparende Verbesserung des Mikroklimas); Standorte für Photovoltaik- und Solarthermie-Anlagen (Verringerung der Emissionen)

Stadtgrenze



Karte 17: Planungshinweiskarte der Stadt Gelsenkirchen
Stand: August 2011

- 1 Station 1 (Buer)
- 2 Station 2 (Altstadt)
- 3 Station 3 (Hassel)
- 4 Station 4 (Sutumer Feld)
- 5 Station 5 (Nordsternpark)




Stadt Gelsenkirchen
 Universität Duisburg-Essen
 Fakultät für Biologie
 Angewandte Klimatologie und
 Landschaftsökologie

UFT KLIMA
Umfeldforschung | Analyse | Bewertung



9 Literatur

BAUGB (2004): Baugesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 23. September 2004 (BGBl. 1 S. 2414), das zuletzt durch Artikel 4 des Gesetzes vom 31. Juli 2009 (BGBl. 1 S. 2585) geändert worden ist

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ (2004): Information über Abgase des Kraftfahrzeugverkehrs. Augsburg. 20 S.

DEUTSCHER WETTERDIENST (2010/11): Witterungsreport express 01/2010 - 02/2011. Offenbach am Main

DÜTEMEYER, D. (2000): Urban-orographische Bodenwindssysteme in der städtischen Peripherie Kölns. Essener Ökologische Schriften, Bd. 12, 171 S.

FRAHM, J.-P. U. SABOVLJEVIC, M. (2007): Feinstaubreduzierung durch Moose. In: Immissionsschutz. Zeitschrift für Luftreinhaltung, Lärmschutz, Anlagensicherheit, Abfallverwertung und Energienutzung 12 (4): 152-156

GERSTENGARBE, F.-W. U. WERNER, P.C. (2010): Katalog der Großwetterlagen Europas (1881 – 2009) nach Paul Hess und Helmut Brezowsky, 7. verbesserte und ergänzte Auflage. PIK Report, 119, 146 S.

HÖPPE, P. (1999): The physiological equivalent temperature – a universal index for biometeorological assessment of the thermal environment. In: International Journal of Biometeorology, 43, S. 71-75

HUPFER, P. U. KUTTLER, W. (Hrsg.) (2006): Witterung und Klima – Eine Einführung in die Meteorologie und Klimatologie. 12. überarbeitete Auflage, B.G. Teubner Verlag, Wiesbaden, 554 S.

IPCC (2007): Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. In: Klimaänderung 2007: Wissenschaftliche Grundlage. Beitrag der Arbeitsgruppe I zum Vierten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderung (IPCC), Solomon, S.; D. Qin; M. Manning; Z. Chen; M. Marquis; K.B. Averyt; M. Tignor und H.L. Miller, Eds., Cambridge University Press, Cambridge; United Kingdom und New York, NY,

USA. Deutsche Übersetzung durch ProClim-, österreichisches Umweltbundesamt, deutsche IPCC-Koordinationsstelle, Berlin/Wien/Berlin.

KUTTLER, W.; KREFT, A.; SCHAEFERS, S. U. BARLAG, A.-B. (2000): Gesamtstädtische Klimaanalyse Gelsenkirchen. Institut für Ökologie der Universität Essen, Abteilung Angewandte Klimatologie und Landschaftsökologie. - Abschlussbericht im Auftrag des Umweltamtes der Stadt Gelsenkirchen, unveröffentlicht, 128 S.

KUTTLER, W. U. DÜTEMEYER, D. (2003): Umweltmeteorologische Untersuchungsmethoden. In: *promet* 30 (1), S. 15-27

KUTTLER; W.; DÜTEMEYER, D. U. BARLAG, A.-B. (2003): Ermittlung der klimatischen Ist- und Plan-Zustände in den Bereichen „Stadtquartier Graf Bismarck“ und „Schalker Verein“ in Gelsenkirchen mittels klimatologischer Messungen und numerischer Modellierung. Institut für Geographie/Institut für Ökologie der Universität Duisburg-Essen, Abteilung Angewandte Klimatologie und Landschaftsökologie. - Abschlussbericht im Auftrag des Umweltamtes der Stadt Gelsenkirchen, unveröffentlicht, 42 S.

KUTTLER, W.; DÜTEMEYER, D. U. BARLAG, A.-B. (2005): Klimatologische Stellungnahme zum Plangebiet „Chemische Schalke“ (vorläufiger B-Plan Nr. 226) in Gelsenkirchen Schalke-Nord. Institut für Geographie der Universität Duisburg-Essen, Abteilung Angewandte Klimatologie und Landschaftsökologie. - Abschlussbericht im Auftrag des Umweltamtes der Stadt Gelsenkirchen, unveröffentlicht, 17 S.

KUTTLER, W.; WEBER, S.; SCHONNEFELD, J. U. HESSELSCHWERDT, A. (2007a): Urban/rural atmospheric water vapour pressure differences and urban moisture excess in Krefeld, Germany. - In: *International Journal of Climatology*, 27 (14), S. 2005-2015.

KUTTLER, W.; WEBER, S.; LITSCHKE, T.; PTAK, D. U. BARLAG, A.-B. (2007b): Klimatologisch-lufthygienische Untersuchungen zum immissionsklimatischen Ist-Zustand des BP-Plangebietes der „Norderweiterung Chemie Standort Gelsenkirchen-Scholven“. Institut für Geographie der Universität Duisburg-Essen, Abteilung Angewandte Klimatologie und Landschafts-

ökologie. – Abschlussbericht im Auftrag der Fa. BP Refining & Petrochemicals GmbH, Bochum, unveröffentlicht, 85 S.

KUTTLER, W. (2009): Klimatologie. Ferdinand Schöningh, Paderborn, 260 S.

KUTTLER, W. (2010a): Urbanes Klima, Teil 1. In: Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft, Umweltmeteorologie, 70, Nr. 7/8 - Juli/August, S. 329-340

KUTTLER, W. (2010b): Das Ruhrgebiet im Klimawandel - Bestandsaufnahme und Prognose. = Essener Unikate - Berichte aus Forschung und Lehre, 38, Beiträge zur "Ruhr 2010", S. 40-51

KUTTLER, W. (2011): Klimawandel im urbanen Bereich, Teil 1, Wirkungen. - In: Environmental Sciences Europe , 23 (11) , S. 1-12

LANUV NRW (2009): Fachbeitrag des Naturschutzes und der Landschaftspflege zum Regionalen Flächennutzungsplan für die Städteregion Ruhr (Bochum, Essen, Gelsenkirchen, Herne, Mülheim a.d. Ruhr, Oberhausen). Recklinghausen, 164 S.

LANUV NRW (2010): Beurteilungsmaßstäbe. (<http://www.lanuv.nrw.de/luft/immissionen/beurteilungsma/rechtsvor.htm> [Zugriff: 30.06.2010])

LANUV NRW (2011a): Emissionskataster NRW 2004. Webdatenbank. Recklinghausen. (<http://www.gis.nrw.de/ims/ekatsmall2004/small/info.htm> [Zugriff: 23.02.2011])

LANUV NRW (2011b): Bericht über die Luftqualität im Jahre 2011. LANUV-Fachbeitrag 33. Recklinghausen. 42 S.

LANUV NRW (2011c): Stationen zur Messung der Luftqualität in NRW. (<http://www.lanuv.nrw.de/luft/temes/stat.htm> [Zugriff: 03.03.2011])

MATZARAKIS, A.; MAYER, H. U. IZIOMON, M.G. (1999): Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. In: International Journal of Biometeorology, 43, S. 76-84

- MATZARAKIS, A.; RUTZ, F. AND MAYER, H. (2010): Modelling Radiation fluxes in simple and complex environments - Basics of the RayMan model. In: International Journal of Biometeorology, 54 (2), S. 131 - 139.
- MAYER, H.; BECKRÖGE, W. U. MATZARAKIS, A. (1994): Bestimmung von stadtklimarelevanten Luftleitbahnen. UVP-Report 5, S. 265-268
- MUNLV (Hrsg.) (2010): Handbuch Stadtklima - Maßnahmen und Handlungskonzepte für Städte und Ballungsräume zur Anpassung an den Klimawandel (Langfassung). Düsseldorf, 268 S.
- MURL (Hrsg.) (1989): Klima-Atlas von Nordrhein-Westfalen. – Minister für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf
- PASQUILL, F. (1961): The estimation of the dispersion of windborne material. In: Meteorol. Mag. 90, S. 33-49
- POLSTER, G. (1969): Erfahrungen mit Strahlungs-, Temperaturgradient- und Windmessungen als Bestimmungsgrößen der Diffusionskategorien. In: Meteorol. Rdsch. 22, S. 170-175
- STADT GELSENKIRCHEN (2011): Bevölkerung Stadt Gelsenkirchen. Gelsenkirchen. 77 S. (http://stadt.gelsenkirchen.de/de/Rathaus/Daten_und_Fakten/Statistiken/_doc/Bevoelkerungsstatistik_aktuell.pdf [18.01.2011])
- STRAßBURGER, A. U. KUTTLER, W. (1998): Diurnal course of ozone in an inner urban park area. Meteorol. Zeitschrift 7, S. 15-18
- STRAßBURGER, A. (2004): Analyse atmosphärischer Spurengase zur Bestimmung des lufthygienischen Erholungswertes eines urbanen Parks. Dissertation FB 9, Universität Duisburg-Essen, 167 S.
- VDI (1997/2003): VDI-Richtlinie 3787 Bl. 1: Umweltmeteorologie. Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen. Düsseldorf. 73 S.
- VDI (1998/2003): VDI-Richtlinie 3787 Bl. 2: Umweltmeteorologie. Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stad- und Regionalplanung. Teil 1: Klima. Düsseldorf. 29 S.

- VDI (2001): VDI-Richtlinie 2310 Bl. 15: Maximale Immissions-Werte zum Schutz des Menschen. Maximale Immissions-Konzentrationen für Ozon. Düsseldorf. 72 S.
- VDI (2004a): VDI-Richtlinie 3787 Bl. 9: Umweltmeteorologie. Berücksichtigung von Klima von Lufthygiene in räumlichen Planungen. Düsseldorf. 70 S.
- VDI (2004b): VDI-Richtlinie 2310 Bl. 12: Maximale Immissions-Werte zum Schutz des Menschen. Maximale Immissions-Konzentrationen für Stickstoffdioxid. Düsseldorf. 44 S.
- VDI (2006): VDI-Richtlinie 3787 Bl. 10: Umweltmeteorologie. Anforderungen an die Umweltbedingungen im Bereich der Erholung, Prävention, Heilung und Rehabilitation. Düsseldorf. 44 S.
39. BImSchV (2010): Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen) vom 2. August 2010 (BGBl. 1 S. 1065)

Anhang

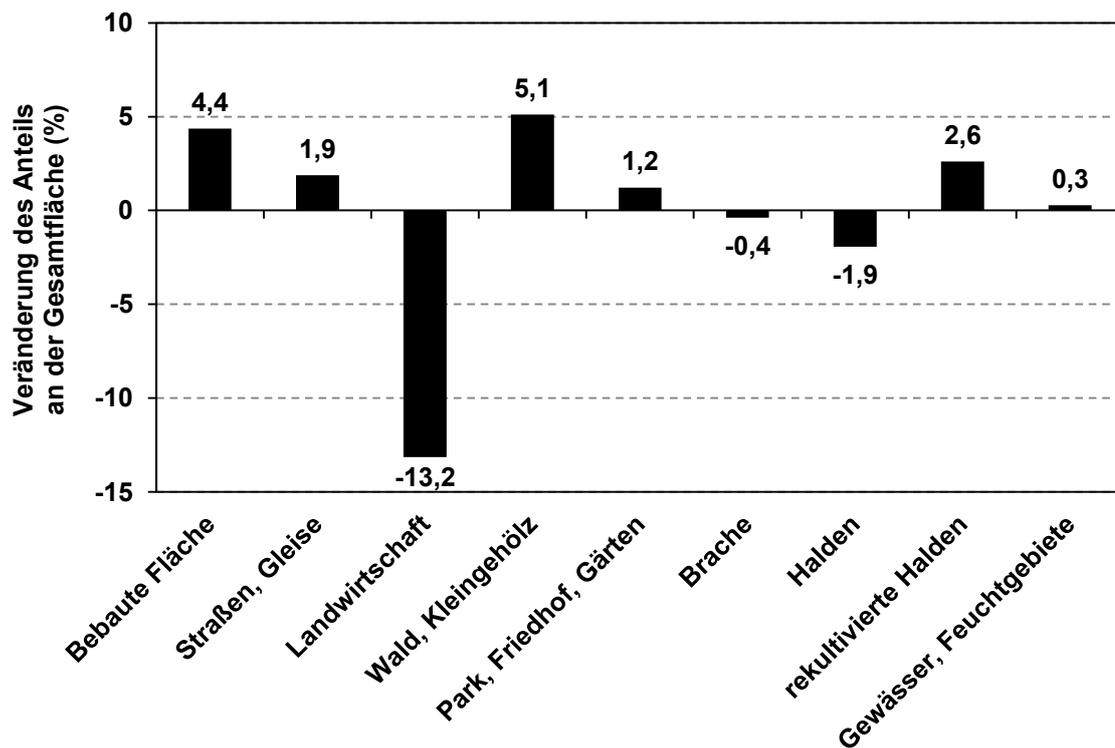


Abb. A1: Prozentuale Veränderung der Flächennutzung der Stadt Gelsenkirchen zwischen den Jahren 1969 und 2009 (Datengrundlage: Freiflächenmonitoring der Stadt Gelsenkirchen)

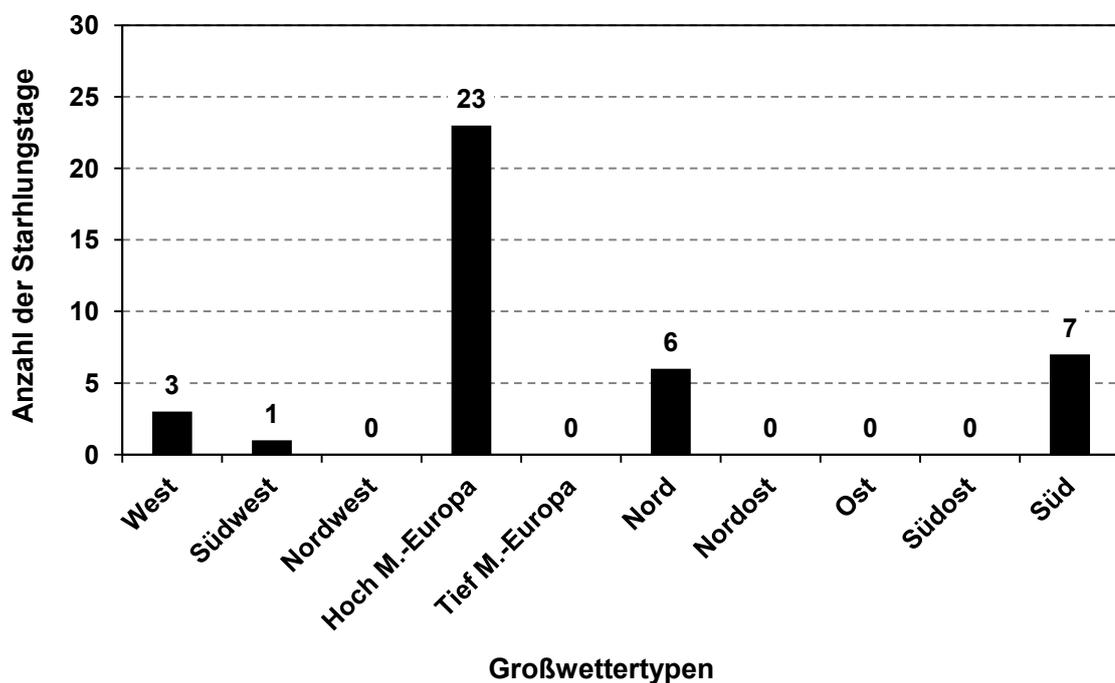
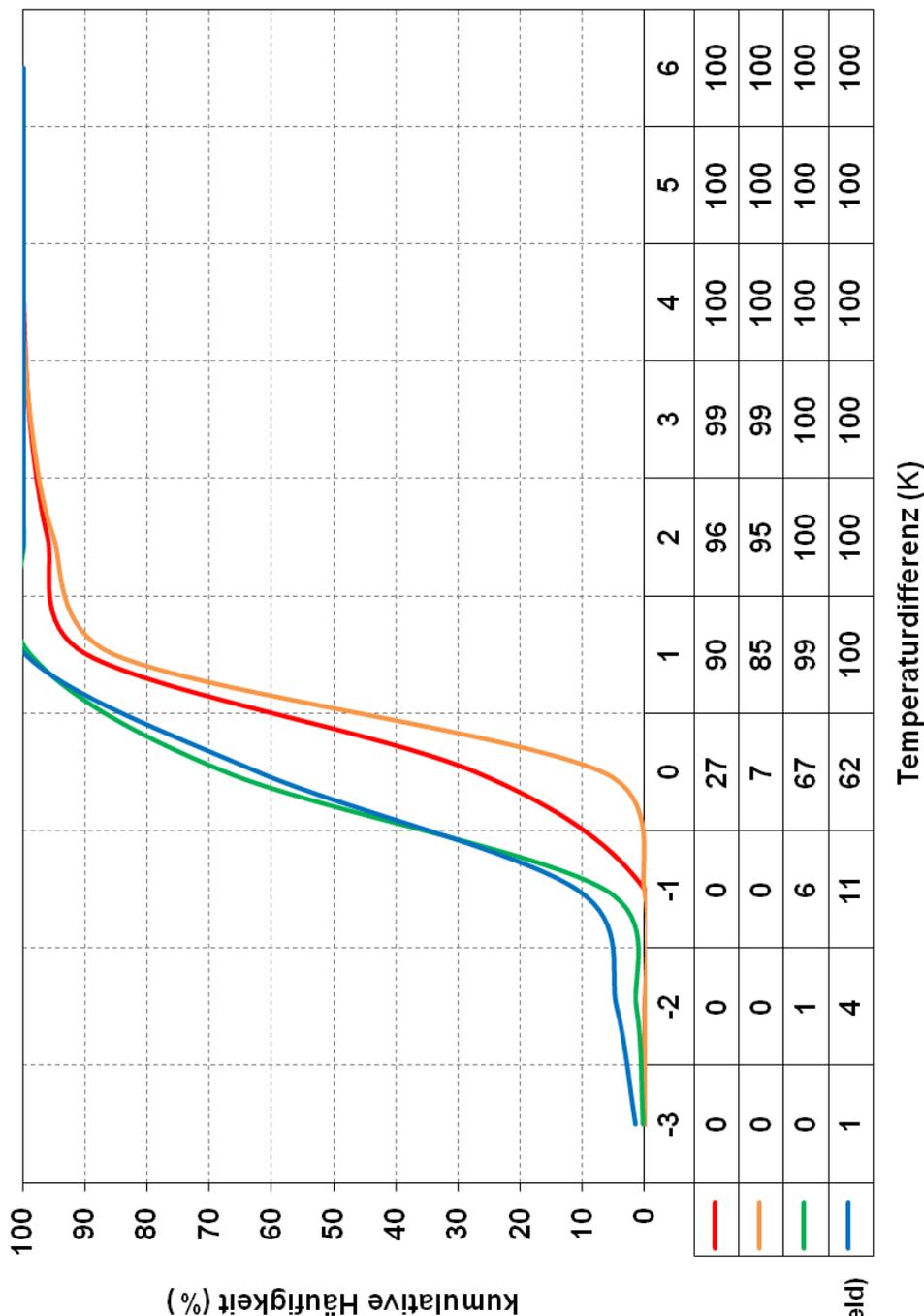


Abb. A2: Großwettertypenzuordnung der Strahlungstage für die Stadt Gelsenkirchen innerhalb der Messperiode vom 01.03.2010 bis 28.02.2011



Δt St. 1 (Buer) - St.4 (Sutumer Feld)
 Δt St. 2 (Altstadt) - St.4 (Sutumer Feld)
 Δt St. 3 (Hassel) - St.4 (Sutumer Feld)
 Δt St. 5 (Nordsternpark) - St.4 (Sutumer Feld)

Abb. A3: Kumulative Häufigkeit (%) der Temperaturdifferenzen zwischen den Stationen Buer, Altstadt, Hassel sowie Nordsternpark und der Station Sutumer Feld (Messzeitraum: 01.03.2010 bis 28.02.2011)

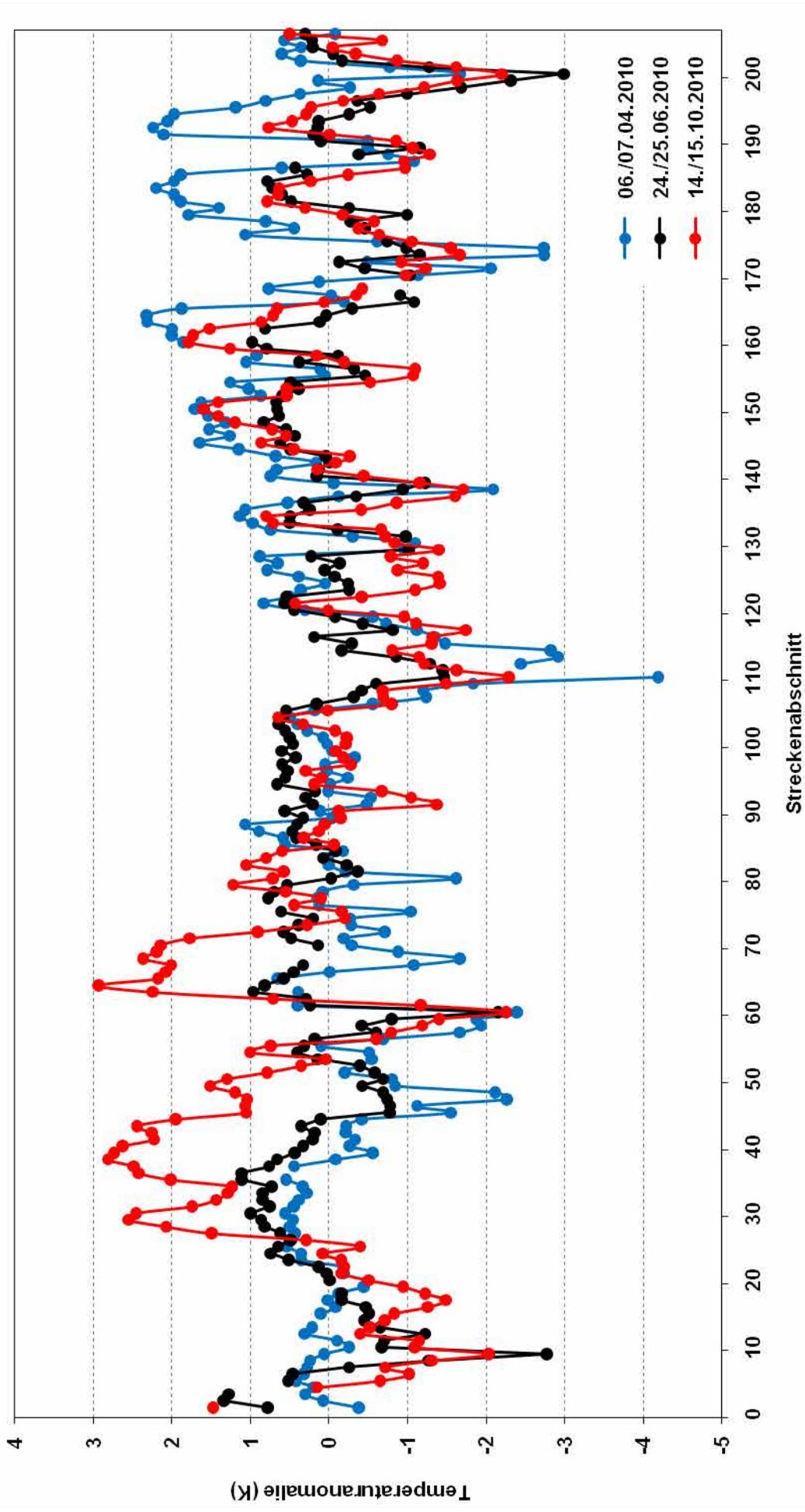


Abb. A4: Streckenverlauf der Temperaturanomalien der drei nächtlichen Temperaturmessfahrten am 06./07.04.2010 (21:00 – 01:55 MEZ), 24./25.06.2010 (22:20 – 02:35 MEZ) und 14./15.10.2010 (21:55 – 03:15 MEZ) im Vergleich

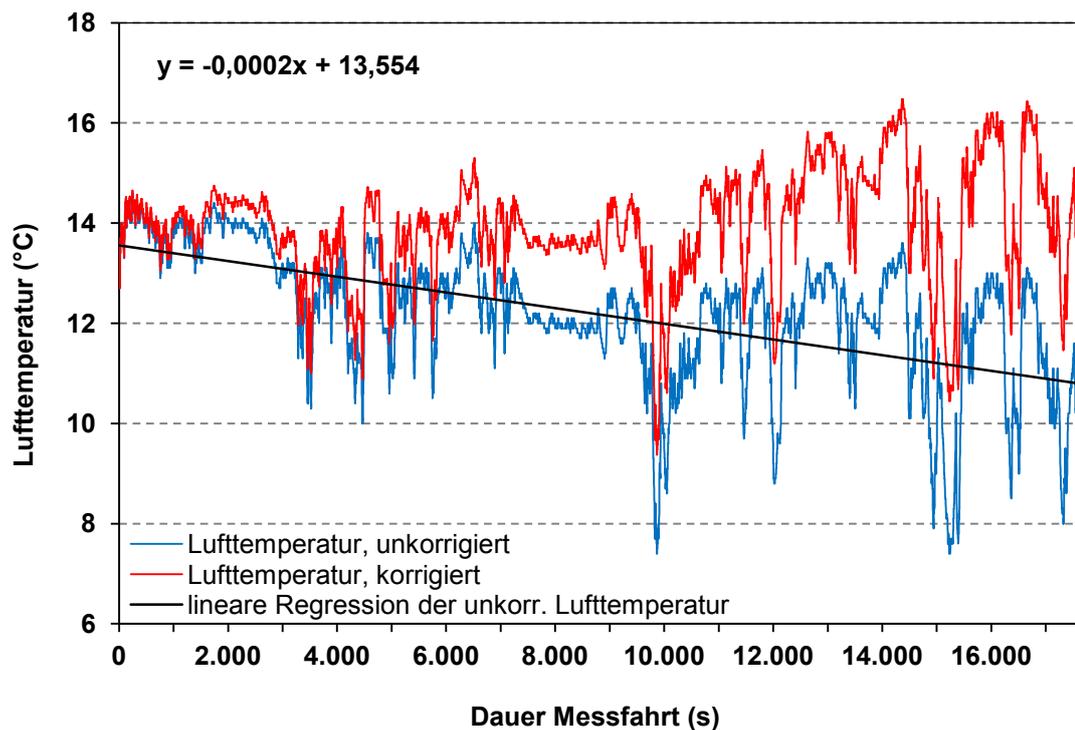


Abb. A5: Korrektur der Lufttemperaturmessfahrt vom 06./07.04.2010 (21:00 – 01:35 MEZ) im Untersuchungsgebiet der Stadt Gelsenkirchen anhand linearer Regression

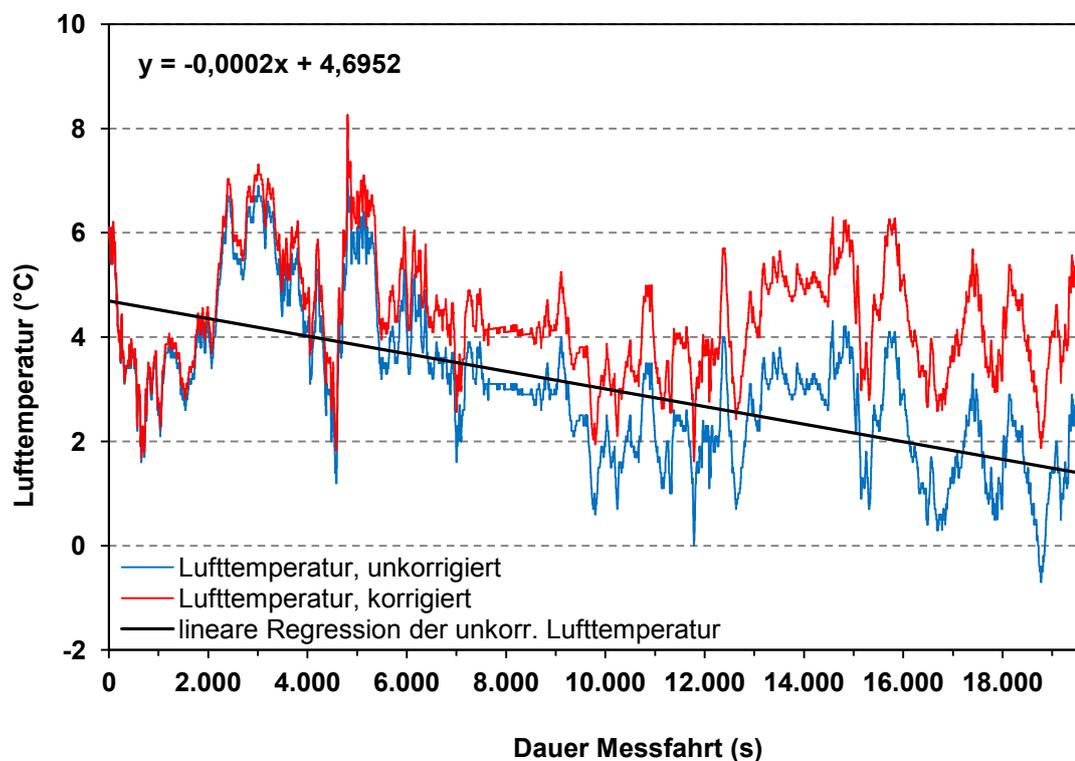


Abb. A6: Korrektur der Lufttemperaturmessfahrt vom 14./15.10.2010 (21:55 – 03:15 MEZ) im Untersuchungsgebiet der Stadt Gelsenkirchen anhand linearer Regression

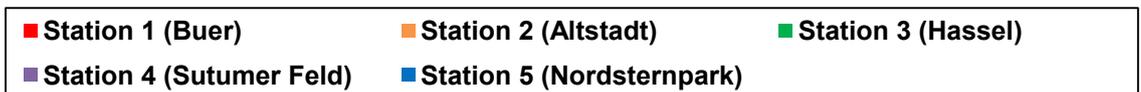
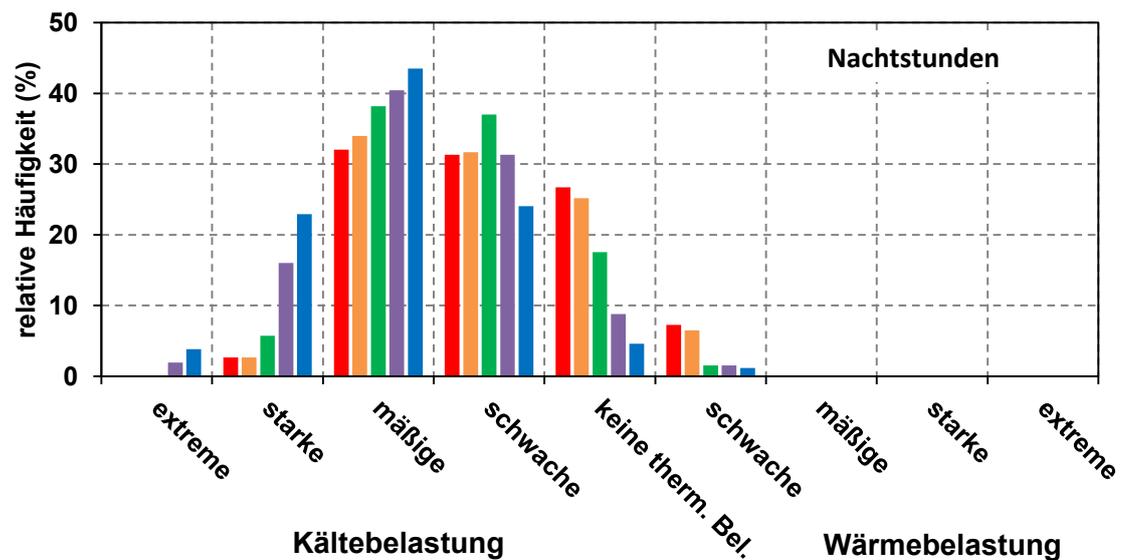
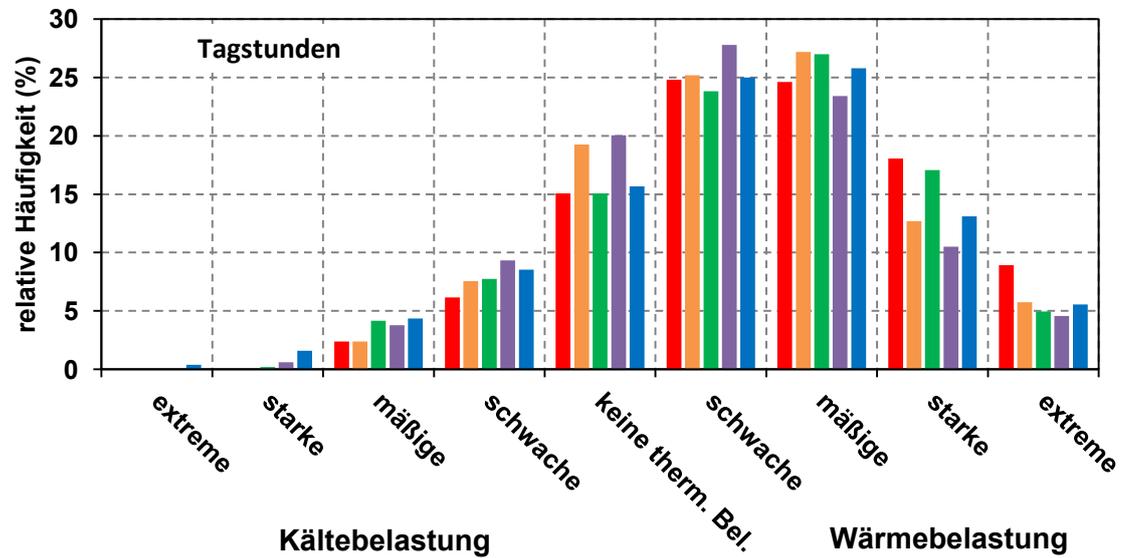
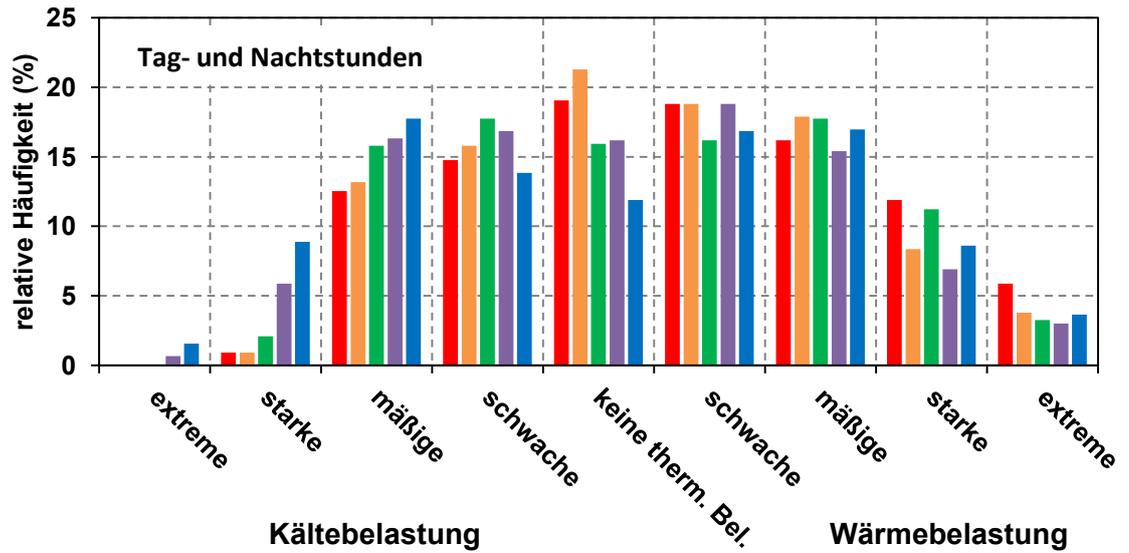
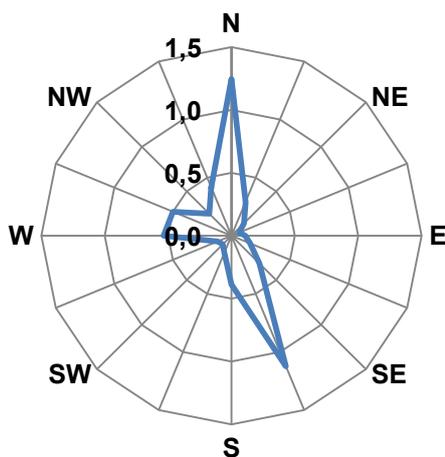
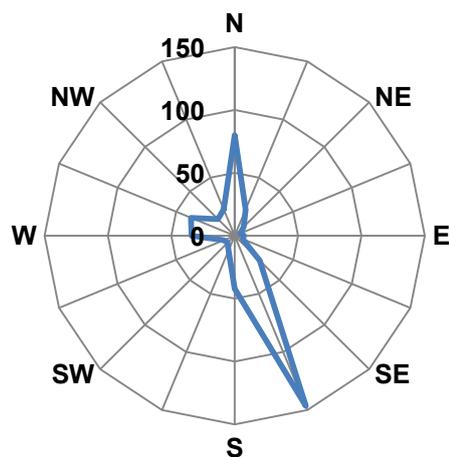
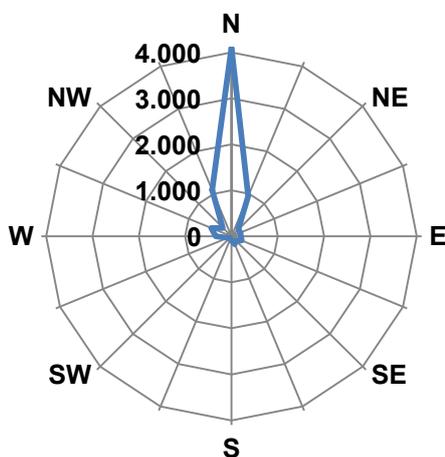
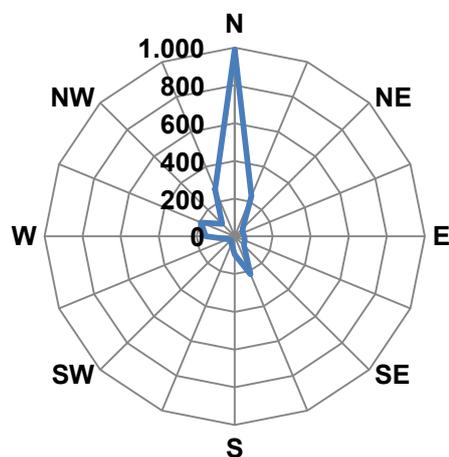
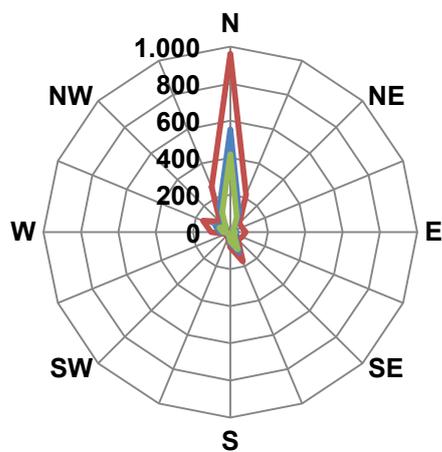


Abb. A7: Häufigkeitsverteilung der thermophysiologicalen Belastungsstufen an den fünf Klimastationen im Untersuchungsgebiet Gelsenkirchen bezogen auf das Gesamtkollektiv und differenziert nach Tag- und Nachtstunden (Datenbasis: Stundenmittelwerte der 32 sommerlichen Strahlungstage)

CO (g m⁻²)NO (mg m⁻²)O₃ (mg m⁻²)NO₂ (mg m⁻²)PM_x (mg m⁻²)

— PM10 — PM2,5 — PM1

Abb. A8: Massenflussdosedosen der verschiedenen Spurenstoffe und Partikelgrößenfraktionen während der 36 h-Standmessung am Standort Sternschule (Altstadt) (Messzeitraum: 22.06.2010 11:00 MEZ bis 23.06.2010 23:00 MEZ; Datenbasis: 1 min-Mittelwerte)

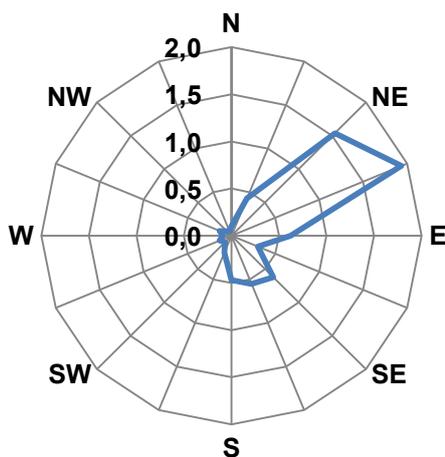
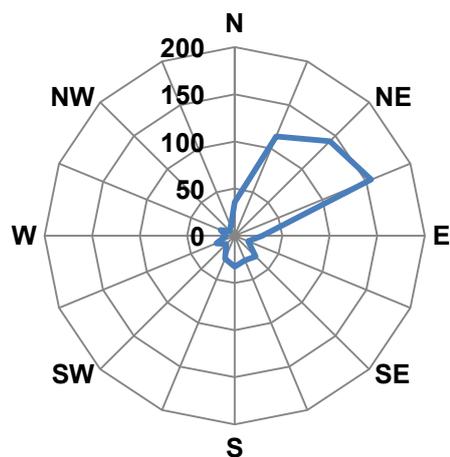
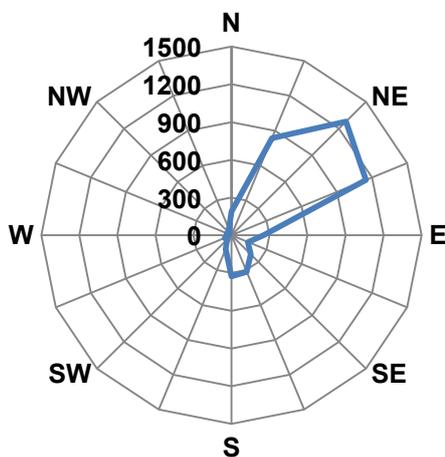
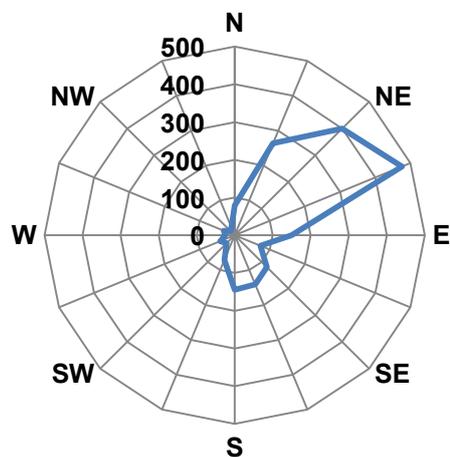
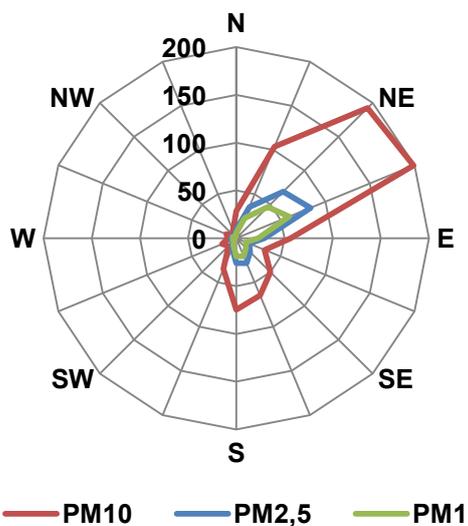
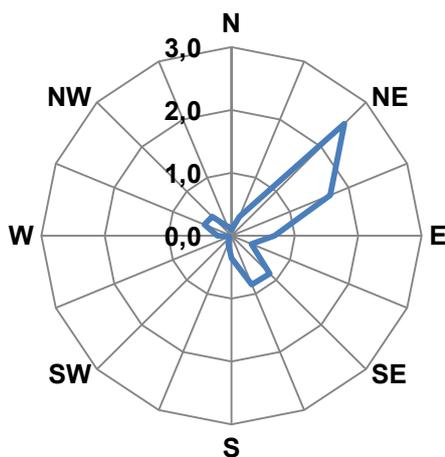
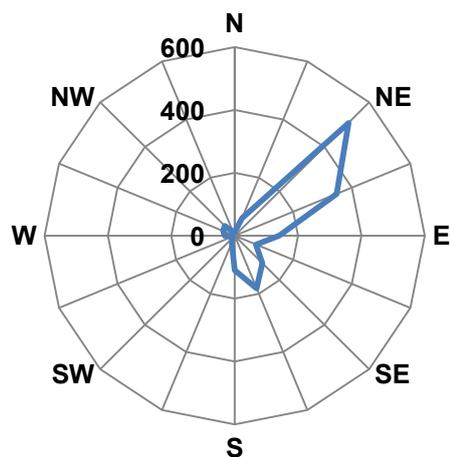
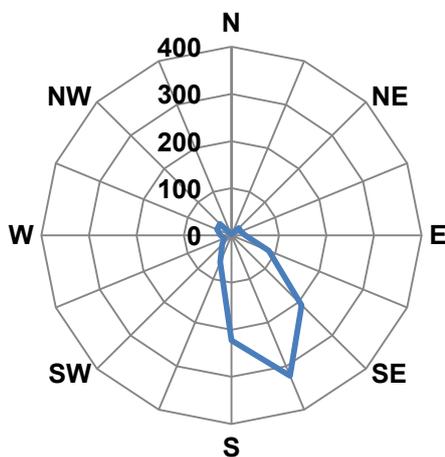
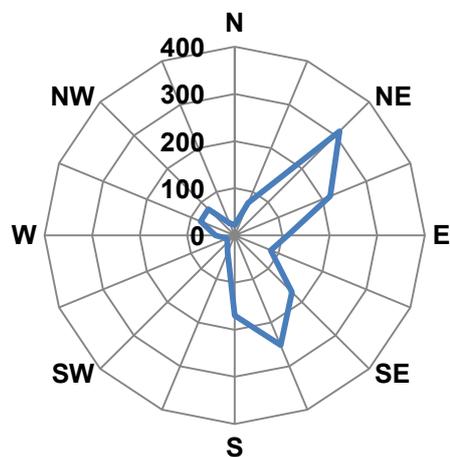
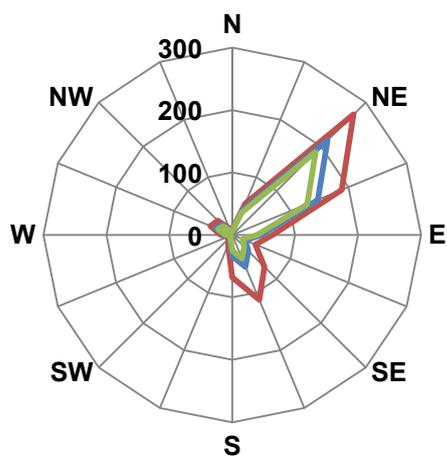
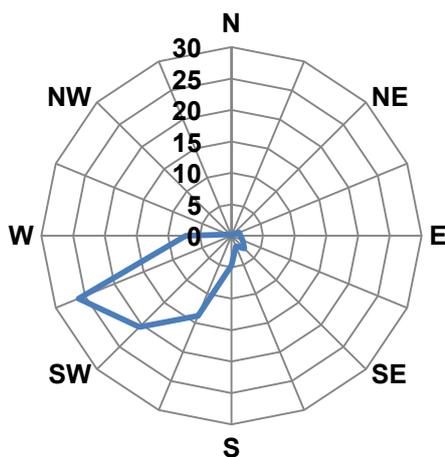
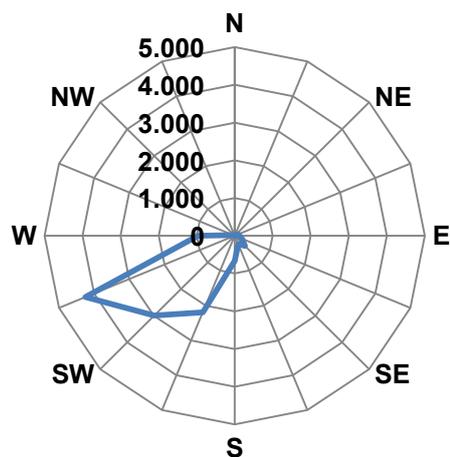
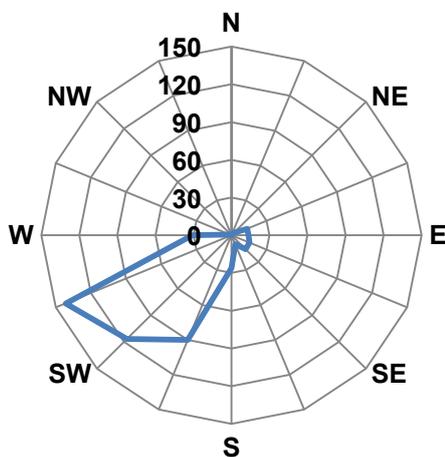
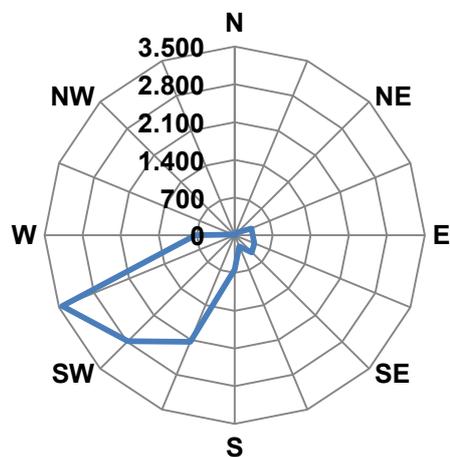
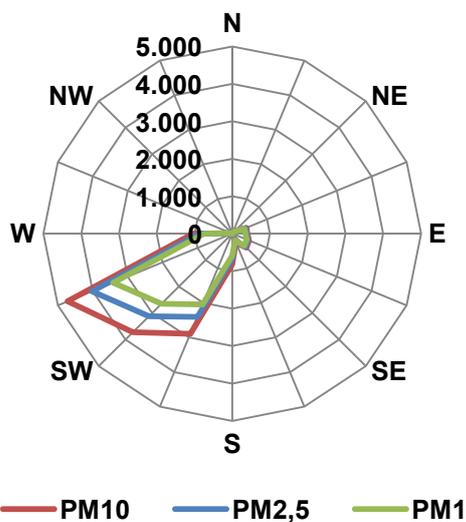
CO (g m⁻²)NO (mg m⁻²)O₃ (mg m⁻²)NO₂ (mg m⁻²)PM_x (mg m⁻²)

Abb. A9: Massenflussdosedosen der verschiedenen Spurenstoffe und Partikelgrößenfraktionen während der 24 h-Standmessung am Standort Schloß Horst (Messzeitraum: 19.07.2010 23:00 MEZ bis 20.07.2010 23:00 MEZ; Datenbasis: 1 min-Mittelwerte)

CO (g m⁻²)NO (mg m⁻²)O₃ (mg m⁻²)NO₂ (mg m⁻²)PM_x (mg m⁻²)

— PM10 — PM2,5 — PM1

Abb. A10: Massenflussdichtedosen der verschiedenen Spurenstoffe und Partikelgrößenfraktionen während der 24 h-Standmessung am Standort Resse (Messzeitraum: 21.09.2010 23:00 MEZ bis 22.09.2010 23:00 MEZ; Datenbasis: 1 min-Mittelwerte)

CO (g m⁻²)NO (mg m⁻²)O₃ (mg m⁻²)NO₂ (mg m⁻²)PM_x (mg m⁻²)

— PM10 — PM2,5 — PM1

Abb. A11: Massenflussdosedosen der verschiedenen Spurenstoffe und Partikelgrößenfraktionen während der 27 h-Standmessung am Standort Buer (Messzeitraum: 31.01.2011 17:00 MEZ bis 01.02.2011 20:00 MEZ; Datenbasis: 1 min-Mittelwerte)

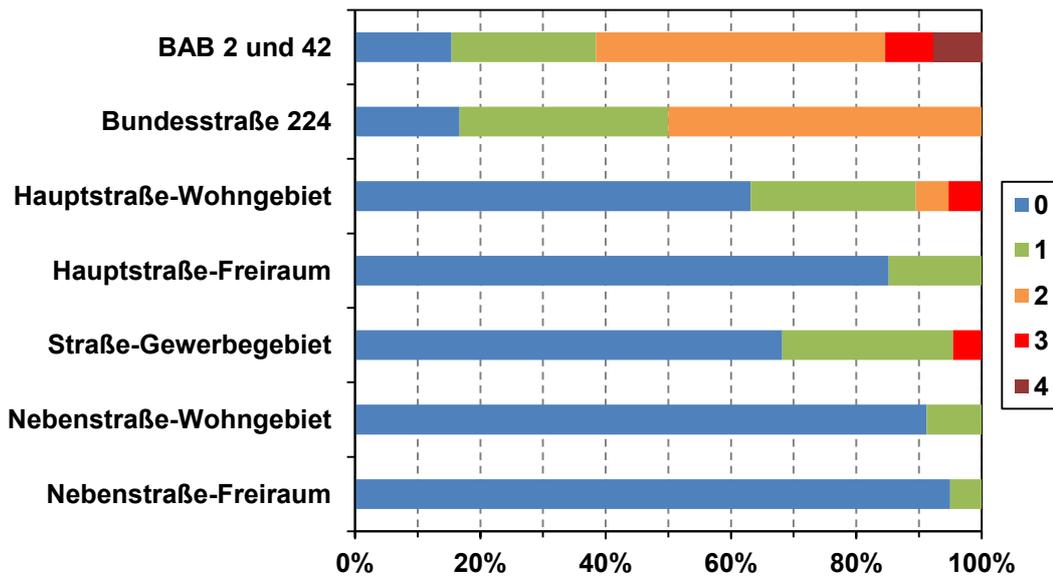


Abb. A12: Prozentuale Anteile der jeweiligen Immissionsindex-Werte für die verschiedenen Straßentypen

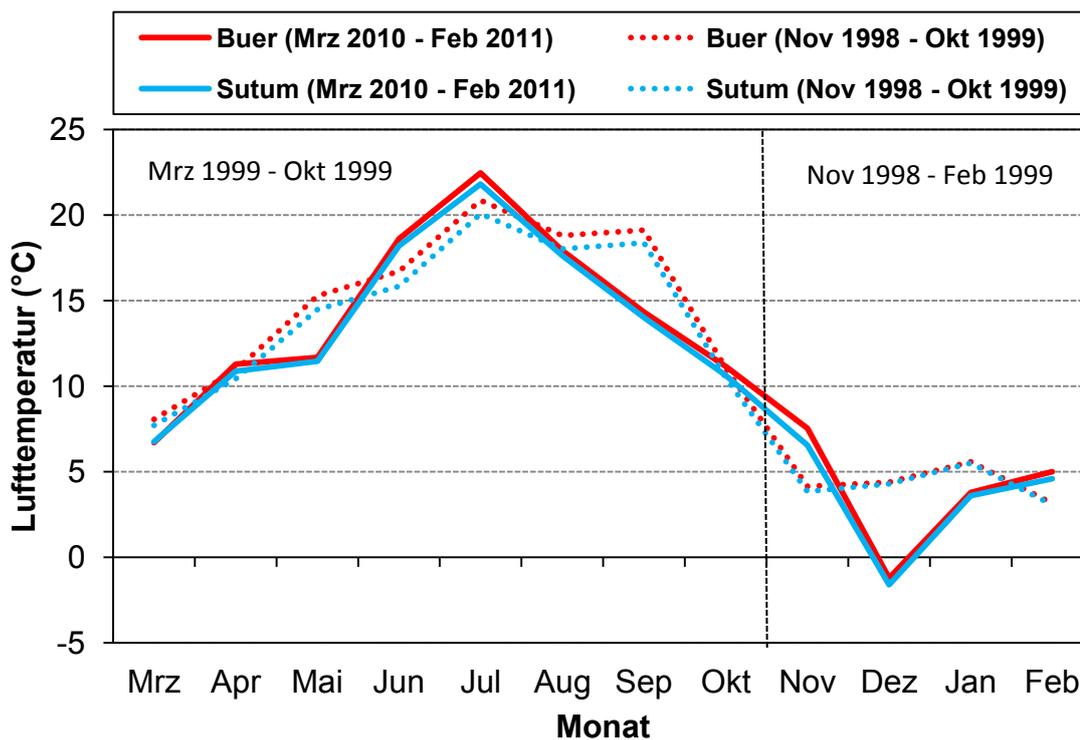


Abb. A13: Vergleich der Lufttemperaturverhältnisse an den Klimafeststationen Buer und Sutumer Feld während der beiden Messperioden Nov 1998 – Okt 1999 und Mrz 2010 – Feb 2011

Tab. A1: Prozentualer Anteil der Flächennutzung an der Gesamtfläche der Stadtbezirke bzw. -teile (Stand: 2009, Datengrundlage: Freiflächenmonitoring der Stadt Gelsenkirchen)

Angaben in %	Bebaute Fläche	Straßen, Gleise	Park, Friedhof, Gärten	Landwirtschaft	Wald, Kleingehölz	Gewässer, Feuchtgebiete	Brache	Halden	rekultivierte Halden
Altstadt	46,0	24,2	16,6	0,0	6,5	2,4	0,3	0,0	3,9
Schalke	65,7	17,3	9,3	0,0	3,8	0,1	3,9	0,0	0,0
Schalke-Nord	46,2	12,8	7,5	1,2	15,1	8,8	7,7	0,0	0,6
Bismarck	28,8	12,9	21,2	3,8	16,3	4,8	8,5	3,4	0,4
Bulmke-Hüllen	45,2	15,3	19,0	0,2	7,5	0,8	11,9	0,0	0,0
Feldmark	29,7	10,2	28,7	1,9	12,6	3,4	3,1	0,0	10,5
Heßler	27,1	14,5	18,5	14,3	17,7	5,6	1,4	0,0	0,9
Mitte	38,8	14,2	17,9	3,4	12,5	4,1	6,2	0,9	2,0
Buer	34,8	14,2	13,4	6,6	24,2	1,8	2,7	0,0	2,3
Scholven	35,7	7,4	4,1	26,9	14,9	1,7	1,6	0,5	7,2
Hassel	30,2	12,1	9,7	22,7	15,5	1,9	5,8	0,0	2,0
Nord	34,1	11,1	9,1	17,9	18,7	1,8	3,0	0,2	4,1
Horst	50,1	9,5	19,6	6,6	9,0	1,0	3,1	0,0	1,1
Beckhausen	33,3	11,1	11,9	26,1	8,7	0,7	3,3	0,0	4,8
West	42,1	10,2	16,0	16,0	8,9	0,9	3,2	0,0	2,9
Erle	51,5	18,7	14,3	1,8	11,1	0,6	2,0	0,0	0,0
Resse	23,7	8,7	13,5	37,4	13,8	1,4	1,3	0,0	0,3
ResserMark	7,3	7,2	11,0	5,5	48,1	5,7	1,3	3,9	10,0
Ost	29,2	12,0	13,0	14,1	23,3	2,4	1,6	1,2	3,2
Neustadt	59,9	21,3	9,9	0,0	4,1	2,4	2,4	0,0	0,0
Ückendorf	40,4	11,1	18,0	4,0	14,0	1,0	2,5	0,0	9,1
Rotthausen	42,1	11,2	17,2	3,3	5,6	1,7	3,0	0,0	15,8
Süd	42,0	11,6	17,3	3,5	10,6	1,3	2,7	0,0	11,0

Tab. A2: Relative Häufigkeit der Großwetterlagen im Messzeitraum vom 01.03.2010 bis 28.02.2011 (nach Deutscher Wetterdienst 2010/11) im Vergleich zum langjährigen Mittel von 1881 bis 2009 (nach Gerstengarbe u. Werner 2010)

Zirkulationsform	Großwettertyp	Großwetterlage	Mittl. rel. Häufigkeit (%) 1881 - 2009	relative Häufigkeit (%) Messzeitraum	
Zonal	West	1. West, antizykl. (Wa)	5,77	1,37	
		2. West, zykl. (Wz)	15,70	13,42	
		3. Südliche Westlage (Ws)	3,05	-	
		4. Winkelförmige Westl. (Ww)	2,38	-	
Gemischt	Südwest	5. Südwest, antizykl. (SWa)	2,39	1,92	
		6. Südwest, zykl. (SWz)	2,62	7,40	
	Nordwest	7. Nordwest, antizykl. (NWa)	3,74	1,10	
		8. Nordwest, zykl. (NWz)	4,73	3,29	
	Hoch Mitteleuropa	9. Hoch über Mitteleuropa (HM)	8,89	3,56	
Tief M.-Europa	10. Hochdruckbrücke über Mitteleuropa (BM)	7,72	15,89		
Meridional	Nord	11. Tief über Mitteleuropa (TM)	2,46	2,74	
		12. Nord, antizykl. (Na)	0,92	1,37	
		13. Nord, zykl. (Nz)	2,81	1,92	
		14. Hoch Nordmeer-Island, antizykl. (HNa)	3,08	2,19	
		15. Hoch Nordmeer-Island, zykl. (HNz)	1,37	1,37	
		16. Hoch Britische Inseln (HB)	3,29	3,01	
		17. Trog Mitteleuropa (TrM)	4,47	10,68	
		Nordost	18. Nordost, antizykl. (NEa)	2,18	-
			19. Nordost, zykl. (NEz)	1,91	1,10
			Ost	20. Hoch Fennoskandien, antizykl. (HFa)	3,58
		21. Hoch Fennoskandien, zykl. (HFz)		1,09	2,74
	22. Hoch Nordmeer-Fennosk., antizykl. (HNFa)	1,41		-	
	23. Hoch Nordmeer-Fennosk., zykl. (HNFz)	1,69		4,11	
	Südost	24. Südost, antizykl. (SEa)		2,17	-
		25. Südost, zykl. (SEz)	1,46	1,37	
	Süd	26. Süd, antizykl. (Sa)	1,85	1,37	
		27. Süd, zykl. (Sz)	0,81	-	
		28. Tief Britische Inseln (TB)	2,21	-	
		29. Trog über Westeuropa (TrW)	3,42	13,42	

Tab. A3: Mittlere Windgeschwindigkeit (m s^{-1}) an der Station Sotumer Feld (Station 4) während austauscharmer Strahlungstage (Messzeitraum: 01.03.2010 - 28.02.2011)

Monat	Tag																															Mittelwert			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31				
Mrz																																			
Apr												0,9	1,3																					1,1	
Mai																			1,7	1,9														1,8	
Juni				1,5	1,1							1,3											0,9	0,9	1,3			1,2	1,3	1,6	1,2		1,2		
Juli	1,2	1,5	1,5			2,0	1,0	1,2	1,1	1,0	1,6												1,5										1,3	1,3	
Aug			1,6			0,8	1,2		0,9	1,6			1,0						1,4	0,8														1,2	
Sep																					0,9	1,0	1,2											1,0	
Okt												1,0																						1,0	
Nov																																			
Dez																																			
Jan																																			
Feb																																			
Mittelwert (insgesamt)																															1,2				

Tab. A4: Arithmetischer Mittelwert der Lufttemperatur (\bar{t}), absolute Lufttemperaturminima ($t_{(min)}$) und -maxima ($t_{(max)}$) für die Jahreszeiten und die einzelnen Monate des Untersuchungszeitraums (Messzeitraum: 01.03.2010 – 28.02.2011; Datengrundlage: Stundenmittelwerte)

Zeitraum	Lufttemperatur (°C)	St. 1 BUE	St. 2 AST	St. 3 HAS	St. 4 SUT	St. 5 NOP
Frühjahr	\bar{t}	9,9	10,2	9,5	9,7	9,4
	$t_{(min)}$	-5,2	-4,9	-5,8	-5,3	-5,3
	$t_{(max)}$	26,7	26,8	26,1	26,1	26,3
Sommer	\bar{t}	19,7	20,0	19,0	19,2	18,8
	$t_{(min)}$	9,0	9,8	7,9	7,3	6,3
	$t_{(max)}$	35,1	35,5	34,6	34,5	34,7
Herbst	\bar{t}	10,8	11,0	10,2	10,4	10,1
	$t_{(min)}$	-3,2	-2,9	-3,9	-3,4	-4,3
	$t_{(max)}$	25,1	24,7	24,3	23,8	23,9
Winter	\bar{t}	2,5	2,6	2,0	2,1	2,0
	$t_{(min)}$	-7,3	-7,1	-10,0	-8,3	-11,4
	$t_{(max)}$	14,5	14,5	14,2	14,5	14,2
März 2010	\bar{t}	6,7	7,1	6,6	6,7	6,5
	$t_{(min)}$	-5,2	-4,9	-5,8	-5,3	-5,3
	$t_{(max)}$	23,1	22,9	22,6	22,2	22,2
April 2010	\bar{t}	11,3	11,6	10,6	10,9	10,5
	$t_{(min)}$	2,5	3,1	-0,2	1,2	-1,3
	$t_{(max)}$	26,7	26,8	26,1	26,1	26,3
Mai 2010	\bar{t}	11,7	12,0	11,3	11,5	11,3
	$t_{(min)}$	3,4	3,5	0,9	1,9	0,2
	$t_{(max)}$	24,9	24,7	24,6	24,9	25,0
Juni 2010	\bar{t}	18,6	19,0	17,8	18,2	17,8
	$t_{(min)}$	9,4	9,9	7,9	7,3	6,3
	$t_{(max)}$	30,3	30,2	29,7	29,8	30,2
Juli 2010	\bar{t}	22,5	22,8	21,5	21,8	21,3
	$t_{(min)}$	12,7	13,5	10,0	10,6	9,2
	$t_{(max)}$	35,1	35,5	34,6	34,5	34,7
August 2010	\bar{t}	18,0	18,3	17,5	17,6	17,4
	$t_{(min)}$	9,0	9,8	9,2	9,2	9,3
	$t_{(max)}$	29,1	28,8	27,6	28,1	27,8
September 2010	\bar{t}	14,3	14,7	13,9	14,0	13,6
	$t_{(min)}$	7,4	7,4	6,0	5,9	4,1
	$t_{(max)}$	25,1	24,7	24,3	23,8	23,9
Oktober 2010	\bar{t}	11,1	11,1	10,4	10,6	10,3
	$t_{(min)}$	2,6	3,2	0,3	0,8	-0,9
	$t_{(max)}$	24,7	23,9	23,8	23,3	23,5
November 2010	\bar{t}	6,9	7,1	6,3	6,5	6,4
	$t_{(min)}$	-3,2	-2,9	-3,9	-3,4	-4,3
	$t_{(max)}$	16,6	16,7	16,6	16,7	16,6
Dezember 2010	\bar{t}	-1,2	-1,0	-1,8	-1,6	-1,8
	$t_{(min)}$	-7,3	-7,1	-10,0	-8,3	-11,4
	$t_{(max)}$	7,1	7,7	7,4	7,2	7,3
Januar 2011	\bar{t}	3,8	4,0	3,5	3,6	3,4
	$t_{(min)}$	-5,2	-5,2	-6,0	-5,8	-6,0
	$t_{(max)}$	12,9	13,4	13,0	13,2	13,1
Februar 2011	\bar{t}	5,0	5,1	4,5	4,6	4,5
	$t_{(min)}$	-6,0	-6,0	-6,8	-6,6	-7,0
	$t_{(max)}$	14,5	14,5	14,2	14,5	14,2

Tab. A5: Mittlere tägliche Wärmeintensität (K) anhand der Temperaturdifferenz zwischen der Stadtstation Buer (Station 1) und der Umlandstation Sutumer Feld (Station 4) im Untersuchungsgebiet Gelsenkirchen (Messzeitraum: 01.03.2010 bis 28.02.2011)

Monat	Tag																															Mittelwert
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
März	-0,3	0,3	0,8	-0,1	0,0	-0,1	0,2	0,0	0,0	-0,1	0,0	-0,1	-0,2	-0,3	-0,2	-0,1	0,0	0,2	-0,3	-0,3	-0,2	0,6	0,0	0,4	0,3	-0,1	-0,1	-0,2	-0,1	0,0	-0,1	0,0
Apr	-0,1	0,1	-0,1	-0,1	0,8	0,4	0,3	0,6	0,6	-0,1	0,2	-0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,6	1,4	0,3	0,9	0,3	0,4	0,5	0,8	1,1	0,0	0,9	1,8	0,8	0,1	0,4	
Mai	0,5	0,3	0,2	0,0	0,2	-0,1	0,0	0,2	0,8	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,1	0,2	0,1	0,5	0,5	0,1	0,1	0,4	0,1	0,3	0,7	0,1	0,1	0,1	0,4	1,4	0,0	-0,1	0,2
Juni	0,2	-0,1	0,1	0,2	0,7	0,9	0,2	0,7	0,1	0,2	0,1	0,1	0,5	0,3	0,2	0,2	0,3	0,1	0,0	0,0	0,2	0,4	1,4	1,2	0,1	0,5	0,6	0,9	1,0	1,0	0,4	
Juli	0,9	1,0	1,0	0,3	0,4	0,5	1,3	1,2	1,3	0,7	0,6	0,5	0,8	0,9	0,5	1,0	0,4	0,8	1,3	1,3	0,8	0,2	0,6	0,3	0,7	0,0	0,1	0,0	0,3	0,3	0,7	
Aug	0,1	0,6	0,7	0,3	0,1	0,9	1,2	0,0	0,5	1,0	-0,1	0,3	0,8	1,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,4	1,3	0,8	0,4	0,0	0,0	0,0	-0,2	-0,1	0,2	-0,2	-0,1	0,3	0,3
Sep	0,6	0,7	0,3	0,7	0,7	0,5	0,1	0,0	0,1	-0,1	0,5	0,6	0,2	-0,3	-0,1	-0,1	0,0	0,1	0,5	-0,1	0,4	1,0	1,1	-0,1	0,2	0,3	0,2	0,0	0,7	0,6	0,3	
Okt	0,5	0,1	0,3	0,5	0,6	0,5	0,6	0,7	0,8	0,7	0,6	0,9	0,8	1,7	0,3	0,2	0,5	0,6	0,1	0,2	0,1	0,3	0,2	0,2	1,1	0,9	0,0	0,2	0,3	0,2	1,2	0,5
Nov	0,8	0,1	0,0	-0,1	0,1	0,4	0,3	0,3	0,3	0,4	0,0	-0,1	-0,2	0,4	1,6	0,4	0,6	0,3	0,4	0,4	0,4	0,2	0,3	0,3	0,4	0,8	0,7	0,6	0,3	0,1	0,3	
Dez	0,2	0,4	0,9	0,2	0,0	0,4	0,4	0,3	0,1	0,3	0,0	0,2	0,4	0,3	0,6	0,7	0,2	1,0	0,4	0,6	1,3	0,3	0,3	0,0	0,3	0,0	0,2	0,6	0,8	1,2	0,2	0,4
Jan	0,2	0,5	0,4	0,2	0,3	-0,1	0,2	-0,2	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,4	0,2	0,3	0,5	0,5	0,8	0,6	0,5	0,2	0,4	0,3	0,2	0,4	0,3	0,5	0,3
Feb	0,4	0,2	0,2	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,6	1,7	0,4	0,1	0,2	0,2	0,4	0,3	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,9	0,4	0,5	0,4	0,1	0,1	0,5	0,4	0,4	

Tab. A6: Mittlere tägliche Wärmeintensität (K) anhand der Temperaturdifferenz zwischen der Stadtstation Altstadt (Station 2) und der Umlandstation Sutumer Feld (Station 4) im Untersuchungsgebiet Gelsenkirchen (Messzeitraum: 01.03.2010 bis 28.02.2011)

Monat	Tag																															Mittelwert
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
März	0,0	0,7	1,0	0,3	0,4	0,2	0,3	0,5	0,3	0,1	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,4	0,5	0,5	0,3	0,2	0,2	0,9	0,4	0,7	0,8	0,3	0,4	0,3	0,4	0,5	0,3	0,4
Apr	0,4	0,4	0,4	0,1	0,3	1,0	0,8	0,7	0,9	0,7	0,7	0,2	0,3	0,6	0,6	0,7	0,8	1,2	0,8	1,1	0,7	0,7	0,8	0,7	0,8	0,4	1,3	1,7	1,0	0,8	0,7	
Mai	0,9	0,8	0,7	0,5	0,7	0,3	0,3	0,8	1,2	0,6	0,5	0,2	0,4	0,6	0,6	0,6	0,9	0,8	0,4	0,6	0,9	0,5	0,2	0,6	-0,1	0,3	0,5	0,8	1,4	0,2	0,2	0,6
Juni	0,6	0,6	0,6	0,7	1,0	0,6	0,6	1,0	0,7	0,6	0,6	0,3	0,8	0,7	0,8	0,6	0,7	0,6	0,4	0,4	0,6	1,1	1,5	1,1	0,7	0,8	1,0	1,0	1,3	0,8	0,8	
Juli	1,0	1,1	0,8	0,6	0,9	0,9	1,5	1,3	1,3	1,2	0,8	0,8	1,4	1,1	0,8	1,2	1,1	1,4	1,5	1,6	1,1	0,6	1,0	0,7	0,8	0,5	0,5	0,5	0,4	0,6	1,0	
Aug	0,4	1,0	1,1	0,7	0,5	1,2	1,3	0,5	1,0	1,1	0,3	0,7	1,1	1,0	0,3	0,5	0,4	0,5	0,8	1,4	1,2	0,7	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,2	0,4	0,5	0,7
Sep	1,2	1,0	0,8	1,2	0,7	0,6	0,7	0,3	0,5	0,3	0,6	1,1	0,5	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,8	0,3	1,0	0,8	1,2	0,5	0,5	0,7	0,8	0,4	0,9	0,6	0,6	
Okt	0,5	0,3	0,4	0,5	0,3	0,3	0,6	0,7	0,4	0,2	0,2	0,8	0,6	1,1	0,3	0,4	0,5	0,5	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,9	1,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,8	0,5
Nov	0,6	0,5	0,3	0,2	0,2	0,4	0,6	0,4	0,6	0,6	0,3	0,2	0,5	0,3	0,6	1,7	0,6	0,7	0,4	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3	0,5	0,9	0,7	0,4	0,3	0,5	0,5	
Dez	0,4	0,6	1,0	0,3	0,2	0,6	0,3	0,4	0,4	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,8	0,5	1,2	0,9	0,8	0,8	0,6	0,5	0,2	0,5	0,5	0,6	0,7	0,9	1,0	0,5	0,6
Jan	0,6	0,6	0,8	0,4	0,3	0,4	0,9	0,3	0,5	0,7	0,5	0,4	0,7	0,5	0,3	0,2	0,5	0,5	0,3	0,5	0,4	0,6	0,4	0,5	0,3	0,6	0,5	0,4	0,3	0,4	0,5	0,5
Feb	0,4	0,3	0,4	0,1	0,2	0,1	0,2	0,8	1,2	0,6	0,4	0,5	0,4	0,6	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7	0,6	0,9	0,5	0,6	0,4	0,4	0,4	0,7	0,7	0,5	0,5

Tab. A7: Mittlere tägliche Wärmeinsensitivität (K) anhand der Temperaturdifferenz zwischen der Vorortstation Hassel (Station 3) und der Umlandstation Sutumer Feld (Station 4) im Untersuchungsgebiet Gelsenkirchen (Messzeitraum: 01.03.2010 bis 28.02.2011)

Monat	Tag																															Mittelwert	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
März	-0,2	0,4	0,4	0,0	0,0	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,2	-0,1	0,3	-0,3	0,0	-0,1	-0,2	0,0	0,0	-0,3	-0,2	-0,3	-0,4	0,0	-0,2	0,0	-0,2	0,0	-0,2	-0,1	-0,1	-0,4	0,0	-0,1
Apr	0,0	0,0	-0,1	-0,1	0,0	-0,1	-0,7	-0,4	-0,5	-0,5	-0,3	0,0	-0,2	-0,2	-0,3	-0,1	-0,9	-0,4	-0,2	-0,2	0,2	0,2	-0,1	-0,9	-1,1	-0,4	-0,3	0,2	-0,1	0,0	-0,3	-0,3	
Mai	-0,1	-0,2	-0,1	-0,3	-0,6	-0,2	-0,1	-0,3	0,1	0,4	0,5	0,5	0,2	-0,1	0,0	0,0	0,3	-0,1	-0,3	-0,4	-0,7	-0,5	-0,2	-0,1	-0,2	-0,1	-0,4	-0,4	0,1	-0,1	-0,1	-0,1	
Jun	-0,3	-0,8	-0,5	-0,9	-1,0	-0,6	-0,2	-0,2	-0,5	-0,4	-0,2	-0,2	0,0	-0,4	-0,2	0,0	-0,5	-0,1	-0,2	0,1	0,0	-0,4	-0,4	-0,6	-0,4	-0,6	-0,4	-0,7	-0,1	-0,3	-0,3	-0,4	
Juli	-0,3	-0,2	-0,1	-0,2	-0,2	-0,4	-0,2	-0,3	-0,8	-0,5	-0,1	-0,4	-0,1	-0,2	-0,2	0,0	-0,1	-0,3	-1,0	-0,7	-0,3	-0,3	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,3	-0,1	0,2	-0,1	-0,1	
Aug	0,0	-0,1	-0,2	-0,2	-0,1	-0,2	-0,1	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-0,1	-0,3	-0,1	-0,3	0,3	0,7	0,3	-0,3	-0,1	0,1	-0,2	0,0	-0,1	-0,4	-0,2	0,1	0,0	-0,2	-0,1	-0,3	
Sep	-0,4	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	0,1	0,0	-0,2	-0,3	-0,1	0,0	0,1	0,0	-0,3	-0,1	0,0	0,1	0,4	0,4	-0,2	-0,1	-0,7	-0,3	-0,3	-0,3	0,0	-0,3	-0,1	0,0	-0,6	-0,2	-0,2	
Okt	0,0	-0,3	-0,3	-0,7	-0,3	-0,2	-0,3	-0,5	-0,5	-0,9	-0,5	-0,5	-1,0	-0,3	-0,4	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	0,1	0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,1	1,0	-0,3	-0,2	-0,2	-0,3	-0,5	-0,3	
Nov	-0,3	-0,2	-0,2	-0,1	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	0,0	-0,1	-0,2	-0,2	-0,3	-0,4	-1,2	-0,5	-0,3	-0,1	-0,3	-0,3	-0,2	-0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,5	-0,2	-0,2	-0,2	
Dez	-0,3	-0,1	-0,2	-0,1	-0,1	-0,5	-0,6	-0,1	0,4	0,1	0,4	-0,1	-0,4	-0,3	-1,1	-0,4	-0,1	-0,6	-0,1	-1,1	-0,1	-0,2	0,0	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-1,2	0,3	-0,2	
Jan	0,1	0,0	0,4	0,1	0,0	-0,2	-0,2	-0,1	0,1	0,1	-0,3	0,1	0,4	0,1	-0,1	-0,2	-0,1	-0,3	-0,2	-0,1	0,0	0,4	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	-0,2	-0,3	-0,4	0,0	
Feb	0,0	-0,1	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,6	-0,2	0,0	-0,2	0,1	-0,4	-0,1	-0,2	-0,5	-0,2	-0,1	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	-0,1	

Tab. A8: Mittlere tägliche Wärmeinsensitivität (K) anhand der Temperaturdifferenz zwischen der Parkstation Nordsternpark (Station 5) und der Umlandstation Sutumer Feld (Station 4) im Untersuchungsgebiet Gelsenkirchen (Messzeitraum: 01.03.2010 bis 28.02.2011)

Monat	Tag																															Mittelwert
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
März	-0,3	-0,5	-0,3	-0,3	0,0	-0,1	0,0	-0,3	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,1	-0,3	-0,5	0,1	0,0	-0,3	-0,8	-0,2	-0,7	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,0	0,0	-0,1	-0,2
Apr	-0,2	0,1	0,0	-0,1	-0,2	-0,8	-0,3	-0,4	-0,5	0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,0	-0,1	0,0	-0,8	-1,0	-0,4	-0,9	0,0	-1,0	-1,2	-1,4	-1,0	-0,3	-0,5	-0,6	-0,7	0,0	-0,4	
Mai	-0,4	-0,2	-0,5	-0,1	-0,4	-0,2	0,0	-0,1	-0,2	0,0	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,1	0,0	-0,4	0,0	-0,3	-0,2	-0,6	-0,2	-0,6	-0,4	0,0	0,0	0,0	0,1	-0,1	-0,5	-0,1	0,1
Jun	0,1	-0,8	-0,3	-0,9	-1,4	-1,2	-0,1	-0,7	-0,5	-0,2	-0,1	-0,2	-0,4	-0,1	0,0	0,0	-0,5	0,1	0,3	0,3	0,1	-0,4	-0,6	-0,9	-0,1	-0,6	-0,2	-0,9	-0,5	-0,3	-0,4	
Juli	-0,6	-1,1	-1,1	0,1	-0,2	0,1	-0,5	-1,1	-1,3	-0,3	-0,3	-0,2	-0,7	-0,7	-0,4	-0,3	-0,2	-0,9	-1,2	-1,5	-1,2	0,0	-0,3	0,1	-0,6	0,0	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,7	-0,5
Aug	-0,3	-0,3	0,0	-0,5	0,0	-0,7	-0,8	0,0	-0,1	-0,7	-0,1	-0,2	-0,6	-0,6	-0,1	0,0	0,1	0,2	-0,3	-1,0	-0,9	-0,4	-0,3	-0,1	-0,4	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	-0,3	-0,3
Sep	-0,7	-0,7	-0,3	-1,4	-0,8	0,0	0,1	0,0	-0,4	-0,2	-0,5	-0,6	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,5	-0,6	-0,3	-0,5	-1,3	-1,2	-0,1	0,0	-0,7	-0,6	0,0	0,2	-0,1	-0,4	
Okt	-0,3	-0,1	0,0	-0,4	-0,6	-0,2	0,0	-0,3	-0,4	-0,7	-0,5	-0,4	-1,3	-0,8	-0,1	-0,1	0,0	-0,2	0,0	-0,1	0,0	-0,1	-0,4	-0,1	-1,1	-0,2	-0,1	0,0	0,0	-0,4	-0,3	
Nov	-0,3	0,0	0,0	0,0	0,1	-0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	-0,1	-0,3	-0,8	0,0	0,0	-0,1	-0,2	-0,2	-0,1	0,0	-0,1	-0,2	-0,2	-0,3	-0,4	-0,3	0,0	0,0	-0,1	
Dez	0,0	0,0	-0,3	0,0	0,0	-0,3	-0,3	0,0	0,1	0,0	0,0	-0,2	0,0	-0,9	-0,5	-0,1	-1,1	0,2	-0,8	-0,6	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,0	-0,3	-0,3	0,0	-0,1	-0,2	
Jan	-0,3	-0,4	0,1	-0,1	0,0	0,0	-0,1	0,0	-0,2	-0,6	-0,1	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,4	-0,1	-0,2	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,1	-0,1	0,0	0,0	-0,1	-0,4	-0,1	-0,2	
Feb	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	-0,1	-0,1	-0,5	-1,3	-0,7	-0,1	0,0	-0,1	-0,2	-0,2	-0,1	-0,2	0,1	0,2	0,1	0,3	0,1	-0,4	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	

Tab. A5: Übersicht der gesetzlichen Grenz- und Schwellenwerte nach 39. BImSchV sowie die nach VDI-Richtlinien empfohlenen maximalen Immissionskonzentrationen (MIK) der untersuchten Spurenstoffe und Partikelgrößenfraktionen (verändert nach LANUV 2010)

Stoff (Einheit)	Mittelungsintervall	Grenz-, Richt- und Schwellenwerte	Bemerkung	Vorschrift / Richtlinie
Kohlenmonoxid CO (mg m ⁻³)	Halbstundenwert	50	MIK-Wert	VDI 2310
	Achtstundenwert	10		39. BImSchV
	Tagesmittel	10	MIK-Wert	VDI 2310
Stickstoffmonoxid NO (µg m ⁻³)	Halbstundenwert	1.000	MIK-Wert	VDI 2310
	Tagesmittel	500	MIK-Wert	VDI 2310
	Stundenmittel	200	18 zulässige Überschreitungen pro Jahr	39. BImSchV
Stickstoffdioxid NO ₂ (µg m ⁻³)	Stundenmittel	400	Alarmwert, bei Überschreitung an 3 aufeinanderfolgenden Stunden	39. BImSchV
	Tagesmittel	50	MIK-Wert	VDI 2310, Bl. 12
	Jahresmittel	40		39. BImSchV
	Halbstundenwert	120	MIK-Wert	VDI 2310, Bl. 15
Ozon O ₃ (µg m ⁻³)	Einstundenwert	180	Informationsschwelle	39. BImSchV
	Einstundenwert	240	Alarmschwelle	39. BImSchV
	Achtstundenwert	120	an 25 Tagen pro Jahr gemittelt über 3 Jahre; Zielwert ab 2010	39. BImSchV
	Tagesmittel	50	35 zulässige Überschreitungen pro Jahr	39. BImSchV
Partikel PM ₁₀ (µg m ⁻³)	Jahresmittel	40		39. BImSchV
	Jahresmittel	25	Zielwert ab 2010; Grenzwert ab 2015	39. BImSchV
Benzol (µg m ⁻³)	Jahresmittel	5		39. BImSchV