

Klimauntersuchung

Stadt Neuss

- Klimatologischer Teil -

Dr. O.Kiese und Dipl.-Geogr. J.Kelker

unter Mitarbeit von
D.Veltrup und U.Winkler

Arbeitsgruppe Stadt- und Geländeklimatologie
Institut für Landschaftsökologie
Westfälische Wilhelms-Universität Münster

Oktober 1995

Inhaltsverzeichnis

	Abbildungsverzeichnis	I
	Tabellenverzeichnis	II
	Kartenverzeichnis	III
1	Einleitung und Aufgabenstellung	1
2	Das Untersuchungsgebiet	2
3	Die klimatischen Verhältnisse im Stadtgebiet von Neuss	4
3.1	Lufttemperatur	4
3.1.1	Jahresgang der Lufttemperatur	4
3.1.2	Tagesgang der Lufttemperatur	9
3.1.3	Auswertung der Sondermeßaktionen	11
3.2	Luftfeuchte	23
3.2.1	Jahresgang der Luftfeuchte	24
3.2.2	Tagesgang der Luftfeuchte	25
3.3	Windfeld	27
3.3.1	Flurwind	33
3.3.2	Belüftungssystem	36
4	Die synthetische Klimafunktionskarte	47
4.1	Klimatope nach VDI 3787 (Entwurf)	47
4.2	Klimatope in der Klimafunktionskarte für die Stadt Neuss	50
5	Die Planungshinweiskarte	57
5.1	Bewertung der Grünflächen	58
5.1.1	Bewertungsgrundlagen	58
5.1.2	Grundbewertung der Freiflächen	60
5.1.3	Bebauungsgrenzen	65
5.1.4	Belüftungskorridore	66
5.2	Die Wärmebelastung	66
6	Literatur	68

Anhang

1	Datenbasis	69
1.1	Das stationäre Meßnetz 1994/95	69
1.1.1	Meßzeitraum	69
1.1.2	Meßinstrumentarium und Auswertung	70
1.1.3	Standorte des stationären Meßnetzes	72
1.1.4	Datenausfälle und Korrekturen	81
1.2	Das stationäre Meßnetz 1988/90	82
1.2.1	Meßzeitraum	82
1.2.2	Meßinstrumentarium und Auswertung	82
1.2.3	Standorte des stationären Meßnetzes	82
1.2.4	Datenausfälle und Korrekturen	83
2	Repräsentanz des Meßzeitraumes	87
2.1	Einordnung in den Klimaraum	87
2.2	Witterungsverlauf im Meßzeitraum	88
2.3	Großwetterlagen	91
2.4	Bewertung der Repräsentanz	94
3	Ergänzende Abbildungen	95-126

Abbildungsverzeichnis

Abb. 3.1:	Tagesgang der Lufttemperatur an den Stationen Rathaus und Selikum gemittelt über den gesamten Meßzeitraum und differenziert nach Sommer- und Wintermonaten.	6
Abb. 3.2:	Mittlere Abweichung der Minimum- bzw. Maximumtemperatur der Stationen Rathaus und Selikum voneinander. Dargestellt für den Gesamtzeitraum, die Sommer- und die Wintermonate.	7
Abb. 3.3:	Mittlere Abweichung der Minimum- bzw. Maximumtemperatur der Stationen Rathaus und Selikum voneinander. Dargestellt für verschiedene Wetterlagentypen.	8
Abb. 3.4:	Tagesgang der Lufttemperatur an den Stationen Rathaus und Selikum während austauscharmer Strahlungswetterlagen.	10
Abb. 3.5	Temperaturprofil von drei sommerlichen PKW-Meßfahrten in Neuss, Route Nord (Darstellung der zeitlich bereinigten Daten).	12
Abb. 3.6	Temperaturprofil von drei sommerlichen PKW-Meßfahrten in Neuss, Route Süd (Darstellung der zeitlich bereinigten Daten).	13
Abb. 3.7	Nächtliche Temperaturverteilung im Stadtgebiet von Neuss. Die Daten der Klima-meßfahrt 3 vom 30.-31.07.1994 23.30 Uhr - 4.10 Uhr wurden zeitlich bereinigt und mit dem System Exin räumlich interpoliert.	14
Abb. 3.8	Nächtliche Temperaturverteilung im Stadtgebiet von Neuss. Die Daten der Klima-meßfahrt 8 vom 12.-13.03.1995 22.45 Uhr - 3.00 Uhr wurden zeitlich bereinigt und mit dem System Exin räumlich interpoliert.	15
Abb. 3.9:	Jahresgang der Lufttemperatur an den Stationen Rathaus und Selikum sowie der Wassertemperatur des Rheins am Kilometer 734 Düsseldorf-Flehe. Quelle: Landesumweltamt NRW.	16
Abb. 3.10:	Vertikale Temperaturschichtung im Bereich der Rennbahn der Stadt Neuss. Vertikalsondierung vom 27.-28.06.1995.	19
Abb. 3.11:	Vertikale Temperaturschichtung im Bereich der Rennbahn der Stadt Neuss. Vertikalsondierung vom 29.-30.06.1995.	20
Abb. 3.12:	Vertikale Temperaturschichtung im Bereich der Rennbahn der Stadt Neuss und des Wendersplatzes. Vergleichende Vertikalsondierung vom 05.-06.07.1995.	21
Abb. 3.13:	Tagesgang der Relativen Luftfeuchte an den Stationen Rathaus und Selikum während austauscharmer Strahlungswetterlagen.	26
Abb. 3.14	Windrose der Stationen des stationären Meßnetzes in Neuss. Zeitraum: 14.07.1994 - 15.02.1995.	28
Abb. 3.15	Windgeschwindigkeitswindrose der Stationen des stationären Meßnetzes in Neuss. Zeitraum: 14.07.1994 - 15.02.1995.	30
Abb. 3.16	Windrose der Stationen des stationären Meßnetzes in Neuss. Zeitraum: 14.07.1994 - 31.10.1994.	31
Abb. 3.17:	Windrose der Stationen des stationären Meßnetzes in Neuss. Zeitraum: 01.11.1994 - 15.02.1995.	32

Abb. 3.18:	Tagesgang der Lufttemperatur an den Stationen Rathaus und Selikum während der fünf Nächte mit Flurwind.	35
Abb. 3.19	Relativer Tagesgang (Max. = 100) mit SE-Wind an den Stationen des stationären Meßnetzes in Neuss und deren mittlere Windgeschwindigkeit. Zeitraum: 14.07.1994 - 15.02.1995.	40
Abb. 3.20:	Absoluter Tagesgang der Stunden mit SE-Wind an den Stationen des stationären Meßnetzes in Neuss. Zeitraum: 14.07.1994 - 15.02.1995.	41
Abb. 3.21:	Beispielsituation mit morgendlichem SE-Wind an den Stationen des stationären Meßnetzes in Neuss während einer Wetterlage mit einer Gradientströmung aus WSW. Zeitraum: 03.09.-04.09.1994.	43
Abb. 3.22:	Beispielsituation mit morgendlichem SE-Wind an den Stationen des stationären Meßnetzes in Neuss während einer Wetterlage mit einer Gradientströmung aus SW-SSW. Zeitraum: 27.08.-28.08.1994.	45
Abb. 3.23:	Beispielsituation mit morgendlichem SE-Wind an den Stationen des stationären Meßnetzes in Neuss während einer Wetterlage mit einer Gradientströmung aus NW. Zeitraum: 20.07.-21.07.1994.	46
Abb. 4.1:	Grundriß eines Wohnhauses. Freistehendes Einfamilienhaus mit Garage auf einem normalen Grundstück.	49
Abb. 5.1:	Modellskizze Nach OKE (1987) ist die Temperatur am Rand der sog. „Plattform“ (=tR) um etwa 4 K höher, als im Freiland (=tF). Auf der Plattform herrscht ein zum Wärmezentrum (WZ) gerichteter Temperaturgradient von 1K/1000m. Im Bereich des Wärmekliffs, dem Übergangsbereich vom Freiland zur geschlossenen Bebauung, ist der Temperaturgradient viermal so hoch (4K/1000m). Dabei wird davon ausgegangen, daß sich dieser Bereich steilen Temperaturanstiegs zu gleichen Teilen auf das Freiland und den Siedlungsrand erstreckt und daß der Temperaturanstieg linear ist.	59

Tabellenverzeichnis

Tab. 3.1:	Mittelwerte der Lufttemperatur und thermische Kennwerte für die Stationen Rathaus und Selikum in Neuss.	5
Tab. 3.2:	Mittelwerte der Relativen Feuchte und des Dampfdrucks für die Stationen Rathaus und Selikum in Neuss.	24
Tab. 3.3:	Tagesgang des Flurwindes an den Stationen Morgensternsheide und Grimlinghausen. Zeitraum: 15.07.1994 - 15.02.1995.	34
Tab. 3.4:	Anteil der Stunden mit Luftströmungen aus dem Sektor 90-270°.	36
Tab. 3.5:	Größe und Ausrichtung der Hauptwindrichtungssektoren. Differenziert nach Strömungen aus SE bzw. SW.	37
Tab. 3.6:	Häufigkeit und mittlere Windgeschwindigkeit der Luftströmungen in den jeweiligen Sektoren (SE- bzw. SW).	38
Tab. 3.7:	Häufigkeit der SE- bzw. SW-Winde differenziert nach den Jahreszeiten Sommer (Juli-Oktober) und Winter (November-Februar).	38
Tab. 5.1:	Bewertungssystem für die Freiflächen im Gebiet der Stadt Neuss.	62-63

Kartenverzeichnis

Karte 5.1:	Gewichtungsprinzip der Abstandszonen und der Belüftungsbänder (hier beispielhaft für den SE-Sektor) für das Stadtgebiet von Neuss. Weitere Erläuterungen sind dem Text zu entnehmen.	61
Karte 5.2:	Grünflächengewichtungsraster als Grundlage für die bioklimatische Klassifizierung der Freiflächen im Stadtgebiet von Neuss. Weitere Erläuterungen sind dem Text zu entnehmen.	64

Anhang

Karte 1.1:	Das stationäre Meßnetz 1994/95. Standorte der Stationen.	73
Tab. 1.1:	Datenausfälle im Untersuchungszeitraum 27.02.-11.07.1993. Ausfälle in Klammern bedeuten, daß die Werte auf der Basis vergleichbarer Daten anderer Stationen und mit mathematischen Verfahren ergänzt wurden.	81
Tab. 1.2a:	Stationen zur Registrierung der Parameter: Temperatur und Relative Feuchte. Monate mit o = Daten vorhanden; Monate mit (o) = mindestens 3 Tage mit Meßausfall in diesem Monat.	84
Tab. 1.2b:	Stationen zur Registrierung der Parameter: Windgeschwindigkeit und Windrichtung. Monate mit o = Daten vorhanden; Monate mit (o) = mindestens 3 Tage mit Meßausfall in diesem Monat.	84
Tab. 1.3:	Meßausfälle an den Stationen des Meßnetzes 1988-1989.	85
Tab. 2.1:	Jahresmittelwerte ausgesuchter Klimaparameter an der Station Düsseldorf-Südfriedhof des DWD. Zeitraum Januar - Dezember 1994. Quelle: DEUTSCHER WETTERDIENST, Monatlicher Witterungsbericht 1994/95.	90
Tab. 2.2:	Verteilung der Großwetterlagen im Meßzeitraum (Quelle: DEUTSCHER WETTERDIENST 1994/95). Erklärung der Wetterlagenabkürzungen in Tab. 2.3.	91
Tab. 2.3:	Erklärung der Abkürzungen aus Tabelle 2.2 (Quelle: DWD 1994/95).	92
Tab. 2.4:	Häufigkeit der Großwetterlagen im Meßzeitraum und Abweichungen der Häufigkeit zum langjährigen Mittel 1881-1976 (Quelle: DWD 1994/95).	93
Tab. 3.1:	Statistik der Calmen und umlaufenden Winde im Meßzeitraum 1988 - 1989	95
Tab. 3.2:	Statistik der Calmen und umlaufenden Winde im Meßzeitraum 1994 - 1995	96
Abb.3.1:	Windrichtungsverteilung an den Stationen des Meßnetzes 1988-89. Rel. Häufigkeit der Windrichtungen in Prozent nach 30-Grad-Klassen. Zeitraum: Gesamt (1988 - 1989)	97
Abb.3.2:	Windgeschwindigkeitswindrose der Stationen des Meßnetzes 1988-1989. Zeitraum: Gesamt (1988 - 1989)	98
Abb.3.3:	Windrichtungsverteilung an den Stationen des Meßnetzes 1988-89. Relative Häufigkeit der Windrichtungen in Prozent nach 30-Grad-Klassen. Zeitraum: Sommer (Mai-Okt 1988 und 1989).	99

Abb.3.4:	Windrichtungsverteilung an den Stationen des Meßnetzes 1988-89. Relative Häufigkeit der Windrichtungen in Prozent nach 30-Grad-Klassen. Zeitraum: Winter (Nov-Dez 1988 und Jan-Apr 1989).	100
Abb.3.5:	Windgeschwindigkeitswindrose der Stationen des Meßnetzes 1988-89. Zeitraum: Sommer (Mai-Okt 1988 und 1989).	101
Abb.3.6:	Windgeschwindigkeitswindrose der Stationen des Meßnetzes 1988-89. Zeitraum: Winter (Nov-Dez 1988 und Jan-Apr 1989).	102
Abb.3.7:	Windrichtungsverteilung an der Station Industriegebiet-Nord (Nr. 9). Rel. Häufigkeit der Windrichtungen in % nach 30-Grad-Klassen. Zeitraum: Frühjahr (Mär, Apr, Mai 1988 und 1989), Sommer (Jun, Jul, Aug 1988 und 1989); Herbst (Sep, Okt, Nov 1988); Winter (Feb und Dez 1988 und Jan, Feb 1989).	103
Abb.3.8:	Windrichtungsverteilung an der Station Hafen-NE (Nr. 10). Relative Häufigkeit der Windrichtungen in % nach 30-Grad-Klassen. Zeitraum: Frühjahr (Mär, Apr, Mai 1988 und 1989), Sommer (Jun, Jul, Aug 1988 und 1989); Herbst (Sep, Okt, Nov 1988); Winter (Feb und Dez 1988 und Jan, Feb 1989).	104
Abb.3.9:	Windrichtungsverteilung an der Station Rennbahn (Nr. 11). Relative Häufigkeit der Windrichtungen in Prozent nach 30-Grad-Klassen. Zeitraum: Frühjahr (Mär, Apr, Mai 1988 und 1989), Sommer (Jun, Jul, Aug 1988 und 1989); Herbst (Sep, Okt, Nov 1988); Winter (Feb und Dez 1988 und Jan, Feb 1989).	105
Abb.3.10:	Windrichtungsverteilung an der Station Erft (Nr. 12). Relative Häufigkeit der Windrichtungen in Prozent nach 30-Grad-Klassen. Zeitraum: Frühjahr (Mär, Apr, Mai 1988 und 1989), Sommer (Jun, Jul, Aug 1988 und 1989); Herbst (Sep, Okt, Nov 1988); Winter (Feb und Dez 1988 und Jan, Feb 1989).	106
Abb.3.11:	Windrichtungsverteilung an der Station Stadtwald (Nr. 13). Relative Häufigkeit der Windrichtungen in Prozent nach 30-Grad-Klassen. Zeitraum: Frühjahr (Mär, Apr, Mai 1988 und 1989), Sommer (Jun, Jul, Aug 1988 und 1989); Herbst (Sep, Okt, Nov 1988); Winter (Feb und Dez 1988 und Jan, Feb 1989).	107
Abb.3.12:	Windrichtungsverteilung an der Station Uedesheim (Nr. 14). Relative Häufigkeit der Windrichtungen in Prozent nach 30-Grad-Klassen. Zeitraum: Frühjahr (Mär, Apr, Mai 1988 und 1989), Sommer (Jun, Jul, Aug 1988 und 1989); Herbst (Sep, Okt, Nov 1988); Winter (Feb und Dez 1988 und Jan, Feb 1989).	108
Abb.3.13:	Windgeschwindigkeitswindrose der Station Industriegebiet-N (Nr. 9). Zeitraum: Frühjahr (Mär, Apr, Mai 1988 und 1989), Sommer (Jun, Jul, Aug 1988 und 1989); Herbst (Sep, Okt, Nov 1988); Winter (Feb und Dez 1988 und Jan, Feb 1989).	109
Abb.3.14:	Windgeschwindigkeitswindrose der Station Hafen (Nr. 10). Zeitraum: Frühjahr (Mär, Apr, Mai 1988 und 1989), Sommer (Jun, Jul, Aug 1988 und 1989); Herbst (Sep, Okt, Nov 1988); Winter (Feb und Dez 1988 und Jan, Feb 1989).	110
Abb.3.15:	Windgeschwindigkeitswindrose der Station Rennbahn (Nr. 11). Zeitraum: Frühjahr (Mär, Apr, Mai 1988 und 1989), Sommer (Jun, Jul, Aug 1988 und 1989); Herbst (Sep, Okt, Nov 1988); Winter (Feb und Dez 1988 und Jan, Feb 1989).	111
Abb.3.16:	Windgeschwindigkeitswindrose der Station Erft (Nr. 12). Zeitraum: Frühjahr (Mär, Apr, Mai 1988 und 1989), Sommer (Jun, Jul, Aug 1988 und 1989); Herbst (Sep, Okt, Nov 1988); Winter (Feb und Dez 1988 und Jan, Feb 1989).	112
Abb.3.17:	Windgeschwindigkeitswindrose der Station Stadtwald (Nr. 13). Zeitraum: Frühjahr (Mär, Apr, Mai 1988 und 1989), Sommer (Jun, Jul, Aug 1988 und 1989); Herbst (Sep, Okt, Nov 1988); Winter (Feb und Dez 1988 und Jan, Feb 1989).	113

Abb.3.18:	Windgeschwindigkeitswindrose der Station Uedesheim (Nr. 14). Zeitraum: Frühjahr (Mär, Apr, Mai 1988 und 1989), Sommer (Jun, Jul, Aug 1988 und 1989); Herbst (Sep, Okt, Nov 1988); Winter (Feb und Dez 1988 und Jan, Feb 1989).	114
Abb.3.19:	Windrichtungsverteilung an der Station Grimlinghausen. Relative Häufigkeit der Windrichtungen in Prozent nach 30-Grad-Klassen. Zeitraum: Frühjahr (keine Meßwerte), Sommer (Jul, Aug 1994); Herbst (Sep, Okt, Nov 1994); Winter (Dez 1994 und Jan, Feb 1995).	115
Abb.3.20:	Windrichtungsverteilung an der Station Holzheim. Relative Häufigkeit der Windrichtungen in Prozent nach 30-Grad-Klassen. Zeitraum: Frühjahr (keine Meßwerte), Sommer (Jul, Aug 1994); Herbst (Sep, Okt, Nov 1994); Winter (keine Meßwerte).	116
Abb.3.21:	Windrichtungsverteilung an der Station Morgensternsheide. Relative Häufigkeit der Windrichtungen in Prozent nach 30-Grad-Klassen. Zeitraum: Frühjahr (keine Meßwerte), Sommer (Jul, Aug 1994); Herbst (Sep, Okt, Nov 1994); Winter (Dez 1994 und Jan, Feb 1995).	117
Abb.3.22:	Windrichtungsverteilung an der Station Rhein. Relative Häufigkeit der Windrichtungen in Prozent nach 30-Grad-Klassen. Zeitraum: Frühjahr (keine Meßwerte), Sommer (Jul, Aug 1994); Herbst (Sep, Okt, Nov 1994); Winter (Dez 1994 und Jan, Feb 1995).	118
Abb.3.23:	Windrichtungsverteilung an der Station Selikum. Relative Häufigkeit der Windrichtungen in Prozent nach 30-Grad-Klassen. Zeitraum: Frühjahr (keine Meßwerte), Sommer (Jul, Aug 1994); Herbst (Sep, Okt, Nov 1994); Winter (Dez 1994 und Jan, Feb 1995).	119
Abb.3.24:	Windrichtungsverteilung an der Station Vogelsang. Relative Häufigkeit der Windrichtungen in Prozent nach 30-Grad-Klassen. Zeitraum: Frühjahr (keine Meßwerte), Sommer (Jul, Aug 1994); Herbst (Sep, Okt, Nov 1994); Winter (Dez 1994 und Jan, Feb 1995).	120
Abb.3.25:	Windgeschwindigkeitswindrose der Station Grimlinghausen. Zeitraum: Frühjahr (keine Meßwerte), Sommer (Jul, Aug 1994); Herbst (Sep, Okt, Nov 1994); Winter (Dez 1994 und Jan, Feb 1995).	121
Abb.3.26:	Windgeschwindigkeitswindrose der Station Holzheim. Zeitraum: Frühjahr (keine Meßwerte), Sommer (Jul, Aug 1994); Herbst (Sep, Okt, Nov 1994); Winter (keine Werte).	122
Abb.3.27:	Windgeschwindigkeitswindrose der Station Morgensternsheide. Zeitraum: Frühjahr (keine Meßwerte), Sommer (Jul, Aug 1994); Herbst (Sep, Okt, Nov 1994); Winter (Dez 1994 und Jan, Feb 1995).	123
Abb.3.28:	Windgeschwindigkeitswindrose der Station Rhein. Zeitraum: Frühjahr (keine Meßwerte), Sommer (Jul, Aug 1994); Herbst (Sep, Okt, Nov 1994); Winter (Dez 1994 und Jan, Feb 1995).	124
Abb.3.29:	Windgeschwindigkeitswindrose der Station Selikum. Zeitraum: Frühjahr (keine Meßwerte), Sommer (Jul, Aug 1994); Herbst (Sep, Okt, Nov 1994); Winter (Dez 1994 und Jan, Feb 1995).	125
Abb.3.30:	Windgeschwindigkeitswindrose der Station Vogelsang. Zeitraum: Frühjahr (keine Meßwerte), Sommer (Jul, Aug 1994); Herbst (Sep, Okt, Nov 1994); Winter (Dez 1994 und Jan, Feb 1995).	126

1 Einleitung und Aufgabenstellung

Die Stadt Neuss, vertreten durch das Amt für Umweltschutz und Abfallwirtschaft, beauftragte im November 1994 das Institut für Landschaftsökologie, vertreten durch den Akad. Dir. Dr. O. Kiese, und das Institut für Geoinformatik, vertreten durch Prof. Dr. U. Streit, mit der Erstellung eines Klimagutachtens für das Stadtgebiet von Neuss. Das vorliegende Gutachten umfaßt den klimatologischen Teil der Klimaanalyse. Die Aufgabenstellung und Zielsetzung der Untersuchung läßt sich in drei aufeinanderfolgende Hauptarbeitsschritte gliedern.

Primäres Ziel der Klimauntersuchung ist die Erfassung und Beschreibung der klimatischen Verhältnisse im Stadtgebiet von Neuss. Vor dem Hintergrund der makro- und mesoklimatischen Situation werden die kleinräumigen klimatischen Verhältnisse in typischen Stadtstrukturen während ausgewählter Wetterlagen untersucht. Die Datengrundlage hierfür bilden in erster Linie eigene stationäre Messungen, die durch Meßfahrten und Zusatzmessungen ergänzt werden, sowie bereits vorliegende klimaökologische Untersuchungen und früher erhobene Meßdaten aus stationären und mobilen Klimamessungen.

Auf der Basis dieser gewonnenen Erkenntnisse wird in einem zweiten Arbeitsschritt eine das ganze Stadtgebiet von Neuss abdeckende Klimafunktionskarte, in der die verschiedenen Klimatope mit ihrer spezifischen Klimafunktion, klimaökologischen Wertigkeit und klimaökologischen Ausgleichsleistung ausgewiesen werden, erstellt.

In einem dritten Schritt wird die Klimarelevanz der ausgewiesenen Klimatope abgeschätzt und ihr Entwicklungspotential aus klimatologischer Sicht bewertet. Ergebnis ist eine Planungshinweiskarte, in der Vorschläge zum Erhalt bzw. zur Optimierung der klimatischen Verhältnisse im Stadtgebiet von Neuss als stadtklimatisches Zielsystem graphisch realisiert sind.

2 Das Untersuchungsgebiet

Die Stadt Neuss liegt im südwestlichen Teil des Agglomerationsraumes Rhein-Ruhr und ist mit etwa 149.000 Einwohnern ein Mittelzentrum (LANDESAMT FÜR DATENVERARBEITUNG UND STATISTIK NORDRHEIN-WESTFALEN 1993). Das Stadtgebiet hat eine Fläche von 99,5 km² und eine Bevölkerungsdichte von 1500 Einwohnern/km². Es liegt an der Grenze des Niederrheinischen Tieflands und der sich im Süden anschließenden Niederrheinischen Bucht (BUNDESFORSCHUNGSANSTALT FÜR LANDESKUNDE UND RAUMORDNUNG 1978).

Die Topographie des Stadtgebietes wird geprägt von der im Quartär entstandenen Terrassenlandschaft des Rheins. Das Stadtgebiet erstreckt sich von der Rheinaue über die Niederterrasse, auf der auch das Stadtzentrum liegt, bis hin zur Mittelterrasse. Die Hauptterrasse, als älteste und höchste Terrasse, liegt nicht im Gebiet der Stadt Neuss.

Das Stadtgebiet von Neuss liegt im Durchschnitt ca. 40m ü.NN. Der tiefste Punkt liegt mit einer Höhe von 30m ü.NN auf der Ölganginsel, im NE der Stadt. Mit einer Höhe von 68m ü.NN befindet sich die größte Erhebung im SW der Stadt in der Nähe des Stadtteils Holzheim (vgl. BREUER 1987). Hieraus ergibt sich auf einer Länge von ca. 10 km ein Höhenunterschied von 38m und somit ein mittleres Gefälle von 0,38%.

Die Siedlungsstruktur der Stadt Neuss ist inhomogen. Die im Zusammenhang bebaute Innenstadt ist im Westen und Südwesten überwiegend von Freiland umgeben. Im Nordwesten, Süden und Südosten schließen sich einige Siedlungen mit überwiegender Einzel- und Reihenhausbauung an, die jedoch keinen zusammenhängenden Siedlungsraum darstellen, sondern durch mehr oder minder breite Freilandbereiche voneinander getrennt sind. Östlich der Innenstadt von Neuss bildet der den Ballungskern Düsseldorf/ Neuss durchschneidende Rhein die Stadtgrenze.

Die Hafenanlage der Stadt Neuss liegt zwischen der Innenstadt und dem Rhein im nordöstlichen Stadtsektor und umfaßt inklusive der gewerblichen und industriellen Nutzungen in ihrem unmittelbaren Umfeld eine bedeutende Fläche von mehr als 200 ha. Mit Ausnahme einiger großflächiger Industrie- und Gewerbegebiete in der Nähe von Uedesheim befinden sie sich ausschließlich im Norden bzw. im Nordosten des Stadtgebietes im Bereich des Hafens und seiner unmittelbaren Umgebung. Diese Massierung von hochverdichteten Oberflächen einerseits und dem hohen Flächenanteil des Wassers von Hafen

und Rhein andererseits wird eine Beeinflussung des Lokalklimas erwartet und muß bei den Untersuchungen der thermischen Verhältnisse berücksichtigt werden.

Für die Gesamtfläche des Stadtgebietes lassen sich folgende Nutzungsarten differenzieren (nach WEINTHAL 1988). Mit 46% dominieren die Freilandstrukturen Acker, Grünland und Sonderkulturen deutlich vor den Wohngebieten (13%), der Verkehrsfläche (10%), Industrie-, Misch- und Gewerbeflächen (8%), Wasserflächen (5%) und Waldflächen (4%). Die restlichen Flächen mit einem Anteil von 14% an der Gesamtfläche lassen sich nicht in größere Gruppen mit einheitlicher Nutzung zuordnen.

Nach der Realnutzungskartierung von 1984/86 (vgl. PESCHEL 1989) beträgt der Anteil der bebauten Flächen in der Innenstadt 86,9%. Dementsprechend gering ist in der Innenstadt auch der Anteil der Grünflächen.

3 Die klimatischen Verhältnisse im Stadtgebiet von Neuss

3.1 Lufttemperatur

Die Lufttemperatur an einem Standort ist primär vom tages- und jahresperiodischen Strahlungsgang geprägt. Modifiziert wird sie von der Art und Beschaffenheit des Untergrundes und der umgebenden Strukturen. Diese Faktoren steuern das Mikroklima, werden jedoch von meso- und makroklimatischen Einflüssen, abhängig von der Wetterlage, überlagert.

Der Zielsetzung der Analyse entsprechend kommt den Lufttemperaturverhältnissen in der Stadt Neuss nur eine untergeordnete Rolle zu. Dies spiegelt sich in der Konzeption des Meßnetzes, bei dem nur zwei Stationen mit Geräten zur Registrierung der Parameter Lufttemperatur und Relative Luftfeuchte ausgestattet waren, wieder. Dennoch sollen anhand von Mittelwerten und bei der Betrachtung einzelner Beispielsituationen Zusammenhänge aufgezeigt und Interpretationsansätze entwickelt werden.

Die Analyse der durchgeführten Meßfahrten und Vertikalsondierungen ergänzt die stationären Messungen und läßt Rückschlüsse auf die thermische Gesamtsituation im Stadtgebiet von Neuss zu.

3.1.1 Jahresgang der Lufttemperatur

Über große Zeiträume gemittelte Werte sind für eine qualitative oder quantitative Bewertung des Standorteinflusses nur bedingt geeignet, da sie sich nicht weiter nach Wetterlagen differenzieren lassen. Andererseits geben Mittelwerte durchaus den Stellenwert einzelner Komponenten eines Faktorengefüges wieder und ermöglichen so einen Überblick.

In Tabelle 3.1 sind Mittelwerte der Lufttemperatur für die Stationen Rathaus und Selikum, differenziert nach unterschiedlichen Zeiträumen, dargestellt. Zudem sind Extremwerte der Temperatur und thermische Kennwerte (Quelle: DEUTSCHER WETTERDIENST 1994/95) angegeben.

Zeitraum	Rathaus	Selikum
Juli	24,5	22,5
August	19,8	17,6
September	14,4	12,8
Oktober	10,2	8,9

November	11,0	8,9
Dezember	5,9	4,7
Januar	3,2	2,1
Februar	7,1	6,0
Sommer	17,2	15,5
Winter	6,8	5,4
Jahr	12,0	10,5
Heiße Tage	10	7
Sommertage	19	19
Frosttage	16	27
Eistage	7	7

Tab. 3.1: Mittelwerte der Lufttemperatur und thermische Kennwerte für die Stationen Rathaus und Selikum in Neuss.

Erklärung:

Sommer	= Juli - Oktober 1994	
Winter	= November 1994 - Februar 1995	
Jahr	= Juli 1994 - Februar 1995	
Heiße Tage	= Temperaturmaximum	$\geq 30,0^{\circ}\text{C}$
Sommertage	= Temperaturmaximum	$\geq 25,0^{\circ}\text{C}$
Frosttage	= Temperaturminimum	$< 0,0^{\circ}\text{C}$
Eistage	= Temperaturmaximum	$< 0,0^{\circ}\text{C}$

Bereits die Mittelwerte verdeutlichen, daß sich die beiden Standorte in ihrem thermischen Verhalten grundsätzlich unterscheiden. Die Luft an der Innenstadtstation Rathaus ist gemittelt über den gesamten Meßzeitraum durchschnittlich 1,5 K wärmer, als die an der Freilandstation Selikum. Diese Temperaturdifferenz ist jedoch weniger auf die Tagesmaxima der Temperatur als auf die nächtlichen Minima zurückzuführen. Während tagsüber an beiden Stationen durchaus gleiche Werte erreicht werden können, kühlt die Luft über dem Freiland bedingt durch die, gegenüber der Innenstadt anderen, physikalischen Eigenschaften des Untergrundes (Wärmekapazität, Wärmeleitvermögen, u.a.) deutlich stärker ab.

Der Tagesgang der Lufttemperatur gemittelt über große Zeiträume (vgl. Abb. 3.1) verdeutlicht die Temperaturdifferenzen zwischen den beiden thermischen Extremen in Neuss, der Innenstadtstation Rathaus und der Freilandstation Selikum.

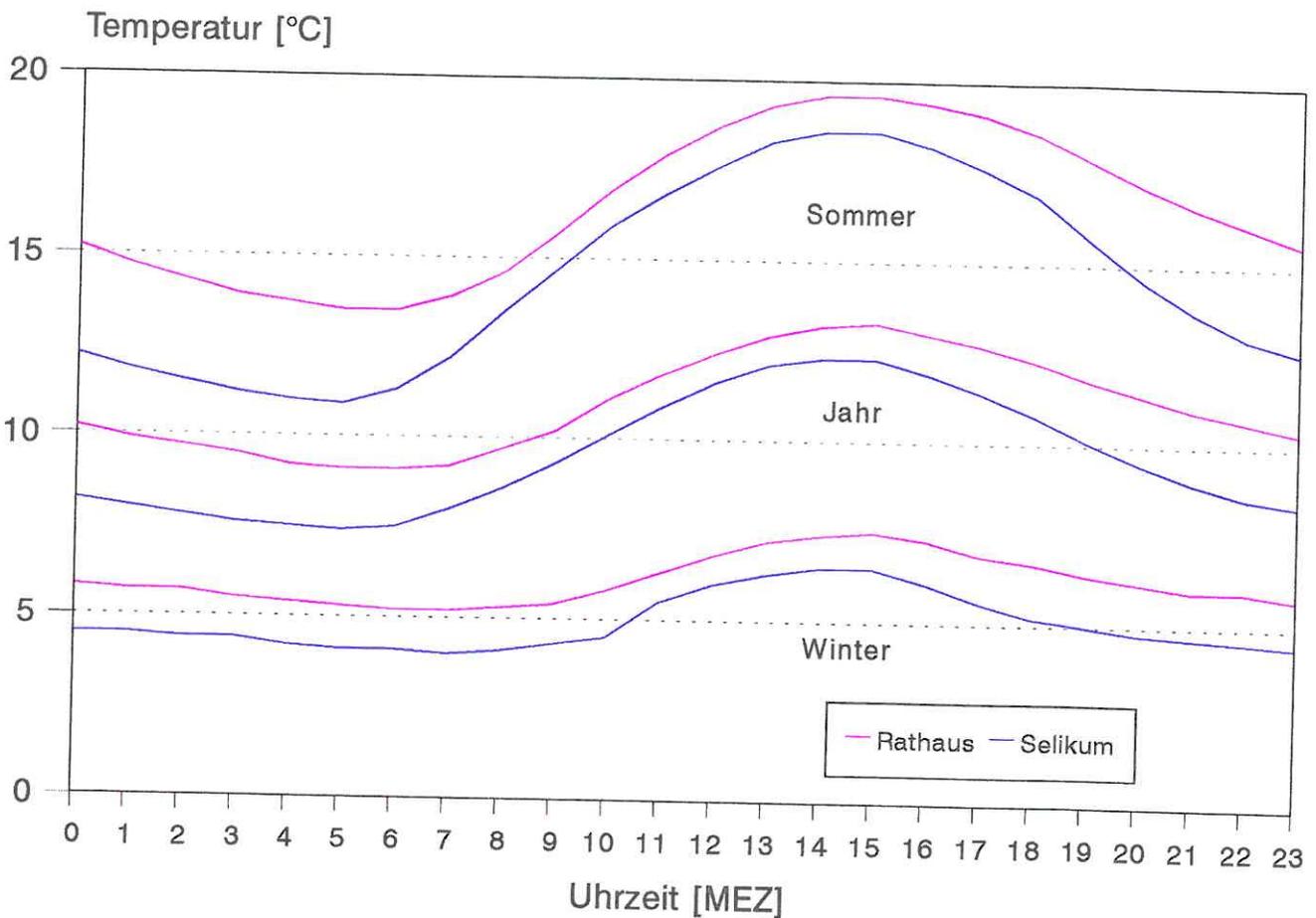


Abb. 3.1: Tagesgang der Lufttemperatur an den Stationen Rathaus und Selikum gemittelt über gesamten Meßzeitraum und differenziert nach Sommer- und Wintermonaten.

Untersucht man die mittlere Abweichung der Minimum- und Maximumtemperatur der beiden Stationen voneinander (vgl. Abb. 3.2) bestätigen sich die eben gemachten Ausführungen in Bezug auf das Verhältnis von Temperaturmaximum und -minimum zueinander.

Die Abweichung der mittleren Maximumtemperatur der beiden Stationen voneinander ist unabhängig von der Jahreszeit mit etwa 0,5 K erstaunlich konstant. Die des Temperaturminimums zeigt jedoch jahreszeitlich bedingt starke Schwankungen. In den Sommermonaten ist es an der Station Rathaus zum Zeitpunkt des nächtlichen Temperaturminimums 2,6 K wärmer als über den sich stark abkühlenden Freiflächen. Bedingt durch die klimatischen Verhältnisse in den Wintermonaten mit stark reduzierter Einstrahlung und überwiegend zyklonalen Wetterlagen verwischen diese Relationen in den entsprechenden Monaten.

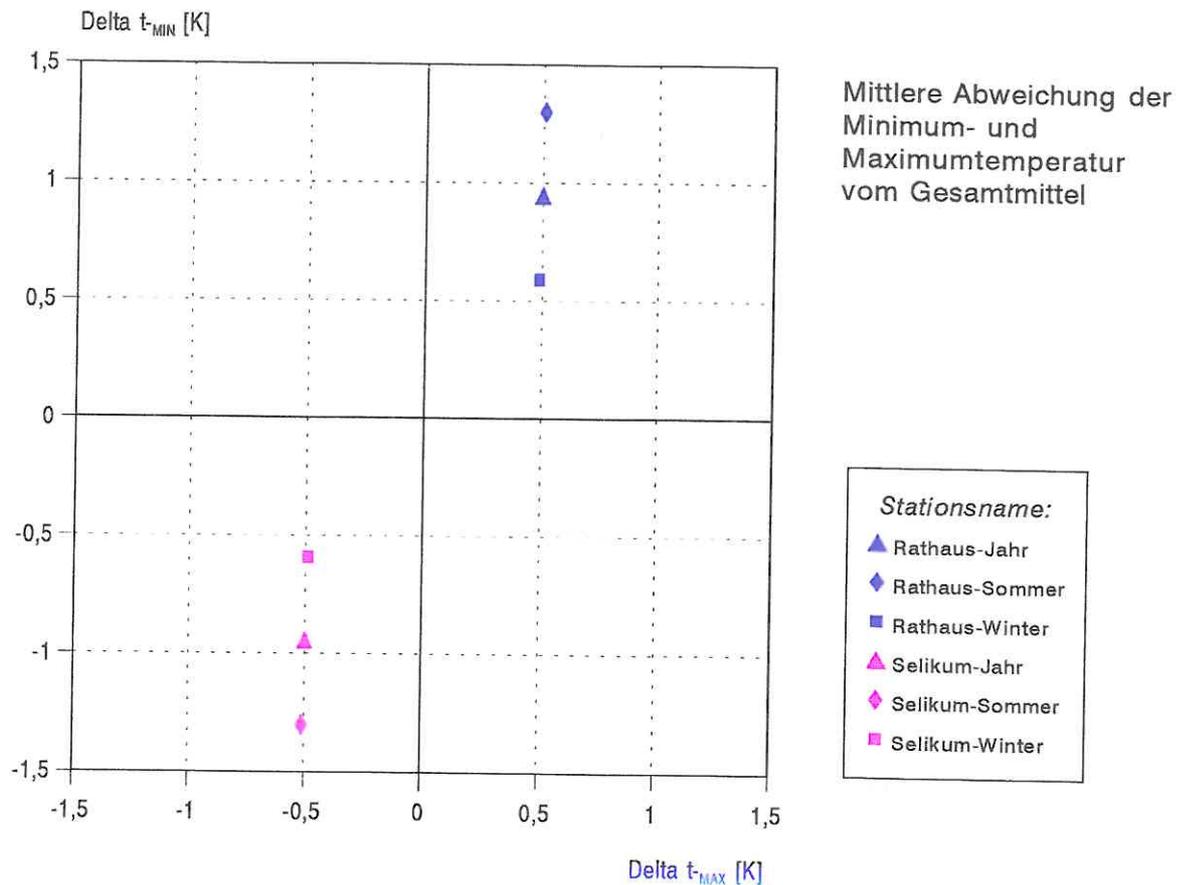


Abb. 3.2: Mittlere Abweichung der Minimum- bzw. Maximumtemperatur der Stationen Rathaus und Selikum voneinander. Dargestellt für den Gesamtzeitraum, die Sommer- und die Wintermonate.

Gliedert man den Untersuchungszeitraum nach Wetterlagentypen (WT) erhält man ein wesentlich differenzierteres Bild. Hierzu wurde der Meßzeitraum recht schematisch nach den Parametern Strahlung und Windgeschwindigkeit unterteilt.

Man erhält vier gleich große Datenkollektive von Tagen während strahlungsstarker und strahlungsschwacher bzw. windstarker und windschwacher Verhältnisse, die WT 1 - 4. Durch Kombination dieser miteinander ergeben sich die WT 4 - 8, deren Tageskollektive zwangsläufig variieren. In Abbildung 3.3 werden die Maximum- und Minimumtemperaturen an den Stationen während der unterschiedlichen Wetterlagentypen dargestellt und erlauben Rückschlüsse auf das Verhältnis der Einzelfaktoren Strahlung und Windgeschwindigkeit zueinander.

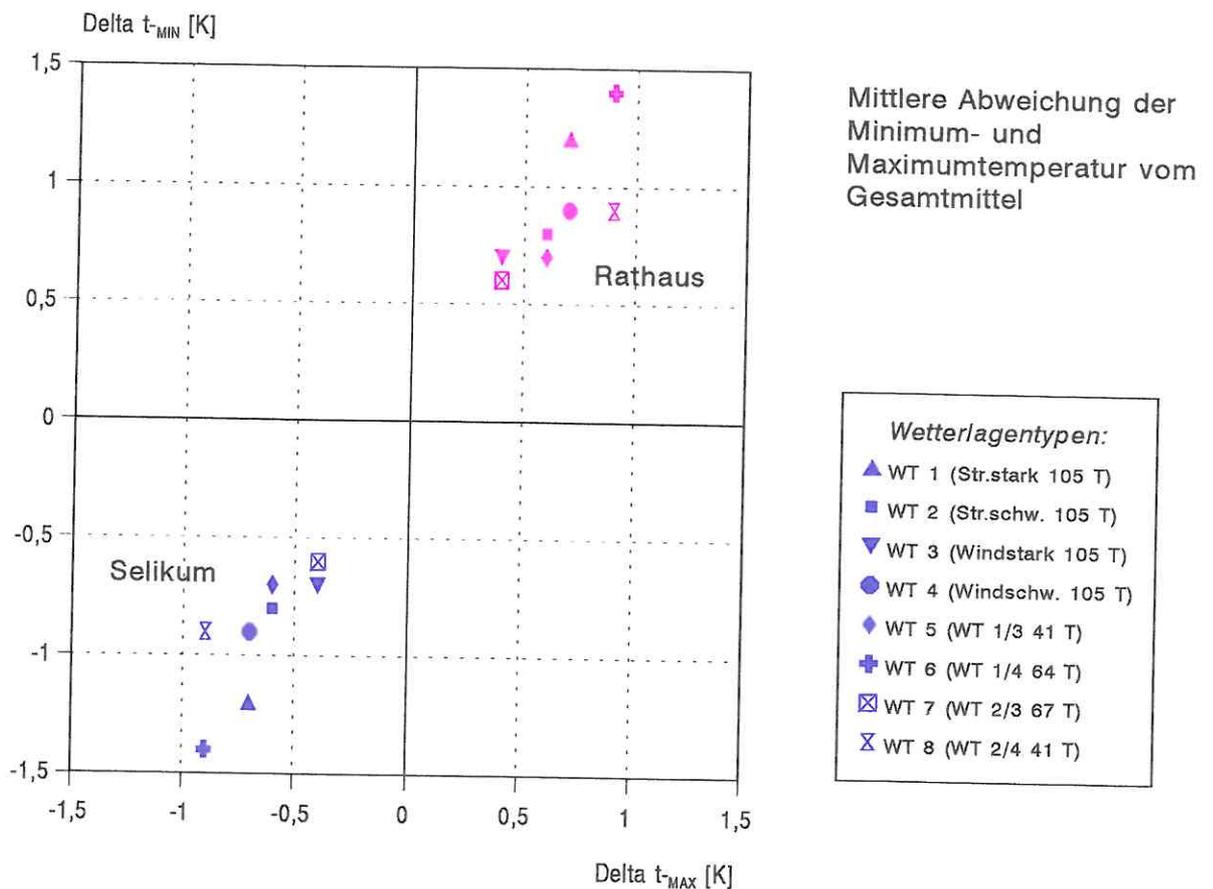


Abb. 3.3: Mittlere Abweichung der Minimum- bzw. Maximumtemperatur der Stationen Rathaus und Selikum voneinander. Dargestellt für verschiedene Wetterlagentypen. Weitere Erklärungen siehe Text.

Die geringsten Unterschiede ergeben sich erwartungsgemäß an Tagen mit geringer Einstrahlung und zudem hohen Windgeschwindigkeiten (WT 7). Wie bei allen Wetterlagentypen sind auch hier die Differenzen der Minimumtemperaturen größer, als die der Maximumwerte. Geringfügig höhere Differenzen ergeben sich an windstarken Tagen, unabhängig von den herrschenden Einstrahlungsverhältnissen (WT 3).

Weiter abgestuft folgen die WT 5, 2, 4, 8, 1 und schließlich der WT 6, Tage mit hoher Einstrahlung und gleichzeitig geringen Windgeschwindigkeiten.

In diesem Datenkollektiv enthalten sind somit alle sogenannten austausch- armen Strahlungswetterlagen, von denen später noch die Rede sein wird (vgl. Kap. 3.1.2).

Diese Ergebnisse lassen Rückschlüsse auf das Verhältnis der Einzelkomponenten Strahlung und Windgeschwindigkeit in bezug auf die Ausprägung des bodennahen Temperaturfeldes zu. Vergleicht man z.B. die WT 5 und 8 erkennt man, daß sich die Temperaturoegensätze zwischen Stadt und Freiland bei zwar starker Einstrahlung aber auch starkem Austausch nicht so deutlich ausprägen wie bei verminderter Einstrahlung aber auch verminderter Turbulenz. Um bodennah große Temperaturoegensätze zwischen unterschiedlichen Strukturen z.B. einer Stadt und Freiland zu erhalten bedarf es einer hohen Ein- bzw. Ausstrahlung, in erster Linie ist dies jedoch von verminderten Windgeschwindigkeiten abhängig.

3.1.2 Tagesgang der Lufttemperatur

Betrachtet man den Tagesgang der Lufttemperatur an den Stationen Rathaus und Selikum während sommerlicher austauscharmer Strahlungswetterlagen zeigt sich, daß die bereits beschriebene Überwärmung des Stadtkörpers in erster Linie ein abendliches und nächtliches Phänomen ist (vgl. Abb. 3.4). Bereits am Nachmittag, vor Sonnenuntergang wird die Strahlungsbilanz negativ und die Luft in Bodennähe beginnt sich abzukühlen, da ihr von der Ausstrahlungsfläche, dem Boden, Wärme entzogen wird. Bedingt durch die gegenüber den städtischen Materialien geringere Speicherkapazität des Bodens im Freiland kühlt die Luft hier deutlich schneller ab, während sich dieser Prozeß in der Stadt zwar auch nachvollziehen läßt, absolut gesehen jedoch deutlich langsamer abläuft. Zwischen 22 Uhr und 23 Uhr hat der Temperaturoegensatz mit über 5 K sein Maximum erreicht, anschließend ist ein leichtes Konvergieren der Lufttemperaturen festzustellen. Zum Zeitpunkt des Temperaturminimums beträgt die Differenz immer noch ca. 4 K. Bedingt durch die geringere Horizontabschirmung wird die niedrigste Temperatur im Freiland bereits um 4 Uhr erreicht.

Mit dem morgendlichen Umkippen der Strahlungsbilanz setzt im Freiland sofort eine kräftige Erwärmung der bodennahen Luftschichten ein. Die Luftmassen im Stadtgebiet kühlen sich bis 5 Uhr ab und erwärmen sich anschließend nur langsam. Die gleiche Ursache, die nachmittags für eine langsame und gedämpfte Abkühlung sorgt, verhindert hier vormittags eine starke und insbesondere schnelle Aufheizung der Baumaterialien. Bereits vor 9 Uhr haben die Lufttemperaturen im Freiland die des Stadtgebiets erreicht. Beide erwärmen sich gleichmäßig weiter und bleiben bis 15 Uhr quasi auf dem gleichen Niveau (vgl. Abb. 3.4).

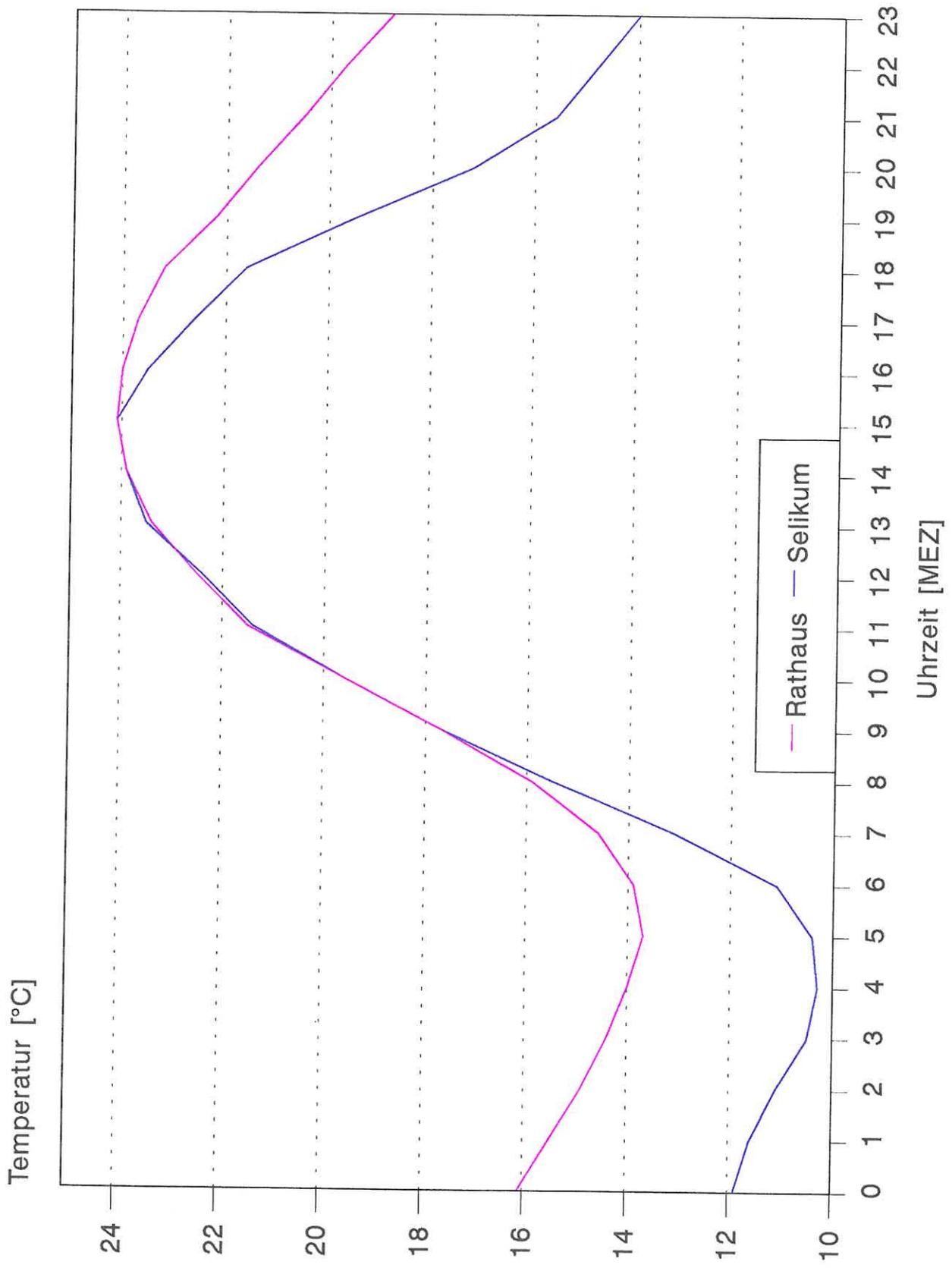


Abb. 3.4: Tagesgang der Lufttemperatur an den Stationen Rathaus und Seilkum während austauscharmer Strahlungswetterlagen.

3.1.3 Auswertung der Sondermeßaktionen

Neben den stationären Messungen wurden im Stadtgebiet von Neuss eine Reihe von Sondermeßaktionen durchgeführt. Zu nennen sind Meßfahrten und Vertikalsondierungen. Erstgenannte wurden im Winter und Sommer, letztere nur im Sommer, jeweils während austauscharmer Strahlungswetterlagen, durchgeführt. Neben der Klärung spezieller stadtklimatischer Fragestellungen ermöglichen die Sondermeßaktionen eine wesentlich differenziertere flächenhafte bzw. räumliche Darstellung der thermischen Gliederung des Stadtgebietes.

Abbildung 3.5 und 3.6 zeigen den Verlauf der Lufttemperatur während der sommerlichen Meßfahrten auf den Routen Nord und Süd im Stadtgebiet von Neuss. Deutlich erkennbar ist der Zusammenhang zwischen der Umgebungsstruktur und der Lufttemperatur. Die stark versiegelten Bereiche etwa mit Block- bzw. Kernbebauung oder Gewerbe- bzw. Industrieanlagen zeichnen sich während aller Meßfahrten durch ein höheres thermisches Niveau aus, als Bereiche mit lockerer Einzelhausbebauung oder gar Freiland. Des weiteren zeigt sich, daß diese beschriebenen Unterschiede keine einmaligen und nur zufällig gemessenen Ereignisse sind, sondern das sie in ihrer charakteristischen Ausprägung während aller Meßfahrten festzustellen sind, wenn auch in unterschiedlichen thermischen Niveaus.

Interpoliert man diese linienhafte Erfassung der thermischen Gliederung in die Fläche (vgl. Abb. 3.7 und 3.8), erhält man Karten, die flächendeckende Aussagen zulassen. Bei der Interpretation ist jedoch zu beachten, daß die Faktoren Relief und Landnutzung bei dem gewählten Quadrantenverfahren nicht berücksichtigt worden sind und, daß es bei der Berechnung der Temperaturen von den äußersten Meßwerten zur Stadtgrenze zu Berechnungsfehlern aufgrund mangelnder Datenbasis kommen kann. Das Berechnungsverfahren ist im Kapitel 6.4.2 der Abschlußdokumentation zur *Erstellung digitaler thematischer Karten im Rahmen des Umweltentwicklungsplanes der Stadt Neuss unter Einsatz von GIS-Techniken* detailliert beschrieben und erläutert (STREIT 1994).

Die Karten lassen gleichwohl die Struktur des Stadtgebietes, die Verteilung von versiegelten Bereichen und Freiland gut erkennen. Sowohl im Winter, als auch im Sommer zeichnet sich die Überwärmung der Innenstadt von Neuss und des angrenzenden Hafengebietes ab. Des weiteren lassen sich stark versiegelte Bereiche im Bereich Gnadental und Derikum oder die großen Gewerbetkomplexe westlich und südwestlich von Uedesheim mühelos identifizieren.

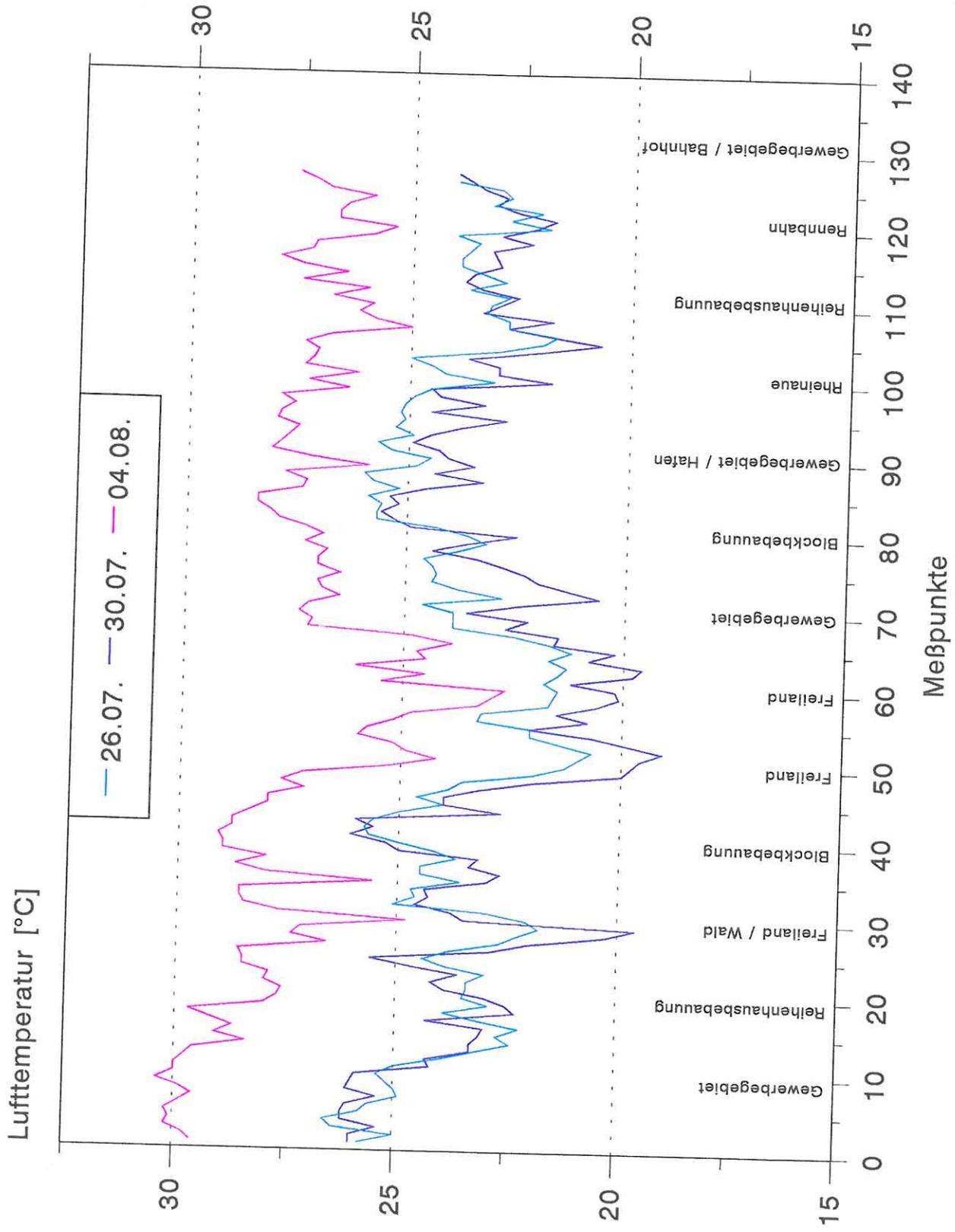


Abb. 3.5: Temperaturprofil von drei sommerlichen PKW-Meßfahrten in Neuss, Route Nord (Darstellung der Originaldaten).

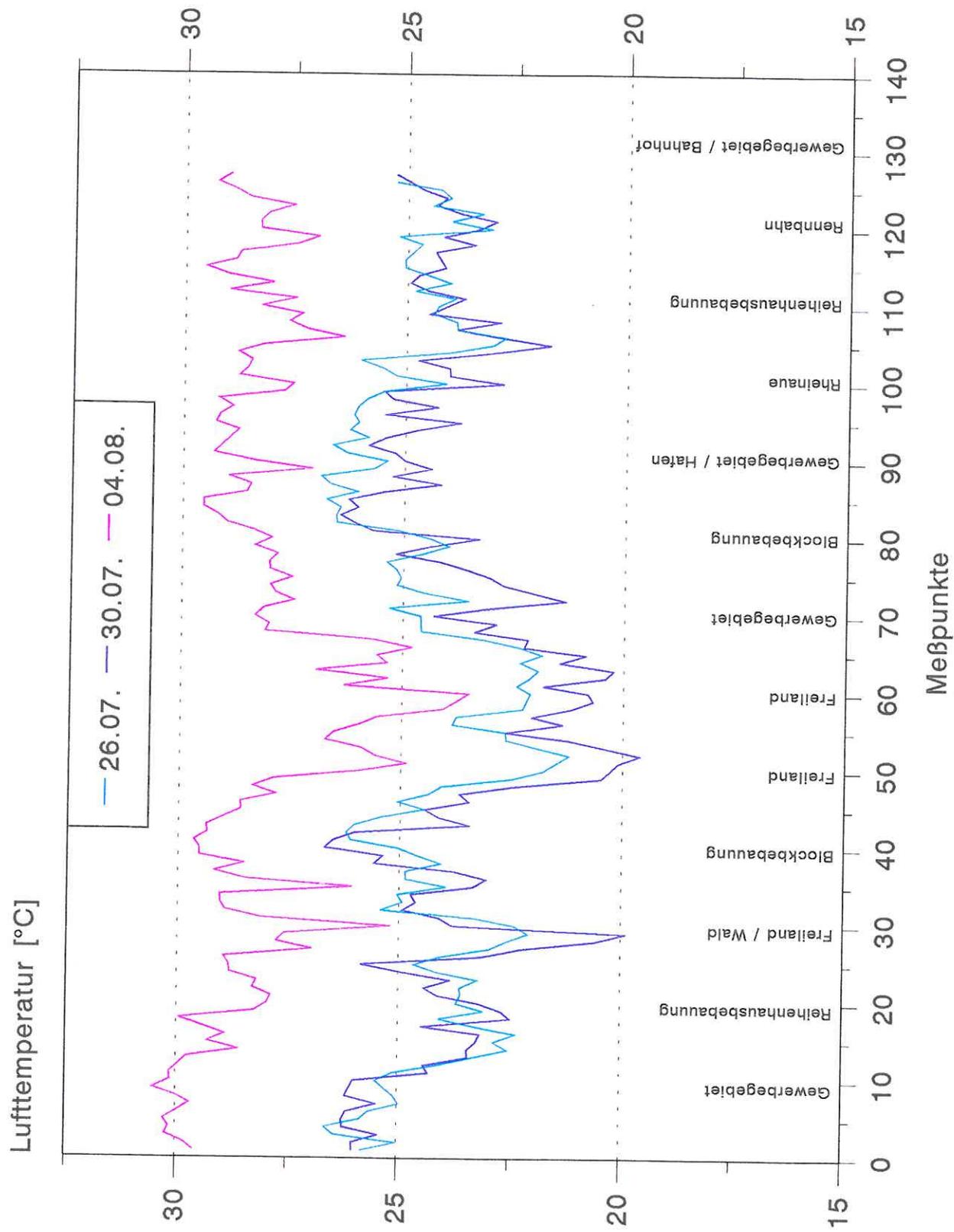


Abb. 3.5: Temperaturprofil von drei sommerlichen PKW-Meßfahrten in Neuss, Route Nord (Darstellung der zeitlich bereinigten Daten).

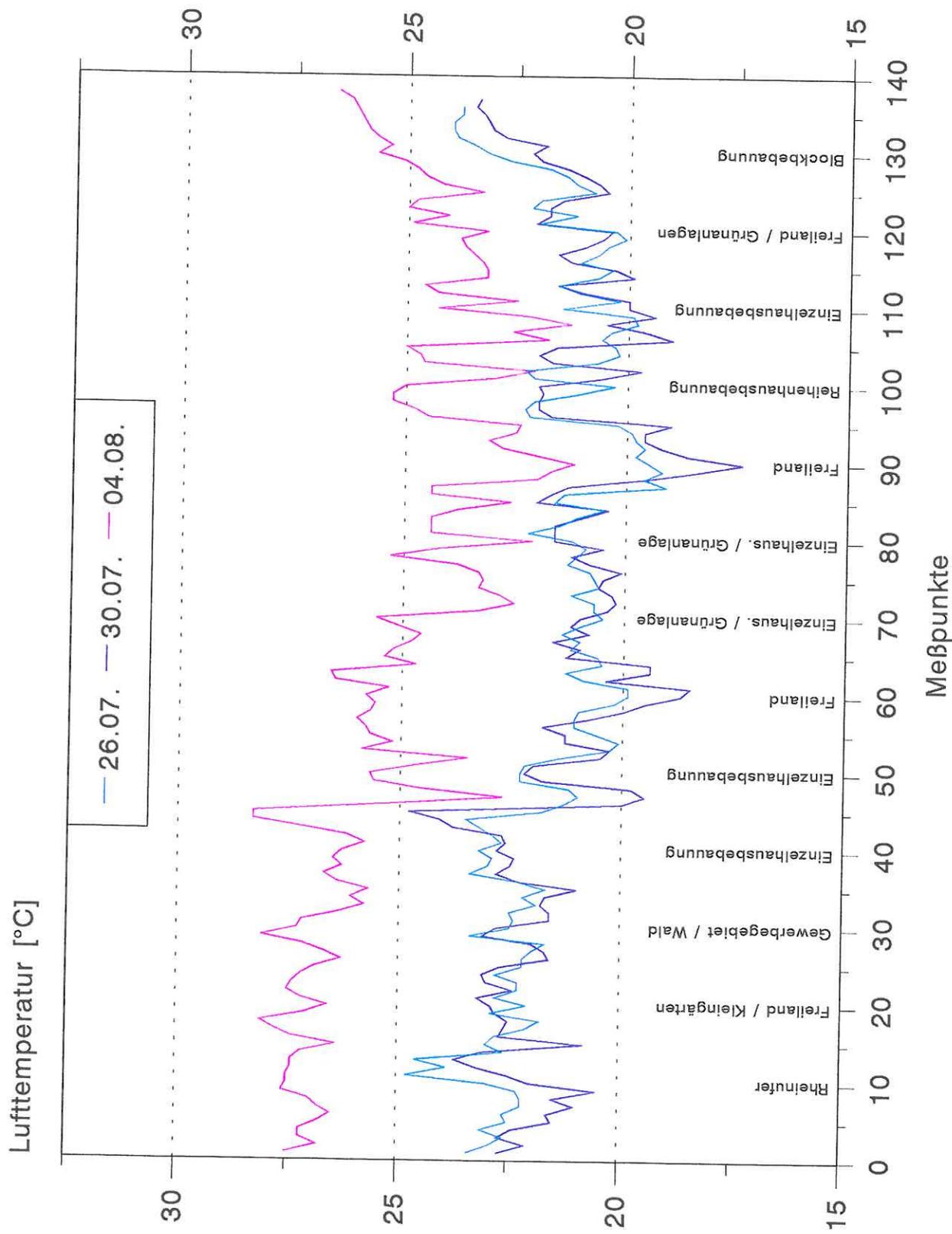


Abb. 3.6: Temperaturprofil von drei sommerlichen PKW-Meßfahrten in Neuss, Route Süd (Darstellung der Originaldaten).

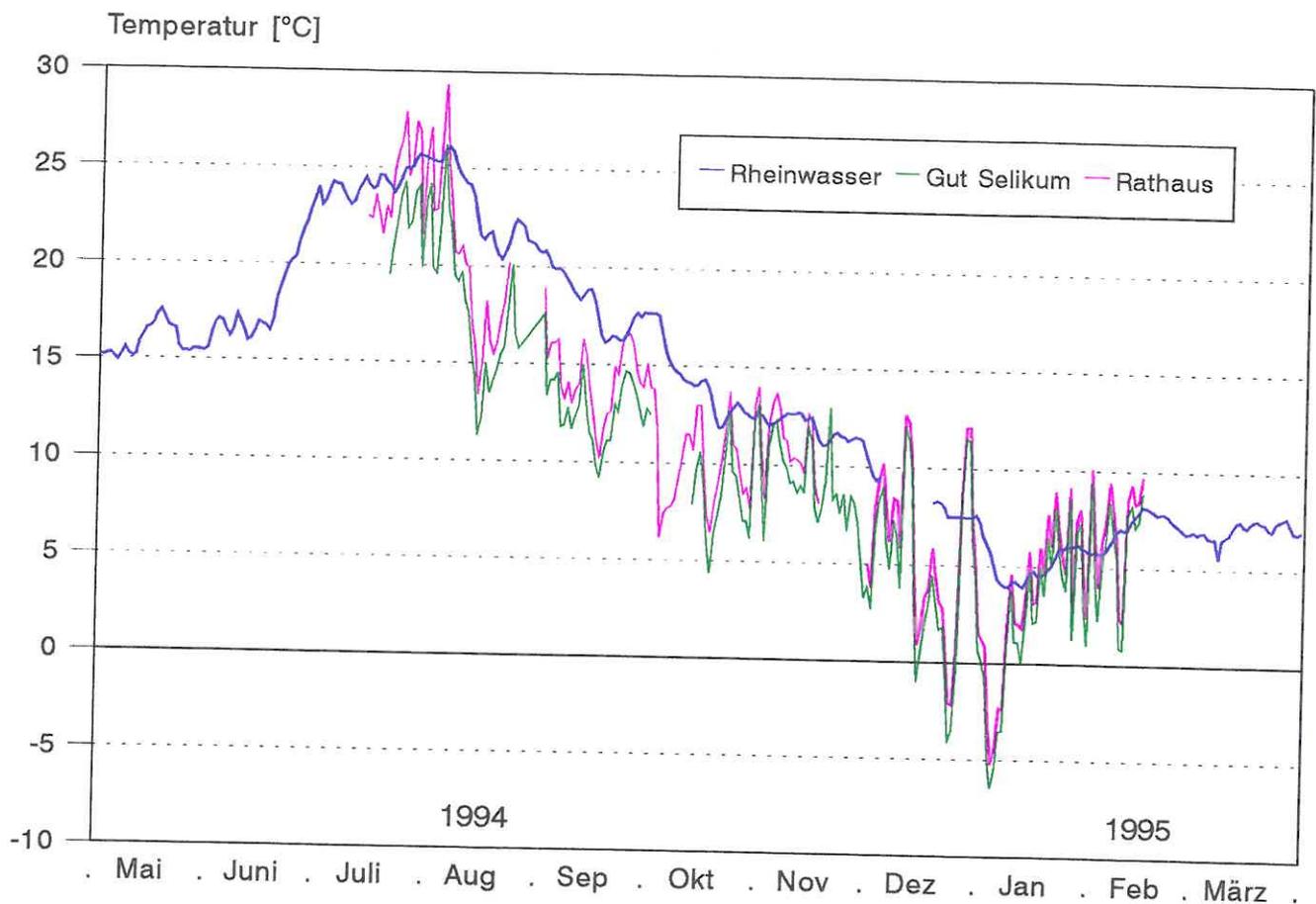


Abb. 3.9: Jahresgang der Lufttemperatur an den Stationen Rathaus und Selikum sowie der Wassertemperatur des Rheins am Kilometer 734, Düsseldorf-Flehe. Quelle: Landesumweltamt NRW

Diese starke Überwärmung der Siedlungen Grimlinghausen und Uedesheim, in erster Linie während der Wintermonate, ist auf den horizontalen thermischen Einfluß des Rheins zurückzuführen (vgl. Abb. 3.9). Entsprechend seiner physikalischen Eigenschaften ist die mittlere Wassertemperatur des Wasserkörpers im Frühjahr zwar niedriger, als die der Luft, während der winterlichen Meßfahrten wurden jedoch häufig Lufttemperaturen um 0°C oder sogar deutlich darunter registriert. Bei einer Wassertemperatur von 6°C bis 8°C kommt es somit auch in Frühjahrsnächten zu einer Erwärmung der wassernahen Luftschicht. Bei entsprechenden Wetterlagen werden diese Luftmassen in die angrenzenden Siedlungsbereiche verdriftet.

Der horizontale thermische Einfluß von Wasserkörpern dieser Größenordnung kann durchaus einige hundert Meter betragen (vgl. KELKER 1992).

Die Vertikalsondierungen in Neuss wurden während austauscharmer Strahlungswetterlagen im Bereich der Rennbahn und des daran nach Westen angrenzenden Wendersplatzes durchgeführt.

Ziel dieser Detailuntersuchung war die Klärung der Fragestellung, ob und unter welchen Umständen die bereits früher nachgewiesene autochthon gebildete Kaltluft von der Rennbahn oder von den Freilandbereichen östlich von dieser in die Innenstadt von Neuss verdriftet wird.

Durch die Erfassung der vertikalen Temperaturschichtung können mehrere Aspekte geklärt werden. Die Meßwerte belegen die Produktion von Kaltluft, den Aufbau eines Kaltluftpolsters, dessen vertikale Mächtigkeit und Temperaturgradienten. Durch Beobachtungen des Ballons erkennt man auch leichteste horizontale Kaltluftbewegungen, die Rückschlüsse auf Kaltluftabflüsse, -stauungen o.ä. zulassen. Des Weiteren können Luftströmungen oberhalb des Kaltluftpolsters erkannt und ihre Strömungsintensität abgeschätzt werden. Diese Beobachtungen wurden unterstützt durch Rauchpatronenversuche und drei weitere kleine Ballone, die in Höhen von 5m, 10m und 20m stationär befestigt wurden.

Abbildung 3.10 zeigt die zeitliche Abfolge der vertikalen Temperaturschichtung im Bereich der Rennbahn. Oberhalb einer bodennahen Schicht von 10m herrscht quasi Isothermie, d.h. es ist mit zunehmender Höhe kein Temperaturgradient und somit keine stabile oder labile Schichtung der Luft erkennbar. Deutlich wird hingegen, daß sich die gesamte Luftmasse in Abhängigkeit von der Zeit kontinuierlich abkühlt. Die Abkühlungsraten vergrößern sich auch nach 0 Uhr nicht, hier wurde lediglich das Meßintervall von 30 Min auf 60 Min verdoppelt.

Interessanter sind die Werte in Bodennähe. Bereits die Messung um 20 Uhr läßt am Erdboden, der Abkühlungsoberfläche, eine leichte Temperaturerniedrigung feststellen, die den Aufbau eines bodennahen Kaltluftpolsters und dessen Obergrenze erkennen oder zumindest vermuten läßt. Erwartungsgemäß kühlt sich die bodennahe Luft in der Folgezeit stark ab. Die Inversionsgrenze, steigt im Laufe der Nacht langsam an und verdeutlicht die Mächtigkeit des Kaltluftpolsters. Bis ca. 21 Uhr liegt sie bei 1m und steigt nach Sonnenuntergang um 21.30 Uhr rasch auf 6m Höhe an. Im Laufe der Nacht ändern sich die Höhe der Inversion nur geringfügig und bleibt deutlich unter der Höhe von 10m über Grund. In Anbetracht der Muldenlage der Rennbahn und der Randbepflanzung mit ca. 15-20m hohen Bäumen erstaunt dieses verhältnis-

mäßig seichte Kaltluftpolster. Ein solches Resultat konnte aufgrund der morphologischen Gegebenheiten vor der Messung nicht erwartet werden.

Oberhalb des Kaltluftsees wurde eine seichte E- bis NE-Strömung registriert, die dem Gradienten der herrschenden Wetterlage entspricht. Sie strömt in 15-20m Höhe über die Rennbahn hinweg, greift nicht in diese ein und räumt somit auch die stabil geschichtete, autochthon gebildete Kaltluft nicht aus. Diese verbleibt als sehr kaltes und extrem stabil geschichtetes Kaltluftpolster in der Mulde der Rennbahn und dient somit nicht direkt der Verbesserung der klima-ökologischen Situation der Innenstadt von Neuss.

Aufgrund dieser unerwarteten Ergebnisse wurde zwei Tage später erneut eine Sondermeßaktion mit gleicher Konzeption angesetzt (vgl. Abb. 3.11). Die Resultate der ersten Messung konnten prinzipiell verifiziert werden. Die Mächtigkeit der Kaltluft übersteigt auch hier nicht 10m. Abweichend zeigt sich jedoch, daß der Grad der Abkühlung in Abhängigkeit zur Mächtigkeit durchaus schwanken kann. Bis zum Meßende um 1.30 Uhr blieb die bodennahe Kaltluftschicht mit 3-5m sehr seicht und zwangsläufig gleichzeitig auch sehr kalt.

Ergänzend zu dem Konzept der zwei vorherigen Messungen wurde am 05.07.1995 eine parallele Messung im Bereich der Rennbahn und auf dem Wendersplatz durchgeführt (vgl. Abb. 3.12). Während die Ergebnisse auf der Rennbahn vergleichbar mit den früheren Messungen verliefen, repräsentieren die auf dem Wendersplatz gewonnenen Daten eine gänzlich andere Charakteristik.

Während der Messungen war die mit Pflastersteinen gänzlich versiegelte Bodenoberfläche des als Parkplatz genutzten Wendersplatzes keine Abkühlungsfläche. Sie blieb durchgehend wärmer als die bodennahen Luftschichten. Diesen wurde somit von der Unterlage keine Wärme entzogen sondern zugeführt, was die Abkühlung des gesamten Luftpaketes natürlich immens verzögert.

Entsprechend stellen sich die vertikalen Temperaturprofile im Vergleich dar. In unmittelbarer Nähe der Bodenoberfläche treten extreme Temperaturunterschiede von bis zu 16 K auf. Diese verringern sich mit zunehmender Höhe auf 0,3-0,5 K treffen sich aber in dem für die Belüftung des Innenstadtbereiches relevanten Luftraum nicht.

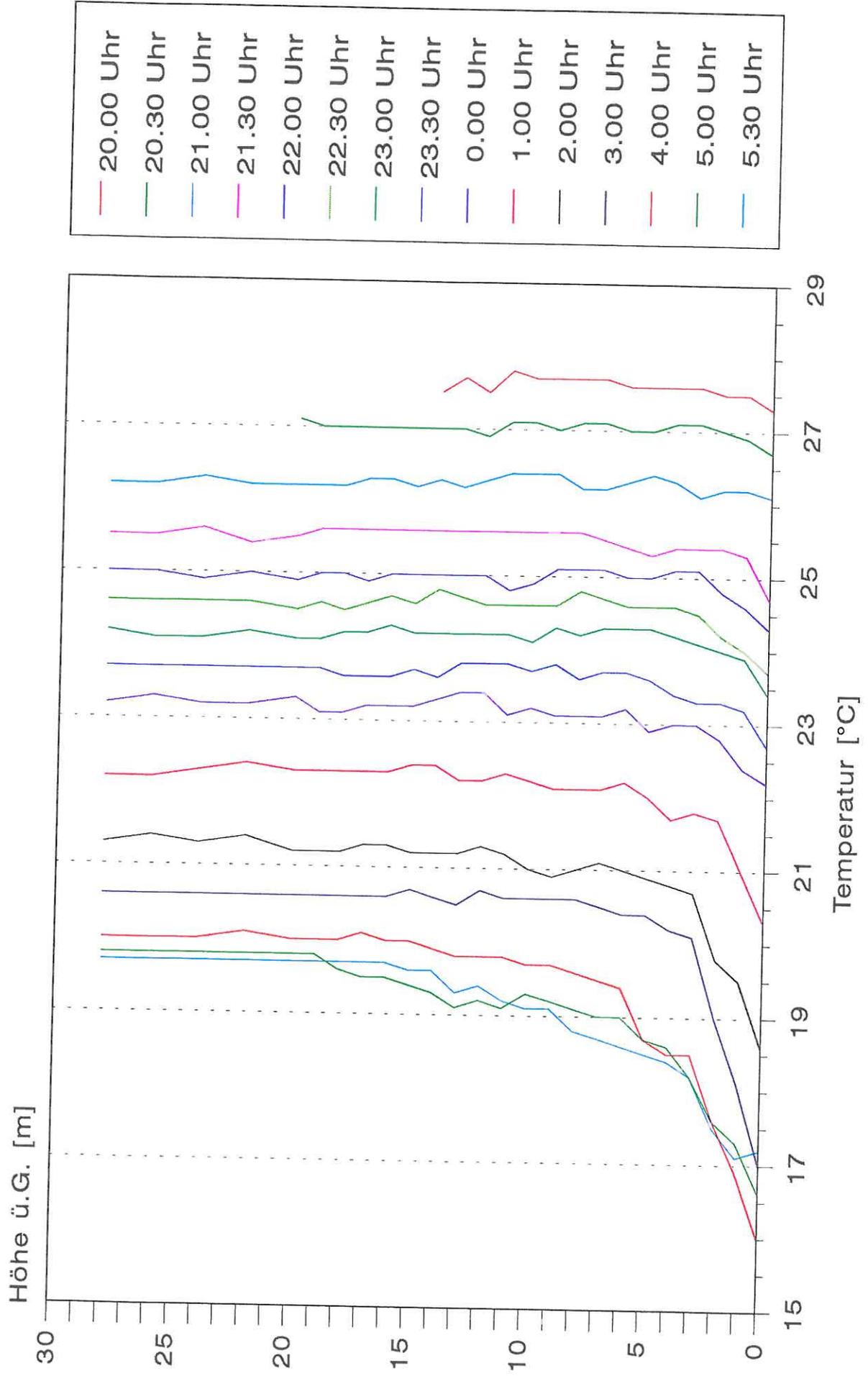


Abb. 3.10: Vertikale Temperaturschichtung im Bereich der Rennbahn der Stadt Neuss. Vertikalsondierung vom 27.-28.06.1995.

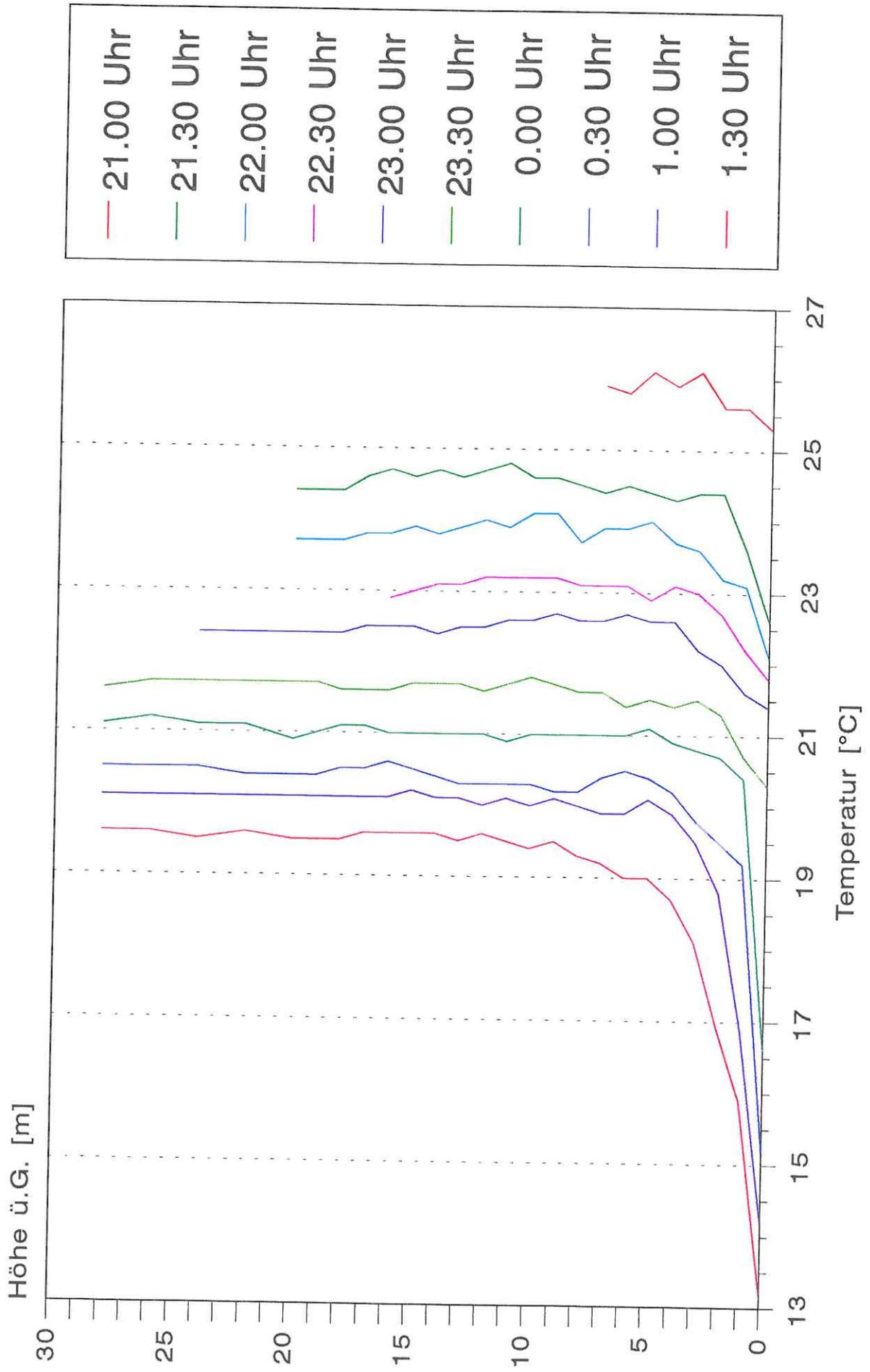


Abb. 3.11: Vertikale Temperaturschichtung im Bereich der Rennbahn der Stadt Neuss. Vertikalsondierung vom 29.-30.06.1995.

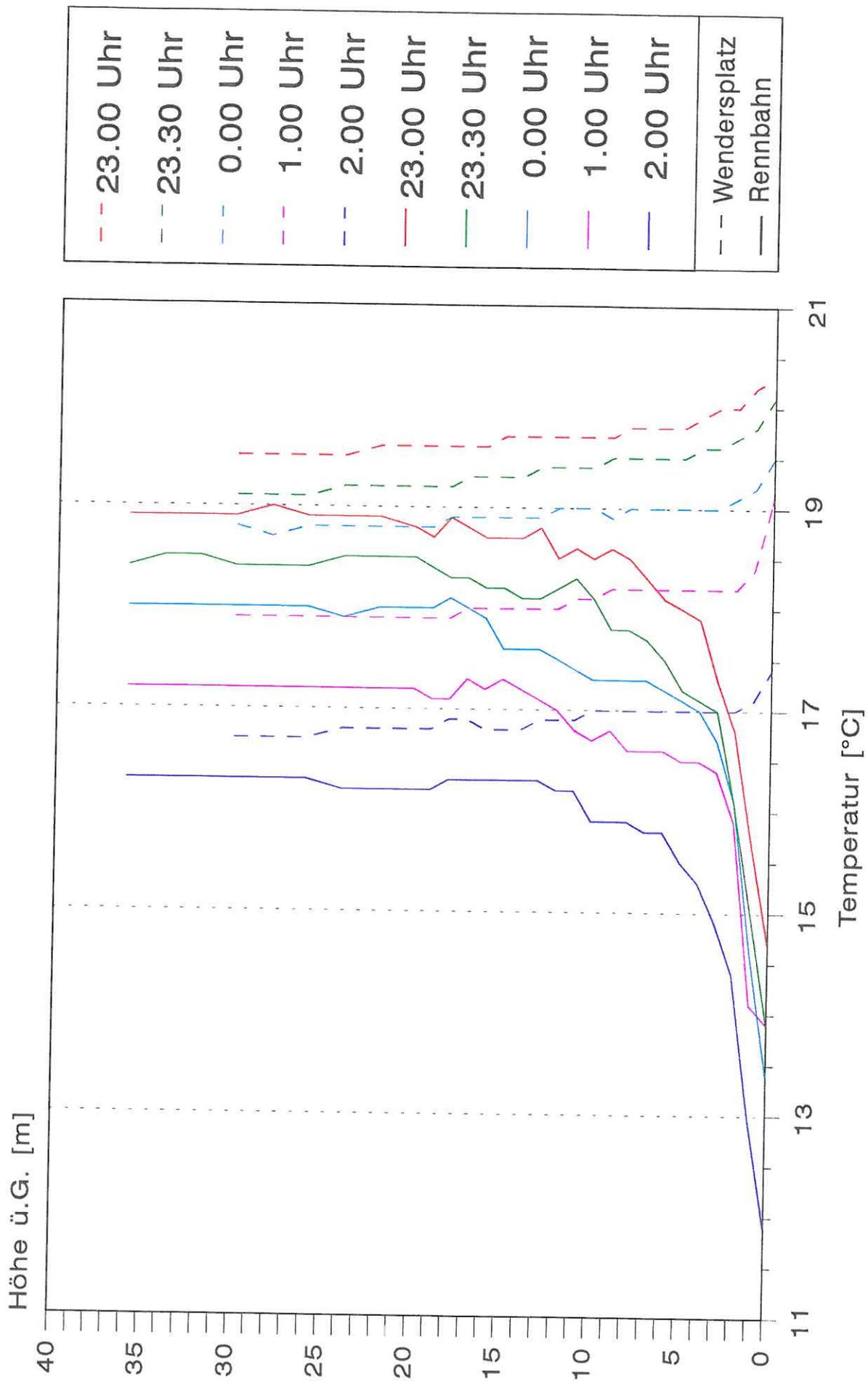


Abb. 3.12: Vertikale Temperaturschichtung im Bereich der Rennbahn der Stadt Neuss und des Wendersplatzes, westlich der Rennbahn. Vergleichende Vertikalsondierung vom 05.-06.07.1995.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß die Vertikalsondierungen im Bereich der Rennbahn und auf dem Wendersplatz in Verbindung mit den Rauchpatronenversuchen und den Beobachtungen vor Ort die im Vorfeld vermutete Kaltluftproduktion auf der Rennbahn bestätigen.

Entgegen ersten Vermutungen bleibt die autochthon gebildete Kaltluft jedoch als seichtes Polster stationär in der Mulde liegen, wird nicht horizontal verfrachtet und dient somit auch nicht direkt der Belüftung der Innenstadt von Neuss und somit einer klimatischen oder klimaökologischen Verbesserung der thermischen Gesamtsituation.

Ein von der Stadt Neuss in Auftrag gegebenes Lokalklimagutachten (KIESE 1995) belegt, daß der Wendersplatz, die Rennbahn und die östlich an diese anschließenden Freiflächen dennoch einem klimatisch sehr sensiblen Bereich angehören. Die Detailuntersuchung ergab für den Untersuchungszeitraum eine überproportionale Häufung von Luftströmungen mit einer östlichen Richtungskomponente. Diese treten überwiegend nachts auf und versorgen die westlich dieses Sektors gelegenen Siedlungsbereiche der Innenstadt mit Frisch- und Kaltluft.

Indirekt erfüllt die Rennbahn somit eine wichtige Funktion indem sie als Platzhalter verhindert, daß hier durch eine zusätzliche Versiegelung der Bodenoberfläche oder gar durch die Ansiedlung von Gewerbe und Industrie mit entsprechenden Emissionen die thermische und lufthygienische Gesamtsituation in der Innenstadt von Neuss deutlich verschlechtert wird.

3.2 Luftfeuchte

Entsprechend der Fragestellung und analog zur Analyse der Lufttemperatur (vgl. Kap. 3.1) kommt den Luftfeuchteverhältnissen in der vorliegenden Klimauntersuchung der Stadt Neuss nur eine untergeordnete Rolle zu. Obwohl nur zwei Stationen mit Thermohygrographen zur Registrierung des Klimaparameters relative Luftfeuchte ausgestattet waren, sollen anhand von Mittelwerten und bei der Betrachtung einzelner Beispielsituationen einige Zusammenhänge aufgezeigt werden.

Luftfeuchte ist ein Begriff für den Wasserdampfgehalt der Luft. Als eine wichtige Komponente des Stadt-, Gelände- und Bioklimas hat sie direkten Einfluß auf das Wetter (z.B. Nebelhäufigkeit) und das Wohlbefinden des Menschen. Während austauscharmer Wetterlagen wird der Wasserdampfgehalt der bodennahen Luftschicht von natürlichen und künstlichen Einflußfaktoren gesteuert.

Die autochthone Verdunstungsleistung eines Standortes ist abhängig von der Temperatur seiner Oberfläche, dem Angebot an zu verdunstendem Wasser und dem Sättigungsdefizit der Luft. Dieses wird von dem vertikalen Dampfdruckgefälle der Luft und somit auch vom horizontalen und vertikalen Luftmassenaustausch beeinflusst. In Abhängigkeit von diesen Steuermechanismen unterscheiden sich Standorte in städtischen Strukturen stark von Standorten über Wasser oder im Freiland.

In der Stadt ist der Grad der Versiegelung sehr hoch, Niederschläge werden durch die Kanalisation schnell abgeführt und stehen für die Verdunstung nicht zur Verfügung. Zudem sind die Vegetationsflächen auf einen Bruchteil der Freilandverhältnisse reduziert. Dennoch ist die absolute Luftfeuchte in Städten oftmals höher als im Umland. Hauptursache ist die nächtliche Wasserdampfausfällung an den stark abkühlenden Freiflächen. Der geringe städtische Grünanteil spielt lediglich eine untergeordnete Rolle (vgl. Tab. 3.2).

Der Wasserdampfanteil der Luft wurde an den Thermohygrographen des stationären Meßnetzes als relative Luftfeuchte registriert. Meßtechnisch bereitet diese Erfassung die geringsten Probleme. Sie gibt an, wieviel Prozent der Luft wasserdampfgesättigt sind und eignet sich für Aussagen über die Häufigkeit der Nebelgefährdung eines Gebietes. Für Vergleiche zwischen den Stationen ist jedoch ein absolutes Maß des Wasserdampfgehaltes besser geeignet.

Die gemessene relative Luftfeuchtigkeit läßt sich hierzu rechnerisch in Dampfdruck [hPa] umrechnen. Der Dampfdruck bezeichnet den Anteil des Luftdrucks, der durch den in der Luft enthaltenen Wasserdampf ausgeübt wird. Erreicht der Dampfdruck seinen, durch die Lufttemperatur vorgegebenen, maximalen Wert (Sättigungsdampfdruck), kommt es zur Kondensation.

3.2.1 Jahrgang der Luftfeuchte

In Tabelle 3.2 sind Mittelwerte der relativen Feuchte und des Dampfdrucks für die Stationen Rathaus und Selikum differenziert nach unterschiedlichen Zeiträumen dargestellt.

Zeitraum	Rathaus		Selikum	
	Rel. Feuchte [%]	Dampfdruck [hPa]	Rel. Feuchte [%]	Dampfdruck [hPa]
Juli	58	17	65	17
August	67	15	73	14
September	79	13	85	12
Oktober	75	10	79	9
November	83	11	87	10
Dezember	85	8	87	7
Januar	83	7	83	6
Februar	83	9	81	8
Sommer	70	14	76	13
Winter	84	9	85	8
Jahr	77	11	80	10

Tab. 3.2: Mittelwerte der relativen Feuchte und des Dampfdrucks für die Stationen Rathaus und Selikum in Neuss.

Erklärung:

Sommer = Juli 1994 - Oktober 1994

Winter = November 1994 - Februar 1995

Jahr = Juli 1994 - Februar 1995

Die eingangs erläuterten Verhältnisse zwischen den Meßgrößen der Relativen Feuchte und des Dampfdrucks lassen sich anhand der Mittelwerte eindrucksvoll belegen. So ist die Innenstadt im gesamten Meßzeitraum relativ trockener als die Freilandstation.

Die Werte des Dampfdruckes belegen jedoch genau das Gegenteil. Die oftmals wärmere Stadtluft beinhaltet aus den bereits erwähnten Gründen i.d.R. mehr Wasserdampf, als die Luft im Freiland

3.1.2 Tagesgang der Luftfeuchte

Betrachtet man den Tagesgang der relativen Luftfeuchte an den Stationen Rathaus und Selikum während sommerlicher austauscharmer Strahlungswetterlagen (vgl. Abb. 3.13), zeigt sich, daß er umgekehrt proportional zu dem der Temperatur (vgl. Abb. 3.4) verläuft. Aus dieser Tatsache läßt sich die enge Verbindung zwischen der Temperatur und der Relativen Luftfeuchte entnehmen.

Bereits am Nachmittag wird die Strahlungsbilanz negativ und die Luft in bodennähe beginnt sich abzukühlen. Entsprechend der physikalischen Eigenschaften des jeweiligen Untergrundes verringert sich hierbei die Temperatur über dem Freiland erheblich stärker als die über den städtischen Strukturen mit entsprechend hoher Wärmespeicherkapazität.

Die Relative Luftfeuchte steigt somit an der Station Selikum sehr schnell und überschreitet bereits um 22 Uhr 90% Sättigung. Ab 0 Uhr flacht die Kurve stark ab, da in der Meßhöhe 95-98% Relative Luftfeuchte erreicht sind. In bodennähe ist die Sättigung erreicht und mit weiter abnehmender Lufttemperatur wird Wasserdampf ausgefällt. Die stark verlangsamte Abkühlung der Stadtluft hat zu Folge, daß der Taupunkt hier auch am Ende der Nacht noch nicht erreicht ist. Die innerstädtische Luft verliert somit nichts von ihrem Wasserdampfgehalt. Nach Sonnenaufgang nimmt die Relative Luftfeuchte an beiden Stationen im Verhältnis zu ansteigenden Temperatur ab und verläuft zwischen 7.30 Uhr und ca. 15 Uhr in einem vergleichbaren Niveau. Der absolute Wasserdampfgehalt der Luft ist in der Innenstadt praktisch über den ganzen Tag höher, als im Freiland.

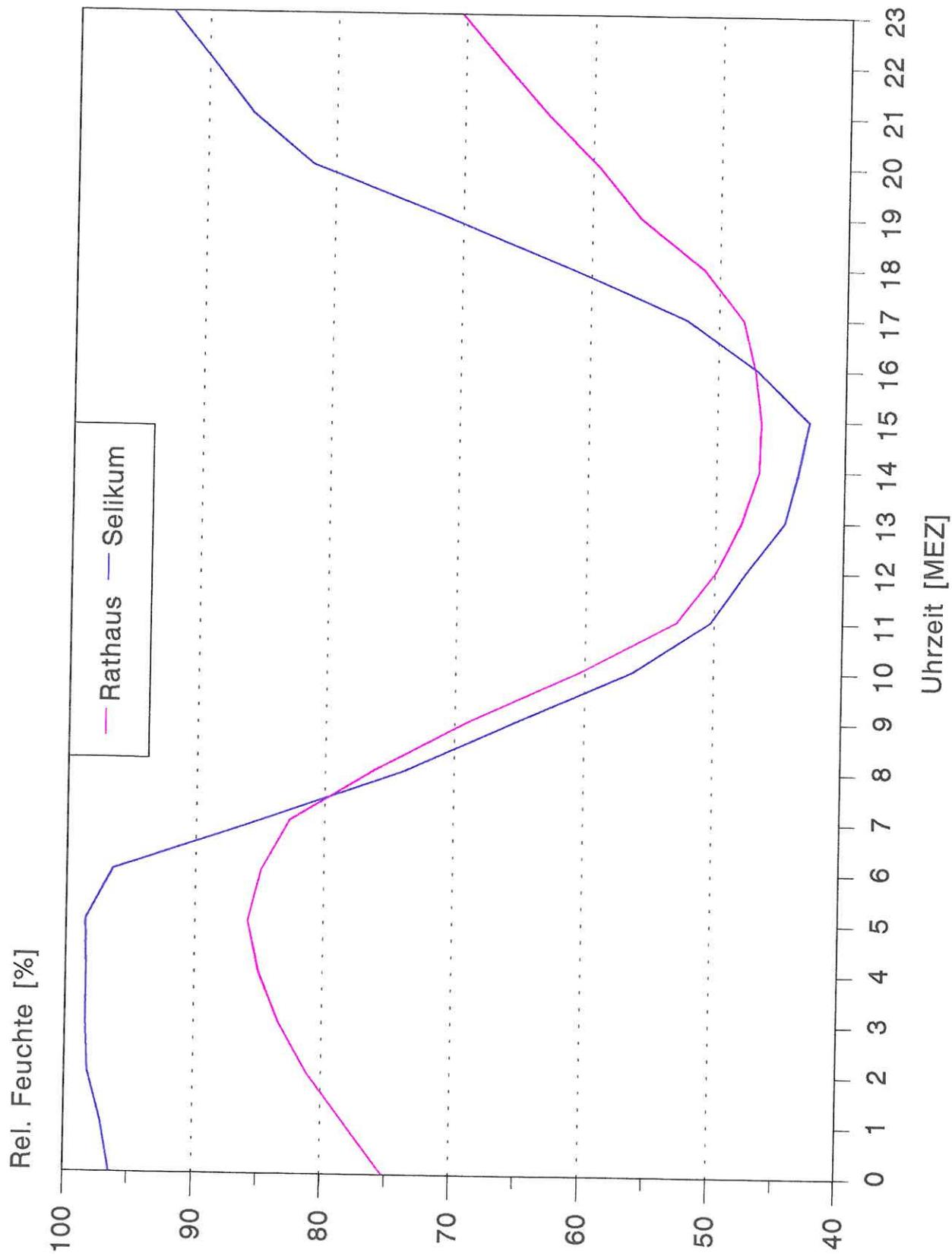


Abb. 3.13: Tagesgang der Rel. Feuchte an den Stationen Rathaus und Seilikum während austauschbarer Strahlungswetterlagen.

3.3 Das Windfeld

Ein Schwerpunkt der Klimauntersuchung der Stadt Neuss ist die Analyse des Windfeldes. Diesem wurde bereits bei der Konzeption des stationären Meßnetzes durch die Auswahl der Standorte und ihre meßtechnische Ausstattung Rechnung getragen. Zur Erfassung des allgemein vorherrschenden Windfeldes, der Belüftungssituation sowie möglicher regionaler oder lokaler Luftaustauschprozesse zwischen der Innenstadt und dem Umland wurden sechs Anemometer zur Registrierung der Parameter Windrichtung und Windgeschwindigkeit um das Stadtzentrum herum angeordnet.

Eine meßtechnische Verifizierung von evtl. planungsrelevanten Schwachwindssystemen (z.B. Flurwind oder Kaltluftabflüsse) entlang von Belüftungskorridoren und Kaltluftleitbahnen schien in Anbetracht des Meßzeitraumes von 216 Tagen, die sich zu annähernd gleichen Teilen auf den Sommer- und Winterzeitraum verteilen, und somit einer Datenbasis von mehr als 5000 Basisstunden, gesichert (vgl. Kap. 2 im Anhang).

Gemittelt über den gesamten Untersuchungszeitraum ergeben sich für die Stationen des stationären Meßnetzes in Neuss die in Abbildung 3.14 als Windrose dargestellten Windrichtungshäufigkeiten. Auffällig ist bei allen Stationen die starke Präsenz von Stunden mit einer südlichen Richtungskomponente. Die Stunden mit einer Windrichtung aus nördlichen Richtungen tritt demgegenüber deutlich zurück und erreicht in keinem Sektor mehr als 10% und nur in wenigen mehr als 5% Häufigkeit. Die Windrose der Stationen Morgensternsheide, Holzheim, Grimlinghausen und Vogelsang zeigen ein prinzipiell ähnliches Bild. An Letztgenannter scheint die Windrose jedoch um 30° nach Osten verschoben zu sein.

Im Gegensatz dazu erscheinen die Windrosen der Stationen Selikum und Rheinaue. Die Ausprägung des Windfeldes unterliegt an diesen Stationen offensichtlich lokalen Einflüssen und wird durch diese modifiziert. An der Station Selikum ist eine Häufung von Westwinden festzustellen. Gleichzeitig sind demgegenüber die Stunden mit einer Richtungskomponente aus SSW unterrepräsentiert. Die Station Rheinaue zeigt eine weitere Modifikation des Windfeldes. Mit einer Häufigkeit von über 30% sind S-Winde absolut dominant. Die an den übrigen Stationen festgestellten Luftströmungen aus SE bzw. SW treten hier deutlich zurück.

Die entsprechende Windgeschwindigkeitswindrose (vgl. Abb. 3.15) läßt die beschriebene Windrichtungsverteilung nicht erkennen. Hierbei ist jedoch zu bedenken, daß nur die mittlere Windgeschwindigkeit der Stunden aus dem jeweiligen Sektor dargestellt wird. Die Häufigkeit wird nicht berücksichtigt. Als Beispiel kann hier der NE-Sektor an der Station Rheinaue genannt werden. An den sehr wenigen Stunden mit einer entsprechenden Richtungskomponente (vgl. Abb. 3.14) war die Windgeschwindigkeit relativ groß.

Gemittelt über große Zeiträume und somit auch unabhängig von einzelnen Wetterlagen läßt sich an der Windgeschwindigkeitswindrose durchaus die Struktur der die Stationen umgebenden Gebiete bzw. deren Rauigkeit ablesen. Die Windgeschwindigkeit ist in jeweils dem Sektor mit der geringsten Rauigkeit (z.B. über Wasser oder Freilandbereichen) am größten. An den Stationen Morgensternsheide und Vogelsang sind dies die westlichen Richtungen, in Grimlinghausen die Südlichen. An der Station Holzheim, zu allen Seiten von Freiland umgeben, treten die stärksten Windgeschwindigkeiten bei SW-Winden auf, diese allein den vorhandenen Reliefeinflüssen zuzuschreiben wäre sicherlich nicht korrekt. Die Station Selikum zeigt in Bezug auf die Windgeschwindigkeit quasi eine Gleichverteilung, lediglich der E- und NE-Sektor läßt bedingt durch eine Baumgruppe (vgl. Kap. 1 im Anhang) eine leichte Depression derselben erkennen.

Unterteilt nach Sommer- (Juli bis Oktober) und Wintermonaten (November bis Februar) lassen sich die anfangs gemachten Aussagen zur Windrichtungsverteilung weiter differenzieren (vgl. Abb. 3.16, 3.17). Geringe Änderungen (< 5%) zeigen die Windrosen der Stationen Morgensternsheide, Grimlinghausen, Rheinaue und Vogelsang. Bei Letztgenannter treten im Sommer jedoch die S-Winde gegenüber dem Winter stark zurück. Die Vergleichbarkeit der Station Holzheim im Winter ist durch die Beschädigung des Gerätes und die damit einhergehende geänderte Datenbasis beeinträchtigt (vgl. Kap. 1 im Anhang).

Auffallende, offensichtlich jahreszeitlich bedingte, Unterschiede zeigt die Station Selikum. Während die Häufigkeit der SE-Winde nur geringen Schwankungen unterliegt, zeigt sich bei der W-SW-Komponente eine deutliche Differenzierung. Die im Sommer vorwiegend aus W und sogar WNW kommenden Luftströmungen erreichen die Station in den Wintermonaten um mehr als 30° nach S verschoben aus WSW. Als Erklärung dieses Phänomens kann lediglich die Beeinflussung des Windfeldes durch die sie umgebenden Bäume und deren Wirkung im belaubten bzw. unbelaubten Zustand angenommen werden. Eine weitere Aufschlüsselung des Datenkollektivs nach Tageszeiten (z.B. Tag- oder Nachtstunden) bringt keine weiterführenden Erkenntnisse.

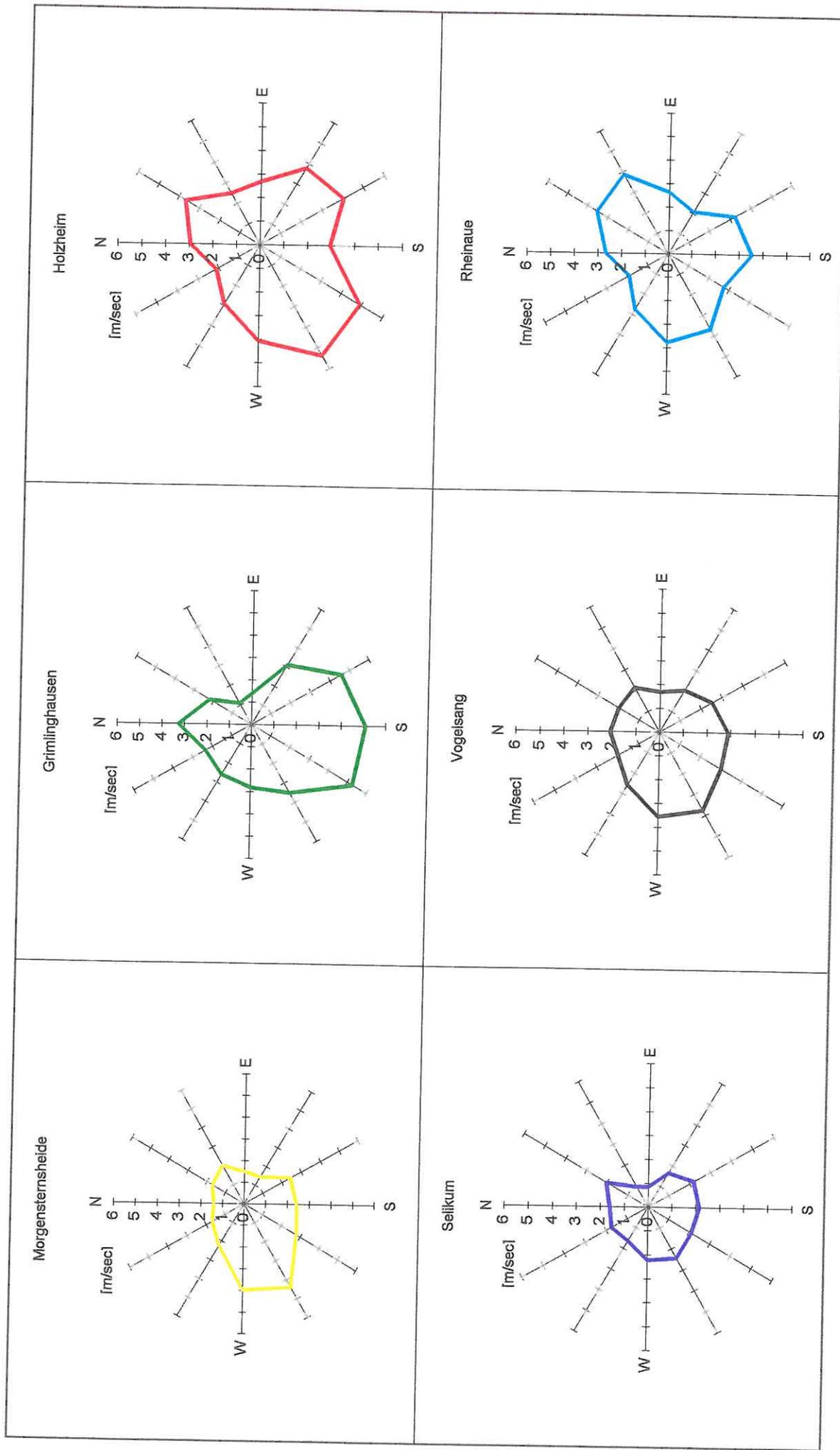


Abb. 3.15: Windgeschwindigkeitswindrose der Stationen des stationären Meßnetzes in Neuss. Zeitraum: 14.07.1994 - 15.02.1995.

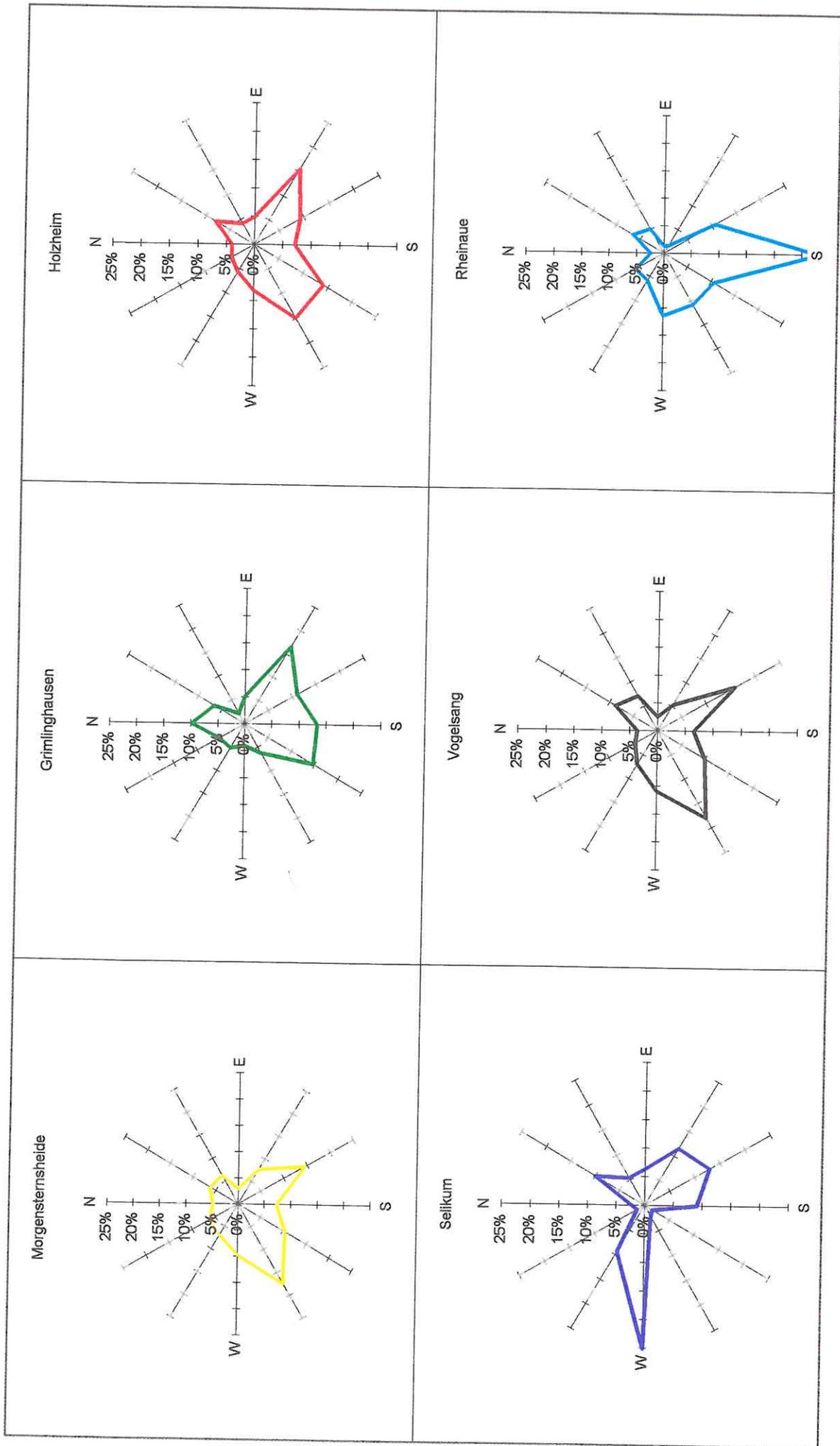


Abb. 3.16: Windrose der Stationen des stationären Meßnetzes in Neuss. Zeitraum: 14.07.1994 - 31.10.1994.

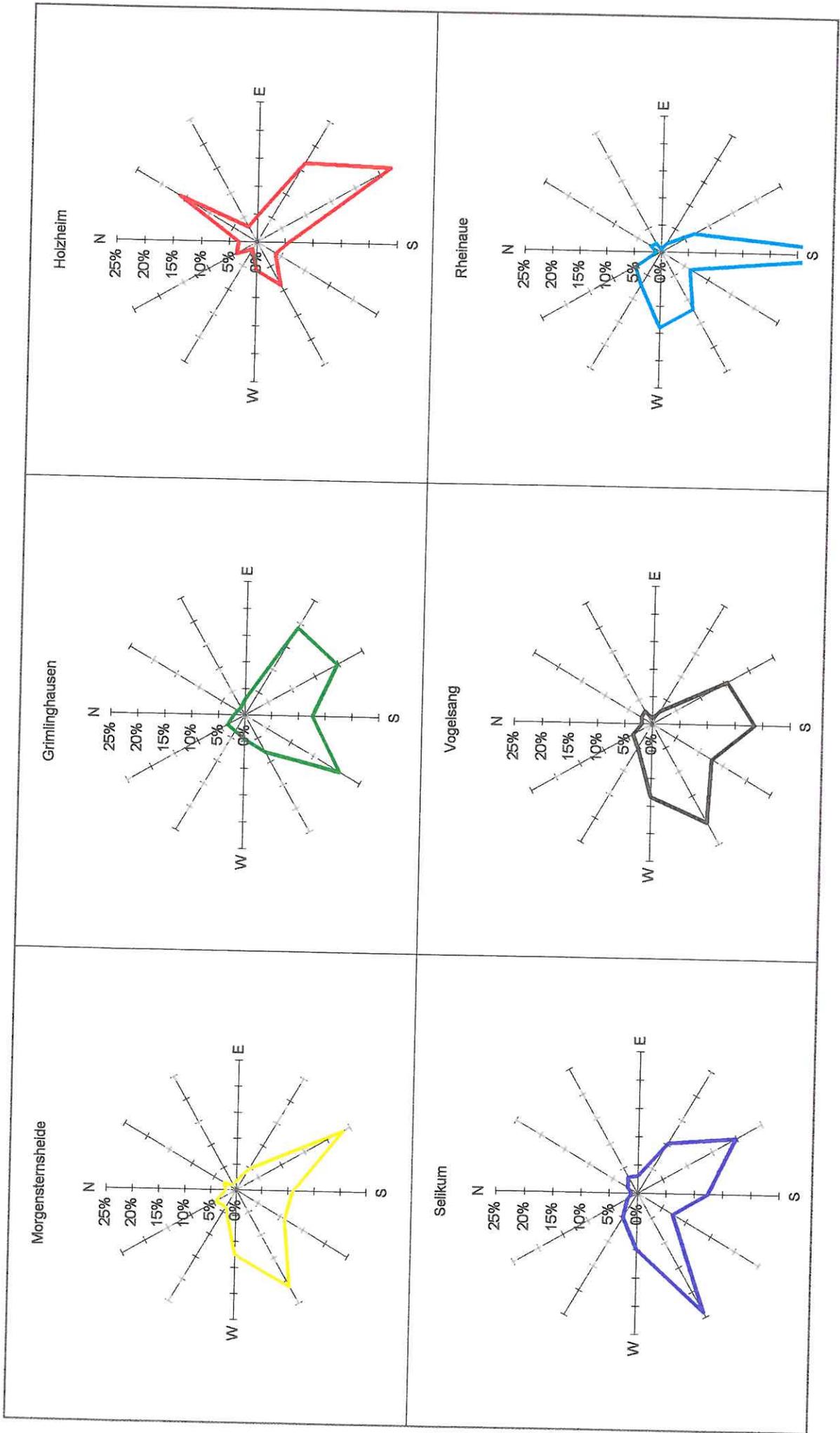


Abb. 3.17: Windrose der Stationen des stationären Meßnetzes in Neuss. Zeitraum: 01.11.1994 - 15.02.1995.

3.3.1 Flurwind

Als Flurwind bezeichnet man im Idealfall eine zentripetal auf das Stadtzentrum hin gerichtete seichte Luftströmung von mehreren Metern bis zu wenigen Dekametern Mächtigkeit, die ihren Ursprung im unbebauten Areal rund um das innere Stadtgebiet hat (vgl. STADT MÜNSTER 1992). Flurwinde als lokale Ausgleichsströmungen in Bodennähe treten verstärkt während austauscharmer Strahlungswetterlagen auf. Ihre Windgeschwindigkeit liegt i.d.R. unter 2,0 m/s.

Die physikalischen Ursachen der Genese von Flurwindssystemen sind noch nicht endgültig geklärt, der Definition der VDI-Kommission Reinhaltung der Luft aus dem Jahre 1993, wonach Flurwinde ausschließlich thermisch bedingt sind und als Ausgleichsströmung zwischen benachbarten Gebieten mit horizontalen Temperaturdifferenzen anzusehen sind, können die Autoren nur bedingt folgen. Die Existenz von Flurwindssystemen ist hingegen gesichert und für eine Reihe von städtischen Agglomerationen unterschiedlichster Größe meßtechnisch nachgewiesen worden (KIESE, OTTO 1986; BARLAG, KUTTLER 1991).

Zur Verifizierung eines derartigen Flurwindsystems im Stadtgebiet von Neuss wurden den Stationen bei der EDV-gestützten Analyse des Datenmaterials jeweils 90° breite Sektoren zugewiesen, die auf das Stadt- bzw. Wärmezentrum ausgerichtet waren. Die bei sechs Stationen sich zwangsläufig ergebenden Überschneidungen dieser Flurwindsektoren wurden hierbei wissentlich in Kauf genommen. Der Gefahr, daß Nicht-Flurwinde (z.B. Gradientwinde) fälschlicherweise als solche benannt werden, wurde durch die Forderung, daß an allen sechs Stationen die Windrichtung aus dem entsprechenden Sektor kommen muß, entgegnet. Obwohl das Kriterium Windgeschwindigkeit bei dieser ersten und zugegebenermaßen groben Durchsicht außer acht gelassen wurde, konnte nicht eine einzige Stunde mit Flurwind festgestellt werden, an der die geschilderte Forderung durch entsprechende Daten erfüllt wurde.

Auch die Reduzierung der Stationsanzahl von sechs auf fünf, vier und später sogar auf drei ergab keine Anhaltspunkte für die Existenz eines Flurwindsystems in Neuss. Ein Grund hierfür ist offensichtlich in der bereits erwähnten lokalen Ausprägung des Windfeldes an einigen Stationen zu suchen, die später in diesem Kapitel noch weiter zu untersuchen sein wird.

Praktisch als letzter Versuch eine zentripetale Ausgleichsströmung mit Ausrichtung auf das Stadt- bzw. Wärmezentrum von Neuss aufzuspüren und anschließend zu belegen, wurden die Stationen Grimlinghausen und Morgen-

sternsheide ausgewählt. Als Flurwindstunde wurde eine seichte horizontale Luftströmung definiert, die an der Station Grimlinghausen entsprechend ihrer Lage zum Zielgebiet, der Innenstadt von Neuss, aus dem SE-Sektor (90-180°) und an der Station Morgensternsheide aus dem SW- bis NW-Sektor (225-315°) kommen sollte und die Windgeschwindigkeit von 2,0 m/s nicht überschreitet. Analysiert man den Datensatz mit diesem „extrem weichen“ Kriterium, lassen sich tatsächlich 92 Stunden mit Flurwind nachweisen.

Die Verteilung dieser Stunden ist sowohl im Jahres- als auch im Tagesgang als durchaus charakteristisch anzusehen. Im Sommerhalbjahr wurde Flurwind an 75 h registriert (3%) und im Winterhalbjahr an 17 h (0,7%). Der Tagesgang ist in Tabelle 3.3 dargestellt und zeigt mit ein in seiner zeitlichen Verteilung, tagsüber ein Flurwindminimum und nachts zwei Maxima, ein Hauptmaximum gegen 4 Uhr und ein sekundäres Maximum um 22 Uhr, durchaus typisches Bild.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Stunden	7	6	9	9	10	6	4	3	2	1	1	1	0	2	2	2	0	0	2	2	3	8	9	5
WG (dm/s)	8	6	6	6	6	7	8	9	13	14	9	10	0	11	7	9	0	0	9	8	6	8	8	7

Tab. 3.3: Tagesgang des Flurwindes an den Stationen Morgensternsheide und Grimlinghausen. Zeitraum: 15.07.1994 - 15.02.1995.

Auffällig ist, daß Flurwind in Neuss nur an einigen wenigen Tagen bzw. Nächten des Jahres vorkommt. Im gesamten Datenkollektiv finden sich nur fünf Nächte, in denen sich ein Flurwindssystem von mehr als drei Stunden Dauer aufbaute. Der Tagesgang der Temperatur an diesen Tagen ist in Abbildung 3.18 dargestellt und zeigt, daß an den Tagen mit nachweisbar zentripetalem Einströmen von Luft in Neuss extreme thermische Verhältnisse vorherrschten. Ein direkter Zusammenhang zwischen den thermischen Bedingungen einerseits und der Flurwindhäufigkeit andererseits darf hier jedoch nicht hergestellt werden, da es eine Vielzahl anderer Tage gibt, an denen die thermischen Bedingungen entweder vergleichbar oder sogar noch extremer waren, an denen sich jedoch kein Flurwindssystem entwickelte.

Der nächtliche Flurwind in Neuss wird von einem weiteren Belüftungssystem mit regionalem oder sogar überregionalem Charakter verhindert bzw. überlagert. Nur an einigen wenigen Nächten im Jahr, wenn keine Überlagerung und somit keine Störung stattfindet, kann sich in Teilbereichen der Stadt ein mit einem Flurwindssystem in seinen Grundzügen vergleichbares Strömungssystem etablieren.

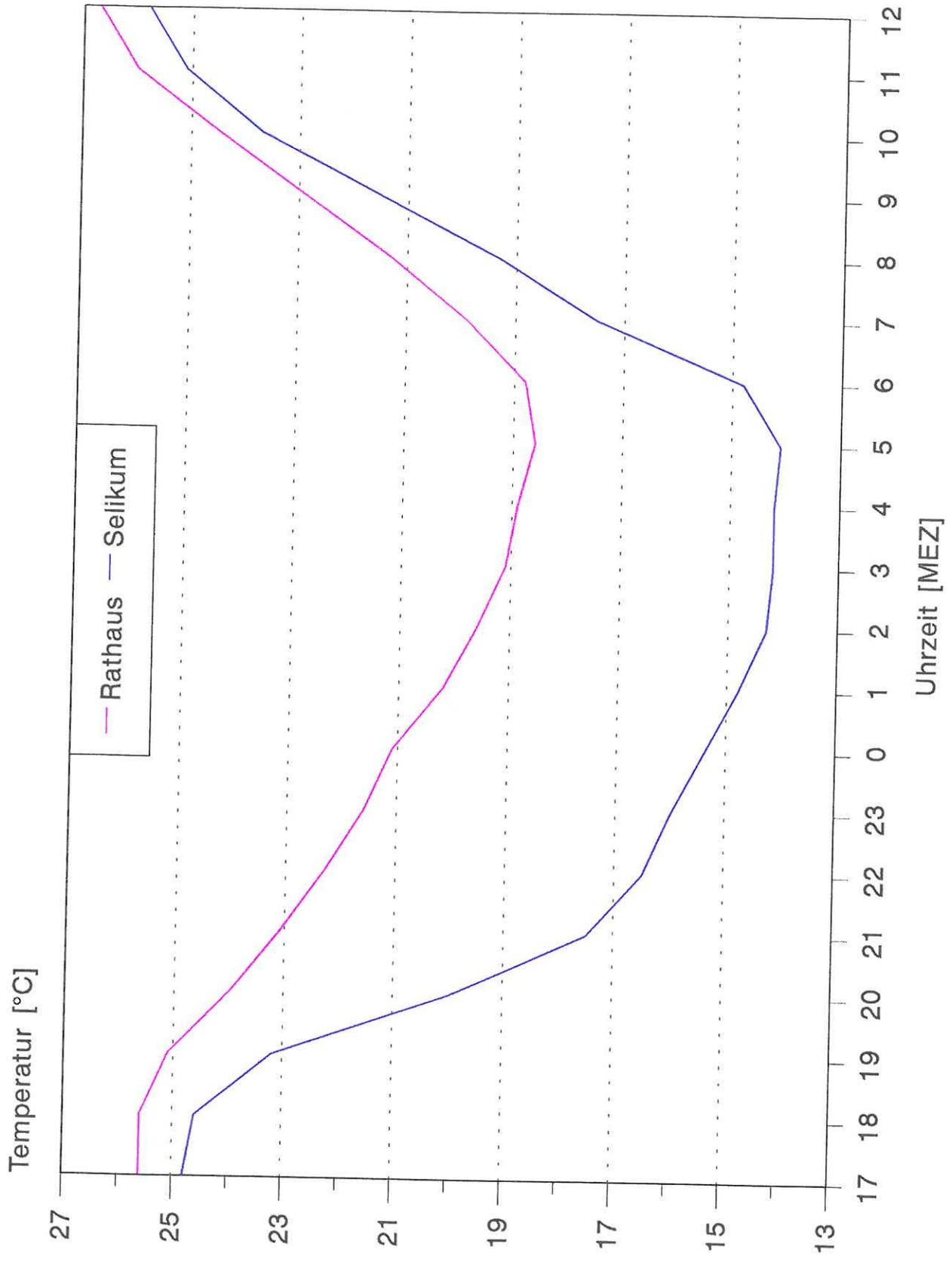


Abb. 3.18: Tagesgang der Lufttemperatur an den Stationen Rathaus und Seilkum während der Nächte mit Flurwind.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß ein nächtliches Flurwindssystem im Sinne der eingangs angeführten Definition in Neuss nicht festgestellt werden konnte. Erst als die Anforderungskriterien auf ein Minimum reduziert wurden, zeigte das Windfeld an zwei Stationen entsprechende Windrichtungen. Die Häufigkeit des Flurwindes an diesen Stationen von insgesamt 92 h entspricht 1,8% des Gesamtzeitraumes (3% Sommer, 0,7% Winter). Sie wird von den Autoren, auch vor dem Hintergrund, daß an allen übrigen Stationen während dieser nicht die entsprechenden bzw. „gewünschten“ Strömungsverhältnisse auftraten, als nicht planungsrelevant eingestuft.

Die Analyse des Windfeldes der Stadt Neuss ergab jedoch, wie bereits angedeutet, als ein weiteres sehr interessantes Ergebnis, ein andersartiges Belüftungssystem mit hohem Wirkungspotential. Es soll im folgenden Kapitel näher betrachtet werden.

3.3.2 Belüftungssystem

Die Analyse des Windfeldes ergab, daß die Stadt Neuss im Wirkungsbereich eines Belüftungssystems regionalen Charakters liegt. Diese läßt sich folgendermaßen ein- bzw. abgrenzen und beschreiben:

Betrachtet man die Windrichtungsverteilung an den Stationen des Meßzeitraumes Juli 1994 bis Februar 1995 fällt einem als erstes der signifikant erhöhte Anteil von Stunden aus dem südlichen Halbkreis der Windrose (90°-270°) auf (vgl. Abb. 3.14, 3.16, 3.17 und Tab. 3.4). Dieser liegt bei allen Stationen unabhängig von ihrer Lage im Stadtgebiet bei über 65%.

Station	Anteil der Stunden mit Wind aus dem südlichen Halbkreis Sektor 90-270°
Grimlinghausen	77,2 %
Rheinaue	73,0 %
Morgensternsheide	72,0 %
Vogelsang	70,8 %
Holzheim	69,0 %
Selikum	66,3 %

Tab. 3.4: Anteil der Stunden mit Luftströmungen aus dem Sektor 90-270°.

Die in Abbildung 3.14 in Form von Windrosen dargestellten Windrichtungsverteilungen an den Stationen des stationären Meßnetzes lassen weitere Differenzierungen in zwei Hauptströmungsrichtungen, SW bzw. SE-SSE, zu. Diese sind in Abhängigkeit von dem jeweiligen Standort unterschiedlich stark ausgeprägt oder in ihren Richtungsachsen leicht verschoben, lassen jedoch das beschriebene Charakteristikum gut erkennen. Ausnahmen sind die Stationen Rheinaue und Grimlinghausen. Die Windrose der Erstgenannten weist eine große Häufigkeit von Stunden mit einem strengen S-Wind auf, der nur durch die Lage der Station zu erklären ist. SW- und SE-Winde werden hier offensichtlich nicht nur durch den Verlauf des Rheins sondern auch durch die Brückenkonstruktion der Eisenbahnbrücke südlich der Station abgelenkt und zu einem mehr oder weniger reinen S-Wind kanalisiert. Luftströmungen aus SW werden überwiegend zu S-Winden, z.T. aber auch zu WSW-Winden abgelenkt. Die Windrose an der Station Grimlinghausen zeigt ebenfalls eine von allen anderen Stationen leicht abweichende Windrichtungsverteilung. Auch hier ist als primäre Ursache der Standort der Station in unmittelbarer Nähe des Rheines zu nennen.

Kehren wir zunächst zu den festgestellten SE- und SW-Winden zurück und versuchen diese weiter zu analysieren. In Abhängigkeit vom Standort der einzelnen Stationen im Stadtgebiet und ihrer Lage zur Stadt selbst weichen die Sektoren für SW- und SE-Wind in Bezug auf ihre Ausrichtung und Größe voneinander leicht ab (vgl. Tab. 3.5).

Station	SW-Sektor		SE-Sektor	
	Ausrichtung	Größe	Ausrichtung	Größe
Morgensternsheide	210°-260°	50°	130°-170°	40°
Vogelsang	210°-270°	60°	130°-180°	50°
Holzheim	200°-250°	50°	120°-160°	40°
Selikum	230°-270°	40°	110°-180°	70°
Grimlinghausen		110°-240° (130°)		
Rheinaue		160°-210° (50°)		

Tab. 3.5: Größe und Ausrichtung der Hauptwindrichtungssektoren. Differenziert nach Strömungen aus SE bzw. SW.

Die Häufigkeit der SW- und SE-Winde sowie die mittlere Windgeschwindigkeit dieser Strömungen ist in der folgenden Tabelle (Tab. 3.6) für den gesamten Meßzeitraum dargestellt.

Station	SW-Sektor		SE-Sektor	
	Häufigkeit	Windgeschw.	Häufigkeit	Windgeschw.
Morgensternsheide	29,6 %	4,1 m/s	23,9 %	2,4 m/s
Vogelsang	34,7 %	3,6 m/s	27,2 %	2,7 m/s
Holzheim	22,0 %	5,3 m/s	22,9 %	4,1 m/s
Selikum	20,0 %	2,4 m/s	33,6 %	2,1 m/s
Grimlinghausen		67,5 %	4,7 m/s	
Rheinaue		44,0 %	3,3 m/s	

Tab. 3.6: Häufigkeit und mittlere Windgeschwindigkeit der Luftströmungen in den jeweiligen Sektoren (SE- bzw. SW).

Die Häufigkeit der Stunden mit Wind aus den entsprechenden Sektoren läßt Rückschlüsse auf die Standorte der Meßstationen erkennen. An den Stationen im Süden und Osten des bebauten Stadtgebietes von Neuss (z.B. Selikum) ist der Anteil von Stunden aus dem SE-Sektor gegenüber denen aus SW signifikant erhöht. Die Stationen im Osten und Norden (z.B. Morgensternsheide, Vogelsang) zeigen demgegenüber eine Erhöhung des Anteils von Stunden mit Wind aus SW. An der Station Holzheim, im SW des Stadtgebietes gelegen ist der Anteil annähernd gleich hoch. Die Windgeschwindigkeit ist an allen Stationen bei SW-Wind größer als bei SE-Wind. Im Durchschnitt ist diese Strömung mehr als 1 m/s kräftiger als die aus SE.

Während der hohe Anteil von Stunden mit einer Luftströmung aus SW charakteristisch für die Lage im Nordwestdeutschen Klimaraum anzusehen ist und somit durch makroskalige Klimaprozesse zu erklären ist, bedarf die Belüftung des Stadtgebiets mittels der doch recht kräftigen SE-Strömung einer weiteren Analyse.

Station	SOMMER		WINTER	
	SE-Wind	SW-Wind	SE-Wind	SW-Wind
Morgensternsheide	19 %	26 %	29 %	33 %
Vogelsang	23 %	32 %	31 %	38 %
Holzheim	20 %	25 %	[33] %	[10] %
Selikum	32 %	12 %	37 %	28 %
Grimlinghausen		58 %		76 %
Rheinaue		47 %		49 %

Tab. 3.7: Häufigkeit der SE- bzw. SW-Winde differenziert nach den Jahreszeiten Sommer (Juli-Oktober) und Winter (November-Februar). Werte in eckigen Klammern = durch Ausfälle eingeschränkter Datensatz an der Station Holzheim (vgl. Kap 1 im Anhang)

Differenziert nach Sommer- und Wintermonaten bestätigen sich prinzipiell die Schlußfolgerungen der Tabelle 3.6. In Abhängigkeit von der Lage der Station zum Stadtgebiet ist entweder der SE- oder der SW-Sektor dominant. An allen Stationen bleibt dieses Verhältnis von erstem zu zweitem Maximum auch während der Jahreszeiten erhalten. Gleichzeitig sind an allen Stationen beide Maxima im Winter deutlicher ausgeprägt als im Sommer.

Im Tagesgang zeigt der SE-Wind eine unerwartete Charakteristik. Im Gegensatz zu Gradient- oder Flurwindssystemen hat der SE-Wind seine Häufigkeitsmaximum nicht zum Zeitpunkt maximaler Einstrahlung oder kurz vor Sonnenaufgang sondern erreicht seine größte Häufigkeit zwischen 7 Uhr und 9 Uhr und sein Minimum zwischen 17 Uhr und 19 Uhr. In Abbildung 3.19 ist der relative Tagesgang dargestellt. Hierbei wurde an allen Stationen die größte Anzahl von Stunden mit SE-Wind gleich Hundert gesetzt und die restlichen Stunden zu diesem Maximum in Relation gesetzt. Die Graphik verdeutlicht die bereits erläuterte Übereinstimmung des Maximums an allen Stationen. Des weiteren lassen sich die Verhältnisse zwischen Maximum und Minimum abschätzen und erlauben die bereits ausgeführten Rückschlüsse auf den Standort der Stationen im Stadtgebiet.

Die in der gleichen Abbildung gleichzeitig als Balken dargestellte Windgeschwindigkeit zeigt den „normalen“ Tagesgang dieses Klimaparameters mit nächtlichem Minimum und mittäglichem Maximum zum Zeitpunkt des Sonnenhöchststandes und somit maximaler Einstrahlung. Ein direkter Zusammenhang zum Tagesgang der Häufigkeit besteht offensichtlich nicht. Bemerkenswert ist jedoch die nachts sehr hohe Windgeschwindigkeit. Selbst zum Zeitpunkt des Windgeschwindigkeitsminimums erreicht die SE-Strömung noch durchschnittlich 2,7 m/s und stellt somit für die Innenstadt von Neuss ein nicht zu unterschätzendes Belüftungspotential dar.

Verzichtet man auf die in Abb. 3.19 vorgenommene Relativierung des Tagesganges und betrachtet die absoluten Werte, läßt sich eine fast schon idealtypische Häufigkeitsverteilung von Stunden mit SE-Wind an den Stationen des stationären Meßnetzes in Neuss feststellen (vgl. Abb. 3.20). Mit zunehmender Entfernung von der Strömungsachse des Rheins nimmt die Häufigkeit der SE-Winde ab.

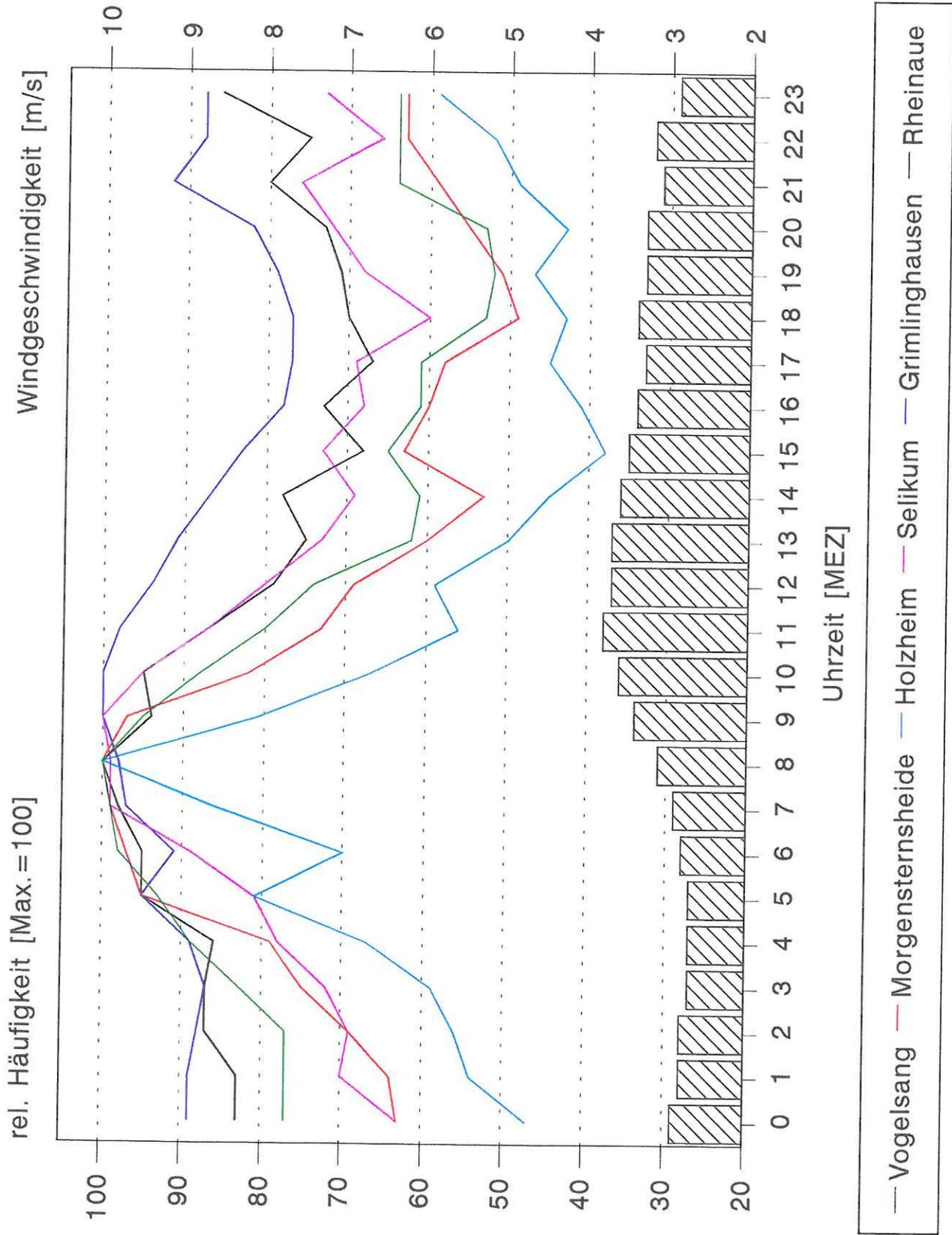


Abb. 3.19: Relativer Tagesgang (Max. = 100) mit SE-Wind an den Stationen des stationären Meßnetzes in Neuss und deren mittlere Windgeschwindigkeit. Zeitraum: 14.07.1994 - 15.02.1995.

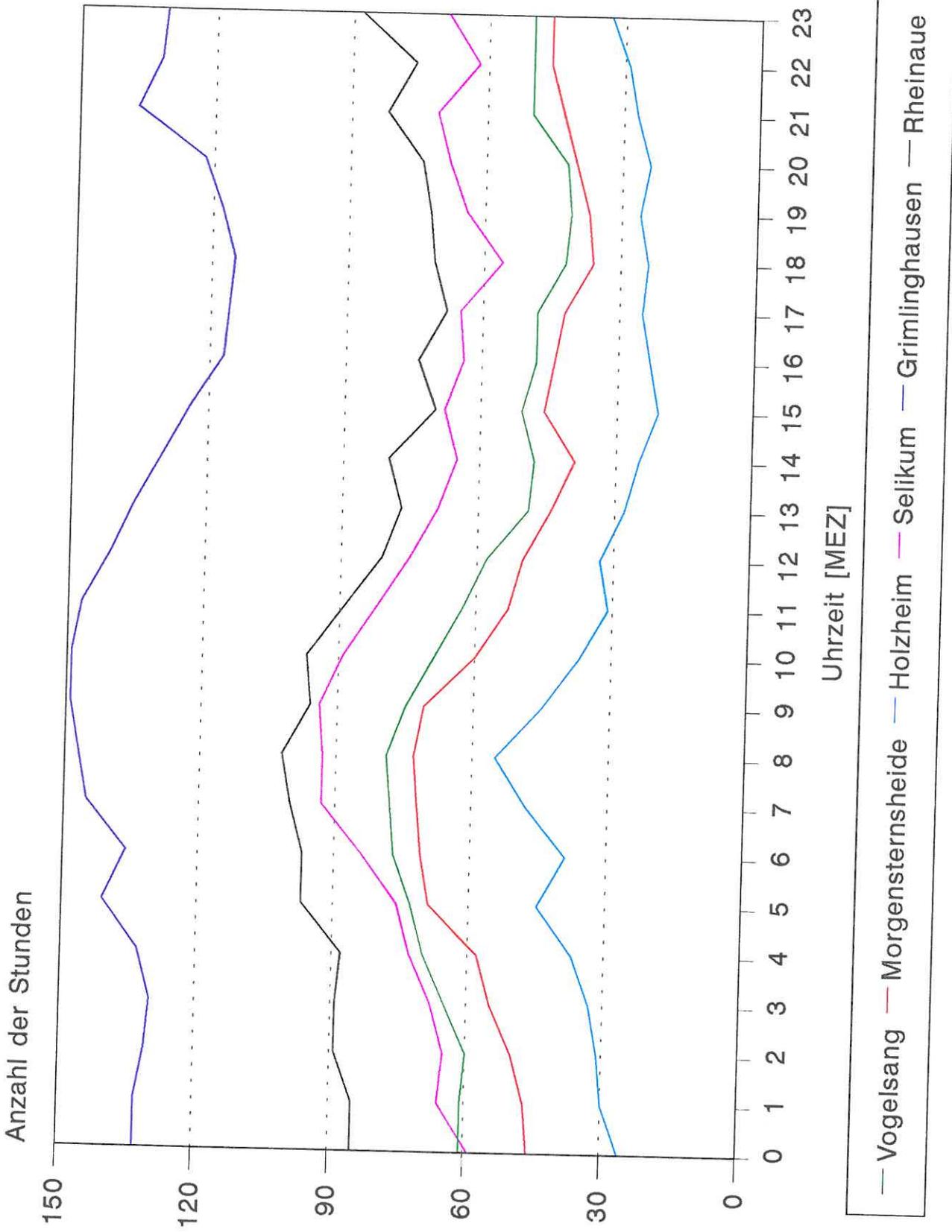


Abb. 3.20: Absoluter Tagesgang der Stunden mit SE-Wind an den Stationen des stationären Meßnetzes in Neuss. Zeitraum: 14.07.1994 - 15.02.1995.

Das Belüftungssystem läßt sich somit als eine Luftströmung beschreiben, deren Strömungsachse der Tiefenlinie des Rheintals folgt. Da es sich von dieser ausgehend aufbaut bzw. sich bei ihrem Abbau auf diese zurückzieht, ist der Anteil der Stunden mit einer entsprechenden Windrichtung in unmittelbarer Nähe des Rheins zwangsläufig am höchsten und nimmt mit zunehmender Entfernung von diesem ab. Diese Erkenntnis läßt Hinweise für die Stadtplanung zu, auf die in späteren Kapiteln (vgl. Kap. 4 und 5) bei den Erläuterungen zu Klimafunktions- bzw. Planungshinweiskarte zurückzukommen sein wird.

Abschließend soll anhand von drei Beispielen verdeutlicht werden, daß das beschriebene Phänomen des SE-Windes in Neuss nicht an bestimmte Wetterlagen oder vorherrschende Gradientwindrichtungen gebunden ist, sondern unabhängig von diesen entsteht und sich bis in Bodennähe durchsetzt. Das Belüftungssystem stellt somit neben den häufigen SW-Winden einen zweiten gleichrangigen klimawirksamen Planungsfaktor für die Stadt Neuss dar.

Neben Gradientwinden aus SW ist es sicherlich besonders schwer gegen einen Gradientwind aus NW ein Strömungssystem aus SE aufzubauen und auch bis in bodennähe durchzusetzen. Abbildung 3.21 und 3.22 zeigen zwei Situationen an denen tagsüber Luftströmungen aus WSW bzw. SW vorherrschen.

Im ersten Fallbeispiel beginnt die Windrichtung nach 18 Uhr indifferent zu reagieren, dreht zuerst an den Stationen Selikum und Grimlinghausen, später an allen Stationen über S auf SE. Diese Strömungsrichtung bleibt in der Zeit von 4 Uhr bis 11 Uhr konstant und ohne bemerkenswerte Windrichtungsänderung. Während dieser sieben Stunden frischt die Windstärke von durchschnittlich ca. 1,5 m/s auf über 3 m/s auf. Bereits kurz vor dem Zusammenbruch der SE-Strömung um 11 Uhr läßt die Windgeschwindigkeit an den Stationen leicht nach. Zwischen 11 Uhr und 12 Uhr vollzieht sich an allen Stationen ein deutlicher Wechsel der Windrichtung. Dieser ist an der Station Selikum am deutlichsten ausgeprägt, erreicht aber auch an den übrigen Stationen eine südwestliche bis westliche Richtung und unterscheidet sich somit deutlich von der Strömung aus SE.

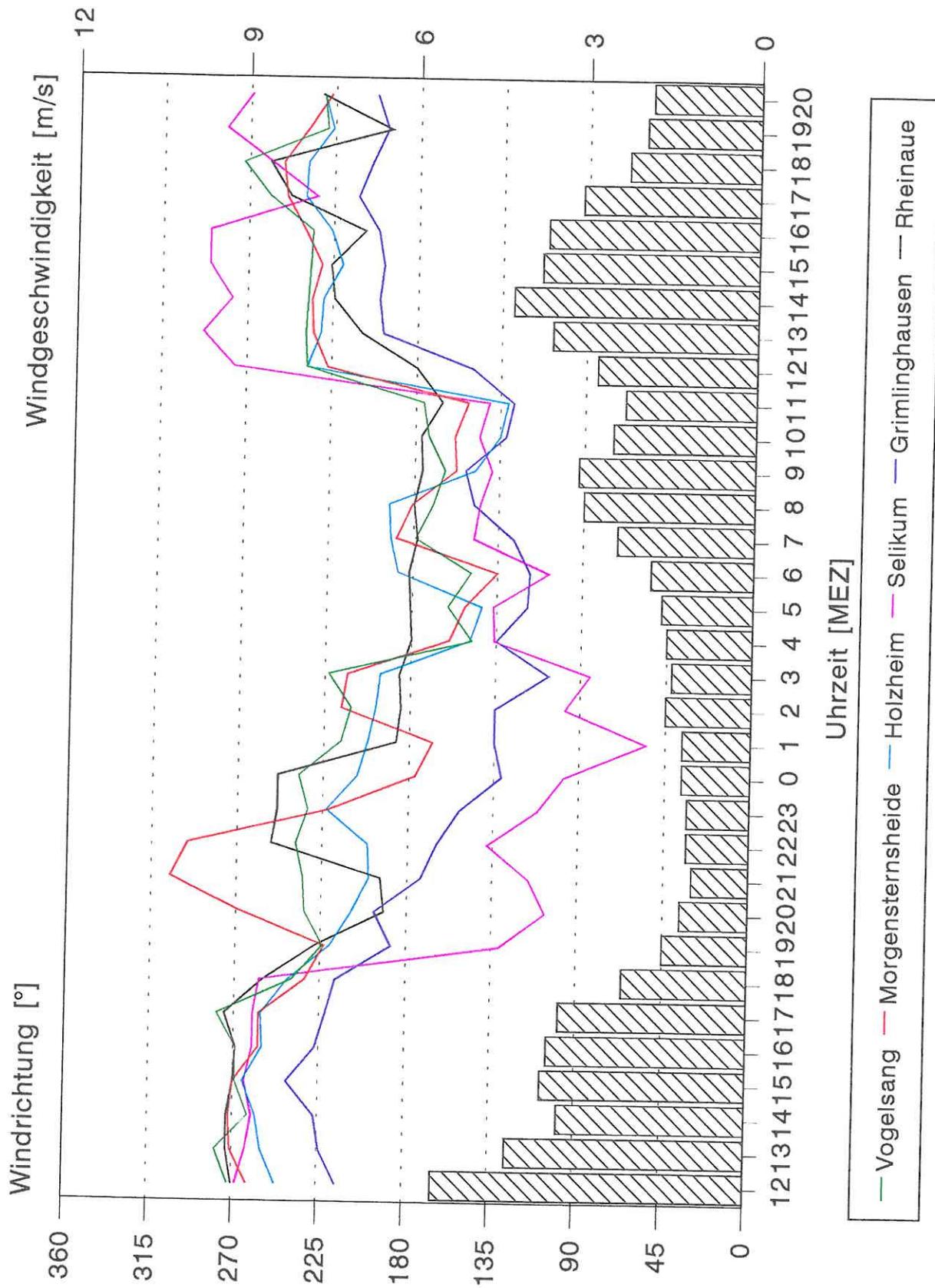


Abb. 3.21: Beispielsituation mit morgendlichem SE-Wind an den Stationen des stationären Meßnetzes in Neuss während einer Wetterlage mit einer Gradientströmung aus WSW. Zeitraum: 03.09.-04.09.1994.

Ein ähnlichen Verlauf zeigt auch die in Abbildung 3.22 dargestellte Situation. Die Gradientwindrichtung ist SW. Im Verlauf der Nacht dreht die Strömung langsam auf S und ab 4 Uhr auf SSE. Diese Richtung hat bis 11 Uhr Bestand und dreht anschließend auf SW zurück. Die bereits beschriebene leichte Zunahme der Windgeschwindigkeit bestätigt sich auch in diesem Fall, auch wenn die Windrichtungsänderung deutlich geringer ausfällt, als in dem ersten Beispiel.

Besonders deutlich wird die morgendliche Änderung der Windrichtung auf SE während einer Wetterlage mit NW-Wind. In Abbildung 3.23 ist eine solche dargestellt. Während die ganze Nacht über an allen Stationen ein schwacher Wind aus NW registriert wurde, setzte sich zwischen 6 Uhr und 7 Uhr der SE-Wind mit einer sprunghaften Richtungsänderung von 150-180° durch. Gleichzeitig verdoppelte sich die durchschnittliche Windgeschwindigkeit. Die SE-Komponente blieb in diesem Fallbeispiel bis ca. 12 Uhr erhalten. In den nächsten Stunden schwenkte die Windrichtung an den Stationen nacheinander zurück auf eine nordwestliche Richtung, die an allen (mit Ausnahme der Station Selikum) gegen 17 Uhr erreicht wird.

Die Untersuchung der Windrichtungsverteilung an den Stationen des Meßnetzes in Neuss hat die Existenz von zwei durchweg positiv zu bewertenden Strömungs- und Belüftungssystemen ergeben. Diese unterscheiden sich in ihrer Genese und in ihrer tageszeitlichen Verteilung stark voneinander. Vergleichbare Resultate erzielt auch eine Untersuchung der Windrichtungshäufigkeit an der Station Düsseldorf-Lohausen des DWD im Luftreinhalteplan Rheinschiene Mitte (MINISTER FÜR UMWELT RAUMORDNUNG UND LANDWIRTSCHAFT DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN 1982). Die hier gewonnenen Erkenntnisse beruhen auf einer Datenbasis von 10-Jahren und erhärten die Ergebnisse der eigenen Untersuchung im Stadtgebiet von Neuss.

Die sich für die Stadtplanung aus dieser Analyse der Windrichtungsverteilung im Raum Neuss ableitenden Hinweise und Schlußfolgerungen werden in den folgenden Kapiteln, den textlichen Erläuterungen zu den graphisch dargestellten synthetischen Klimafunktionen und den Planungshinweisen aus klimatologischer Sicht wieder aufgegriffen und textlich und graphisch konkretisiert.

Ergänzend zu den hier gemachten Ausführungen sind im Kapitel 3 des Anhangs Windrosen und Windgeschwindigkeitswindrosen für alle Stationen des neuen und des alten Meßnetzes differenziert nach Jahreszeiten dargestellt.

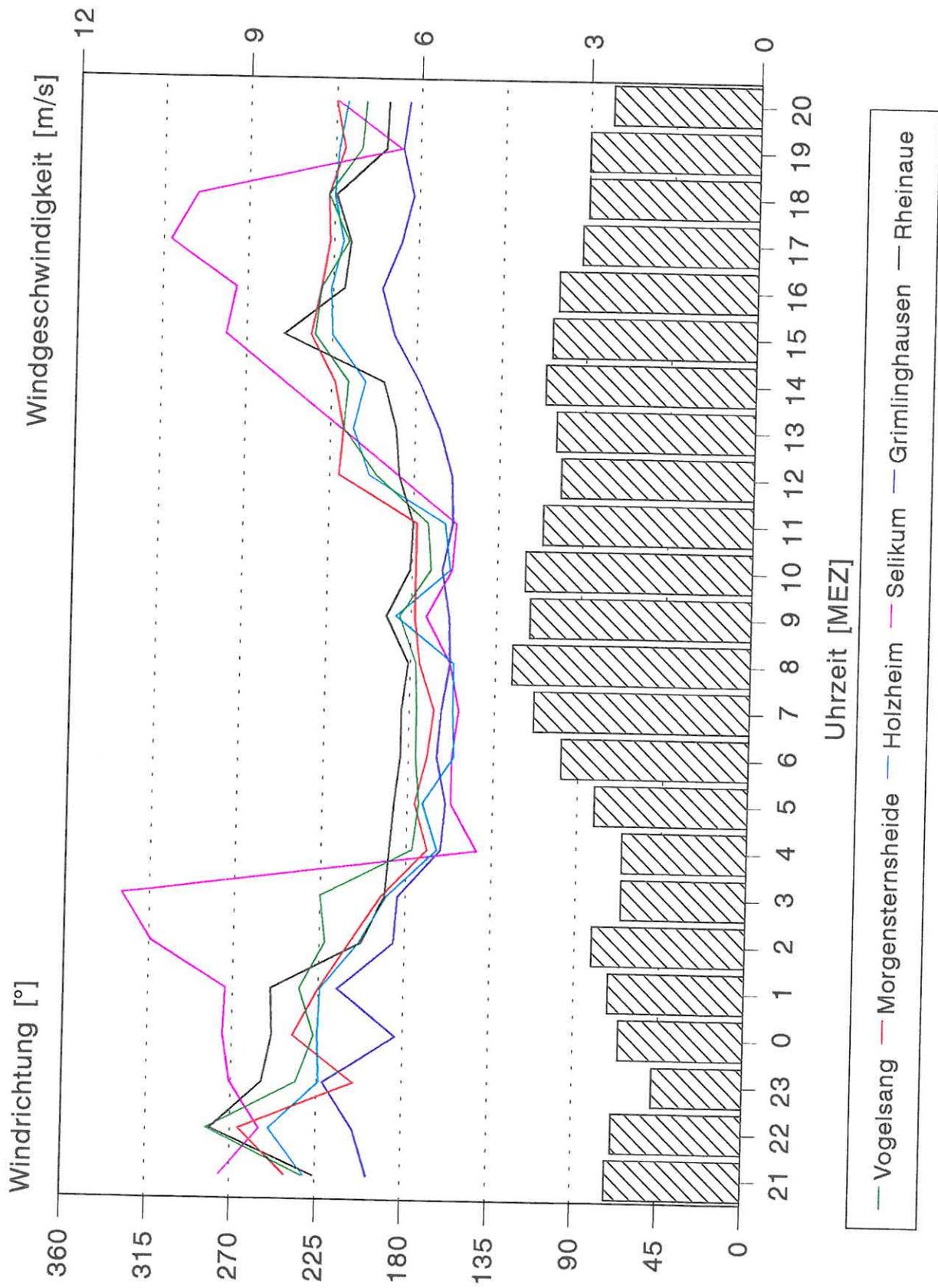


Abb. 3.22: Beispielsituation mit morgendlichem SE-Wind an den Stationen des stationären Meßnetzes in Neuss während einer Wetterlage mit einer Gradientströmung aus SW-SSW. Zeitraum: 27.08.-28.08.1994.

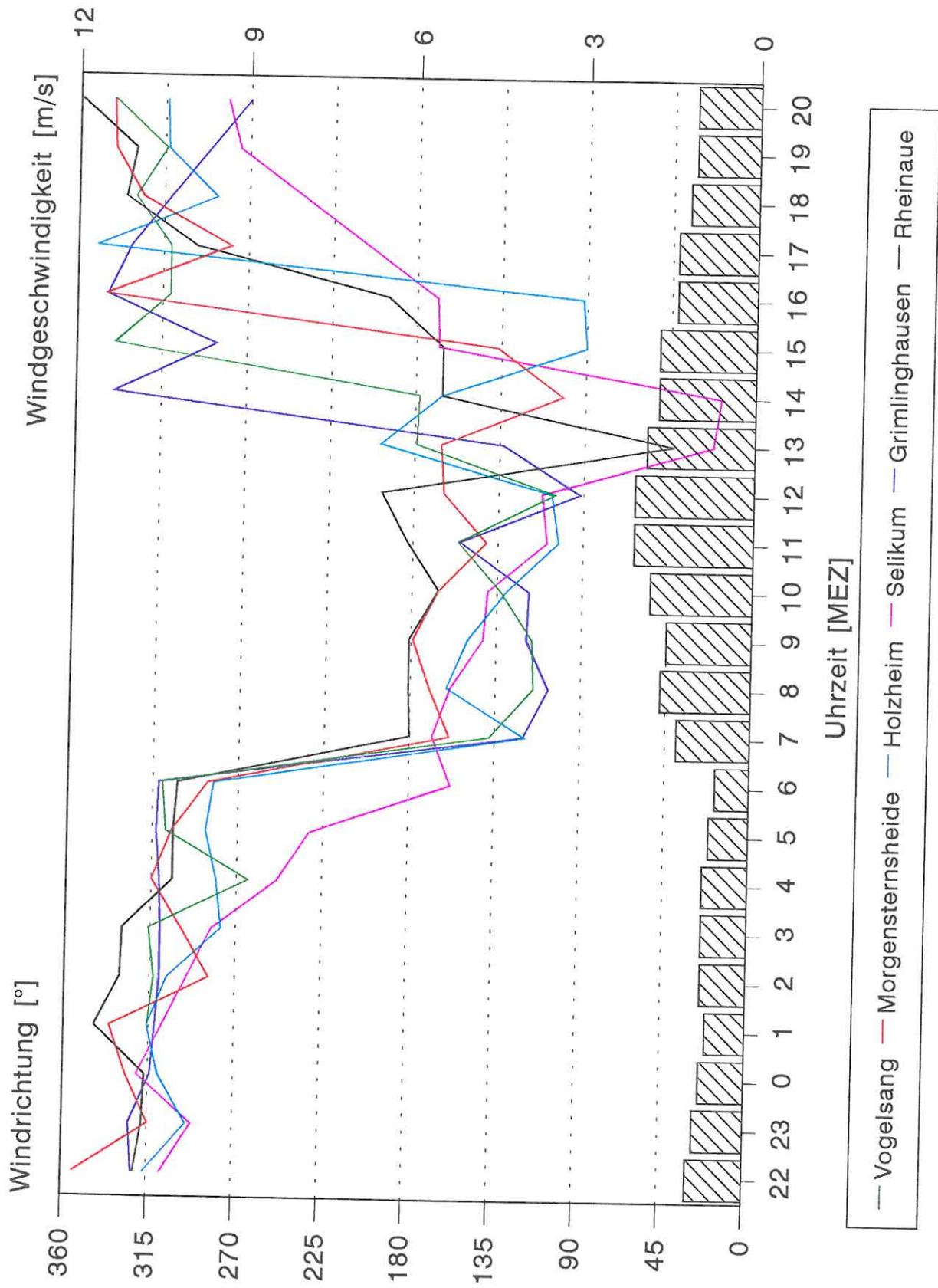


Abb. 3.23: Beispielsituation mit morgendlichem SE-Wind an den Stationen des stationären Meßnetzes in Neuss während einer Wetterlage mit einer Gradientströmung aus NW. Zeitraum: 20.07.-21.07.1994.

4 Die synthetische Klimafunktionskarte

Die Erstellung der synthetischen Klimafunktionskarte stellt einen zentralen Punkt der Klimauntersuchung für die Stadt Neuss dar. Als Ergebnis aller Untersuchungen zur klimatischen Ist-Situation geht sie als digitale Karte in das in Aufbau befindliche Umweltinformationssystem der Stadt Neuss ein und erlaubt somit einen schnellen Zugriff auf den Abwägungsfaktor Klima bei allen zukünftigen raumbezogenen Planungen.

Grundlage der Karte in bezug auf die Abgrenzungskriterien und Definitionen ist vertragsgemäß die Entwurfsfassung der VDI-Richtlinie 3787 Blatt 1.

4.1 Klimatope nach VDI 3787 (Entwurf)

Nach VDI 3787 Blatt 1 werden Klimatope nach zwei Gesichtspunkten definiert:

1. nach der relativen Homogenität der mikroklimatisch wichtigsten Faktoren (Relief, Flächennutzung, Oberflächenstruktur, Bodenart und Vegetationsart, -zustand) und
2. nach der (mikroklimatischen) Auswirkung dieser Faktoren, die innerhalb eines Klimatops wenig unterschiedlich sein sollen (vgl. VDI 3787; 3.2.1).

Die so definierten Klimatope sind demnach keine reinen Strukturtypen aber auch keine echten Klimatope, d.h. Räume mit individuell geprägten und je nach Typ voneinander unterscheidbarem Klima. Die detaillierte Definition der Typen „Gartenstadtklima“, „Stadtrandklima“, „Klima verdichteter Stadtbebauung“ und „Cityklima“ unterstellt, daß das Klima, speziell die (vor allem nächtliche und weniger tagsüber auftretende) Überwärmung, in der genannten Reihenfolge allein aufgrund der Merkmale: „zunehmende Versiegelung und Geschoßhöhe“ zunehmen müßte.

Sie verkennt aber viererlei:

1. Die Frage der Ausdehnung der einzelnen Strukturtypen mit der Folge zunehmender Überwärmung im Zentrum homogener Strukturtypen in Abhängigkeit von wachsendem Areal. Das bedeutet in der Realität, daß z.B. im Zentrum ausgedehnter Wohnareale mit Gartenstadtcharakter dasselbe Mikroklima herrschen kann, wie in kleineren Arealen mit verdichteter Stadtbebauung, obwohl nach den jeweiligen Definitionen im ersten Fall der Versiegelungsgrad $< 30\%$ sein muß, im zweiten Fall bis $< 70\%$, d.h. mehr als doppelt so hoch sein kann.

2. Die Frage der Lagebeziehungen. Klimatope mit „Cityklima“ werden z.B. nur durch den Versiegelungsgrad $> 70\%$ und höhergeschossige Bauweise definiert, wobei nicht erwähnt wird, ob diese so definierte City (mehr oder weniger) im Zentrum der Stadt liegen müßte. Das liegt zwar nahe und mag in vielen Fällen auch zutreffen, muß aber keineswegs so sein. Noch deutlicher wird dieses Definitionsmerkmal beim Klimatop „Stadttrandklima“. Dieses wird nicht etwa durch die Lage am Rand einer Stadt definiert, sondern nur durch einen höheren Versiegelungsgrad ($< 50\%$) und höhere Gebäude (ca. 3-geschossig), wobei nur erwähnt wird, daß solche Strukturen am Stadtrand („im Übergang vom allenfalls locker bebauten Umland“) zu liegen haben. In der Regel sind aber solche Strukturtypen in zwischenzeitlich verdichteten Zentren von isolierten Siedlungsbereichen (d.h. ehemals selbständigen Dörfern) anzutreffen, deren Randbereiche Gartenstadtcharakter aufweisen.

3. Die Existenz weiterer durchaus häufig vertretener Strukturtypen. Als Beispiel sei der Typ „Locker angeordnete vielgeschossige (≥ 6) Wohnblocks“. Nach der Geschößzahl müßte er dem Klimatop „Cityklima“, vom Versiegelungsgrad dem Typ „Innerstädtische Grünfläche“ zugeordnet werden.

4. Den durchweg höheren Versiegelungsgrad. Das am geringsten versiegelte Stadtklimatop („Gartenstadt“) wird mit einem Versiegelungsgrad von $< 30\%$ definiert. Die für dieses Klimatop charakteristische Bauweise (freistehendes Einfamilienhaus mit Garage auf einem ca. 600 m^2 großen Grundstück) weist ohne den (stets versiegelten) Straßenanteil einen Versiegelungsgrad von mindestens 35% , mit Berücksichtigung der Straßen von etwa $45\% - 50\%$ auf (vgl. Grundriß in Abb. 4.1). Dieser steigt proportional mit abnehmenden Grundstücksgrößen an, da eine Verringerung der Parzellengröße in erster Linie zu lasten der unversiegelten Bereiche und selten zu lasten der überbauten und versiegelten Fläche geht.
 Bei durchaus durchgrünt erscheinenden Reihenhaussiedlungen steigt der Versiegelungsgrad immer auf über 50% . Derartige Siedlungen müßten nach der Definition dem Typ „Verdichtete Stadtbebauung“ zugeordnet werden. Andererseits fehlt am oberen Ende der Skala („City“) eine weitere Steigerung. Nach der VDI-Vorgabe tritt dieser Typ in der Stadt Neuss durchaus auf, was aber beim physiognomischen Vergleich, z.B. schon mit einer Stadt wie Frankfurt / M. fragwürdig und im Vergleich mit Mehrmillionenstädten geradezu absurd erscheint.

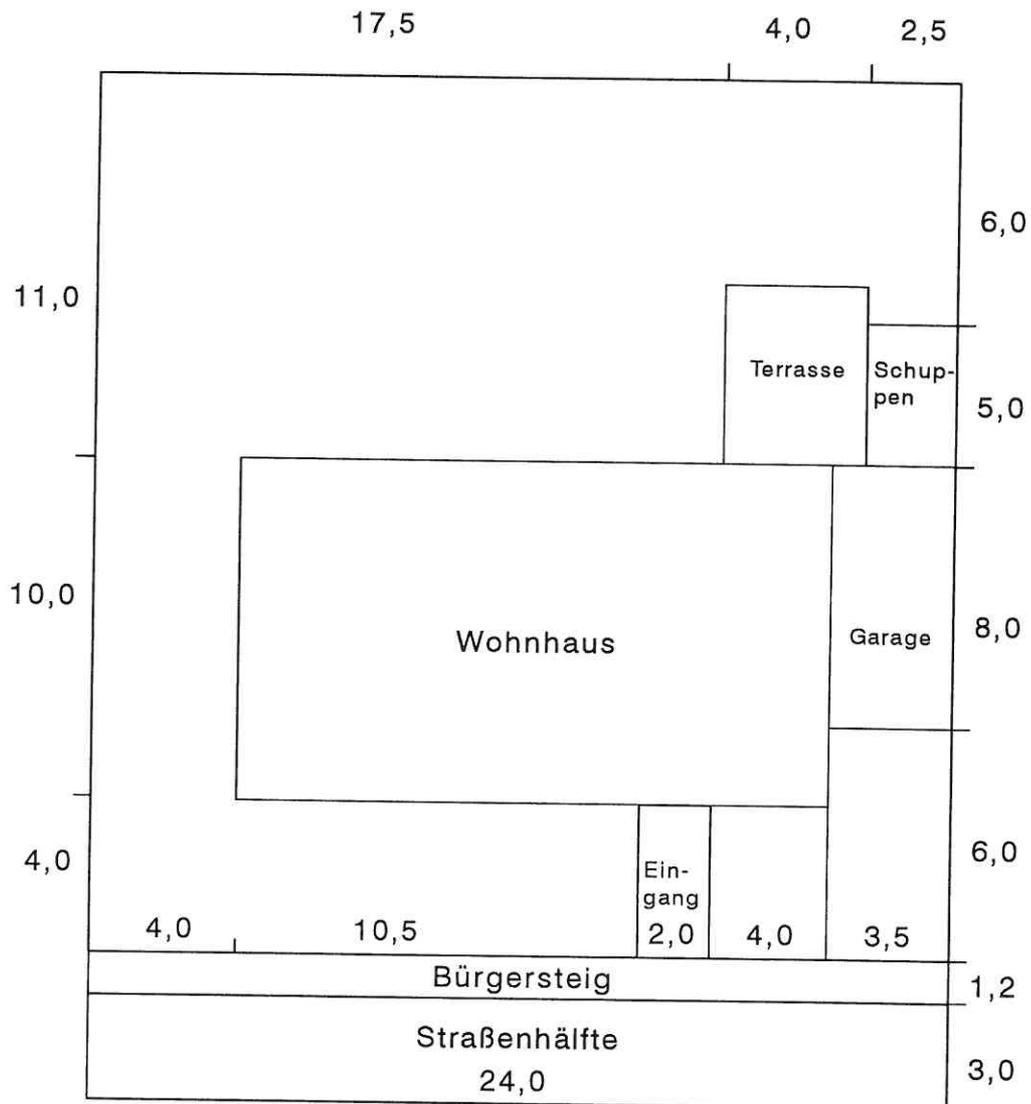


Abb. 4.1: Grundriß eines Wohnhauses. Freistehendes Einfamilienhaus mit Garage auf einem normalen Grundstück.

Wohnhaus	16,5	x	10,0	=	165,0 m ²
Garage und Zufahrt	3,5	x	14,0	=	49,0 m ²
Eingang	2,0	x	4,0	=	8,0 m ²
Terrasse	4,0	x	5,0	=	20,0 m ²
Schuppen	2,5	x	4,0	=	10,0 m ²
Bürgersteig und Straße	4,2	x	24,0	=	100,8 m ²
					352,8 m ²
			von 700 m ²	=	50,3%

Darüber hinaus gibt VDI 3787 keinen Hinweis auf den für Prozentangaben beim Versiegelungs- bzw. Begrünungsgrad unbedingt erforderlichen Flächenbezug. Lediglich bei der Definition innerstädtischer Grünflächen wird von einer Mindestgröße von 1 ha gesprochen, um diese überhaupt als eigenständiges Klimatop ausweisen zu können. Auch gibt es keine Hinweise, wie Baumbestand und Fassadenbegrünung in Stadtklimatopen zu bewerten sind. Stellenweise werden versiegelte Flächen durch Baumbestände überwiegend abgedeckt. Hierzu ist aber anzumerken, daß auch in der wissenschaftlichen Fachliteratur konkrete Hinweise auf die Klimawirksamkeit durchaus spärlich sind.

4.2 Klimatope in der Klimafunktionskarte für die Stadt Neuss

Diese in Kapitel 4.1 aufgeführten und weitere, im einzelnen nicht näher erläuterten Bedenken geben dazu Anlaß, die durch die VDI 3787 vorgegebenen Strukturmerkmalsdefinitionen weiter zu fassen und die tatsächliche Klimawirksamkeit, also die Auswirkungen der eingangs genannten Faktoren auf das Mikroklima, in stärkerem Maße zur Ausgliederung der Klimatope heranzuziehen. Als Grundlage dazu dienen z.T. die Thermalaufnahmen (mit all den bekannten Einschränkungen), stärker aber die stationären Klimamessungen an ausgesuchten Standorten und die in großer Zahl zu verschiedenen Jahreszeiten und bei unterschiedlichen Wetterlagen durchgeführten Meßfahrten (vgl. Kap. 3 und Kap. 1 im Anhang).

Dabei hat sich gezeigt, daß z.B. der Grad der (nächtlichen) Überwärmung nicht nur vom Versiegelungsgrad, wie er sich, projiziert auf die Grundfläche, im Thermalbild abzeichnet, sondern auch die gesamte Fassadenfläche der Gebäude in der für das thermische Wohlbefinden des Menschen entscheidenden Höhe von 1,5 bis 2 m über Grund auswirkt. Ein Gebäude von 150 m² Grundfläche pro ha hat danach bei zweigeschossiger Bauweise fast dieselbe thermische Wirkung wie zwei solcher Gebäude in eingeschossiger Bauweise auf demselben Areal (d.h. bei gleichem relativem Versiegelungsgrad).

Neben dem Versiegelungsgrad kommt der Belüftung bioklimatisch eine ganz entscheidende Bedeutung zu. Unter diesem Aspekt sind Areale mit locker angeordneten Hochhäusern bei gleichem relativem Versiegelungsgrad positiver zu beurteilen als dichtstehende Flachbauten, da jedes Haus ein Luftströmungshindernis darstellt. Verringerter Luftaustausch führt nicht nur zu höheren Temperaturen, sondern auch zur Anreicherung der Luft mit Wasserdampf (und

Schadstoffen). Erhöhung des Wasserdampfes aber steigert die thermische Belastung (vgl. KIESE 1995).

Schließlich muß die bioklimatische Wirkung von Straßen- und Parkbäumen berücksichtigt werden. Der positive Effekt liegt einerseits in der Abschattung der darunter- bzw. dahinterliegenden Straßen- bzw. Fassadenflächen, was deren Überwärmung und Wärmespeicherwirkung verringert, also der nächtlichen Überwärmung gegensteuert, andererseits in der Schaffung von beschatteten und daher tagsüber thermisch weniger belasteten Aufenthaltsräumen für die Passanten (JENDRITZKY 1991). Allerdings stellen Bäume Luftströmungshindernisse dar, sie beeinträchtigen also den vertikalen und horizontalen Luftaustausch und tragen aktiv zur Erhöhung der Luftfeuchte bei, mit allen negativen Folgen (s.o.).

Diese einführenden Bedenken haben dazu geführt, für die Stadt Neuss die im nachfolgenden aufgelisteten Klimatope auszuweisen. Dabei stellt die Reihenfolge der Klimatoptypen des bebauten Stadtareals eine bioklimatische Rangfolge dar. Der Typ 1 („Gartenstadtklima“) ist bioklimatisch am höchsten, der Typ 6 („Cityklima“) am bedenklichsten zu bewerten. Ähnlich wie dieser ist der Typ 7 („Klima der Gewerbe- und Industriegebiete“) einzuordnen. Darüber hinaus sind 4 weitere Klimatoptypen ausgewiesen, bei denen der Versiegelungsgrad von keiner bzw. untergeordneter Bedeutung ist.

Als die Mindestgröße für ein Klimatop wurde in der Regel ein Areal von ca. 1 ha mit einer kleinsten Kantenlänge von etwa 50 m angesetzt, da sich auf kleineren Flächen kein eigenständiges Mikroklima ausbildet. Thermalaufnahmen liefern in diesem Fall keine relevanten Informationen. Eine Ausnahme von dieser Regel stellen lediglich, wegen der besonderen Wirkung von Bäumen, Gehölzstreifen dar. Daher wurden Flächen bereits als Waldklimatope ausgewiesen, wenn sie über die Dimension einer zwei- oder dreireihigen Allee hinausgehen.

Straßen, auch Autobahnen, wurden nicht als eigener Klimatoptyp ausgewiesen. Sie werden dem Klimatoptyp zugeordnet, durch den sie verlaufen. In den Fällen, in denen sie die Grenze zwischen zwei verschiedenen Klimatopen bilden, werden sie dem mit der größten Wärmebelastung zugeordnet. Allerdings ist bei den vielspurigen (autobahnähnlichen) Straßen durch eine Raster-signatur die Immissionsbelastung angedeutet, die von ihnen ausgeht.

Im einzelnen sind folgende Klimatotypen ausgewiesen, deren charakteristische Strukturmerkmale und spezifischen Klimaeigenschaften im Nachfolgenden kurz dargestellt werden:

1. *Gartenstadtklima:*

Locker angeordnete, in der Regel einzeln stehende 1- bis 2-geschossige (Wohn-) Gebäudekomplexe geringer Ausdehnung. Durch ihre geringe Flächenausdehnung oder die nur ein- bis zweizeilige Anordnung der Gebäude wird das Klima der angrenzenden Freiland- oder Waldflächen nur geringfügig verändert. Der Versiegelungsgrad ist unter Einrechnung der meist ans Freiland angrenzenden Gärten stets < 40%. Diese Klimatope grenzen mit mindestens 50% ihrer Umrandung an Frei- und Waldflächen. Es handelt sich dabei entweder um „Splitter-“ oder um „Stadtrand-siedlungen“.

2. *Klima lockerer Stadtbebauung I:*

Einzeln auf Grünflächen stehende vielgeschossige (≥ 4) Häuserblocks. Der relative Versiegelungsgrad beträgt 40-60%, der absolute liegt oft unter 40%. Solche Areale können sich am Rand oder auch innerhalb größerer Siedlungskomplexe befinden. In allen Fällen grenzt mehr als 50% ihrer Umrandung an bebaute Strukturen. Daher und wegen der massigen (wärmespeichernden) Bausubstanz ist die Überwärmung hier etwas höher als beim Gartenstadtklima. Bei freistehenden kleineren Arealen dieses Typs zeigt das Mikroklima allerdings starke Ähnlichkeit mit dem der Gartenstadtklimatope. Ausschlaggebend für die Unterschiede ist im wesentlichen die Gestaltung der unversiegelten Arealanteile.

3. *Klima lockerer Stadtbebauung II:*

Dieser Klimatotyp entspricht der Strukturmerkmalsbeschreibung für das „Stadtrandklimatop“ nach DIN 3787: Mehrzeilige, durch Querstraßen vernetzte Siedlungsbereiche, in denen die Häuserzeilen gegenüber Einzelhausbereichen überwiegen. Die Bauweise ist 1- bis 3-geschossig, d.h. es fehlen die für den Typ 2 charakteristischen vielgeschossigen Häuserblocks. Der Versiegelungsgrad beträgt etwa 40 - 60%. Aber auch in ausgedehnten Strukturen, die von der Bauweise eher dem „Gartenstadttyp“ entsprechen oder die an stärker versiegelte Areale angrenzen, bildet sich das für den Typ 3 durch stärkere Überwärmung und geringere Durchlüftung geprägte Klima aus, was die Zuordnung auch solcher Strukturen zum Typ 3 rechtfertigt. Diese Klimatope sind häufig aber keinesfalls immer am Rand größerer Siedlungskomplexe anzutreffen.

4. *Klima verdichteter Stadtrandbebauung I:*

5. *Klima verdichteter Stadtrandbebauung II:*

Diese Klimatope sind durch die thermische Wirkung des zunehmenden Versiegelungsgrades (60 - 80%) und durch geschlossene Straßenrand- bzw. Blockrandbebauung geprägt. Die Unterteilung in 2 Typen trägt den Tatsachen Rechnung, daß erstens schon allein durch den wachsenden Abstand vom Freiland der Überwärmungseffekt gesteigert wird und zweitens ein gleichgerichteter Effekt durch die zur City hin zunehmende Geschoßflächenzahl (und somit zunehmende Masse wärmespeichernder Oberflächen) erzielt wird. Beim Klimatop 5 ist dadurch auch die Belüftung bei Schwachwindlagen gegenüber der im Typ 4 spürbar eingeschränkt.

6. *Cityklima*

Vor allem die Lage inmitten thermisch träge reagierender Areale, zu denen außer den Siedlungsflächen (Klimatope Nr. 2 bis 5) vor allem die Gewerbe- und Industriegebiete zählen, ebenso aber die Wasserflächen der Hafenbecken, die nachts die wärmsten Oberflächen des gesamten Stadtgebietes darstellen, bewirkt, daß es in manchen Wohn- und Geschäftsarealen im Zentrum des Stadtgebietes zu einer noch stärkeren Überwärmung kommt als in den Gebieten, die dem Klimatop Nr. 5 zugerechnet worden sind. Einen gewissen, wenn auch nicht entscheidenden Anteil daran mag der hier feststellbare noch geringfügig gesteigerte Versiegelungsgrad haben, der durchweg um oder leicht über 80% beträgt.

7. *Klima der Industrie- und Gewerbegebiete:*

Die so ausgewiesenen Areale erweisen sich nicht nur durch die im Thermalbild dargestellten Oberflächentemperaturen, sondern auch in der bioklimatisch relevanten Meßhöhe (1,5 - 2m über Grund) als die sowohl nachts als auch tagsüber wärmsten Gebiete der gesamten Stadt. Sie sind gekennzeichnet durch z.T. hohe, immer aber großvolumige Gebäudekomplexe. Die zwischengeschalteten unbebauten Areale sind in der Regel großflächig versiegelt und erscheinen nur durch klimaunwirksame Grünelemente optische etwas aufgelockert. Dort, wo diese Klimatope an Freilandklimatope angrenzen, bildet sich am Rand ein großer Überwärmungsgradient aus, der sich je nach vorherrschender Windrichtung unterschiedlich weit feststellen läßt. Andererseits wirkt sich der von diesem Klimatoptyp ausgehende Überwärmungseffekt auch negativ auf angrenzende Siedlungsareale aus. Eine Unterteilung in Industrie- und Gewerbegebietsklimatope wurde nicht vorgenommen, da keine signifikanten Unterschiede im Mikroklima feststellbar

sind. Solche sind eher durch die spezifische Lage, Größe und Baukörperstrukturen in den einzelnen Klimatopen dieses Typs als durch die Nutzungsart bedingt.

8. *Klima des Freilandes und*

9. *Klima innerstädtischer Grünflächen*

In den beiden Klimatotypen tritt der Einfluß der versiegelten Flächen zurück. Deren Einfluß ist (insbesondere in den Freilandklimatopen) in horizontaler und vertikaler Richtung eng begrenzt und inselartig in das von den unbebauten Flächen dominierte Mikroklima unvernetzt eingebettet. Nachts kommt es im Freiland zu kräftiger Abkühlung. Unterschiede sind dabei auf die jeweilige agrarwirtschaftliche Nutzung, die der individuell geregelten Fruchtfolge unterliegt, zurückzuführen. Die Freilandklimatope ziehen sich stellenweise ohne eindeutige Abgrenzung band- und buchtenartig in die besiedelten Bereiche hinein und erreichen dort eine mikroklimatische Ausprägung, wie sie für die innerstädtischen Grünflächen charakteristisch sind, d.h. nachts verringerter Abkühlungsgrad und tagsüber verringerte Windgeschwindigkeit. Diese Merkmale sind weniger auf den gegenüber den Freilandflächen bisweilen etwas höheren Versiegelungsgrad (wie in VDI 3787 definiert), als vielmehr auf den von den umliegenden stärker versiegelten und daher überwärmten Arealen ausgehenden Einfluß zurückzuführen. Die Grenzen zwischen den Klimatotypen 8 und 9 wurde in diesen Fällen dort gezogen, wo die Umrahmung der Freilandbuchten durch Klimatope des Typs 1 - 7 (Gartenstadt bis Industrie- und Gewerbegebiete) mehr als 2/3 bzw. die Verbindung zum Freiland weniger als 1/3 ihres gesamten Randes ausmacht.

10. *Waldklima*

Grundlage für die Ausweisung dieses Klimatops ist die Waldkarte der Stadt Neuss. Darin sind durchaus Flächen < 1ha erfaßt oder aber bandförmige Baumbestände von geringer Breite. Als Mindestbreite für die Ausweisung von Waldklimatopen wurde daher eine Baumreihe größerer Länge angesetzt, die einschließlich des beiderseits überragenden Kronendachs einen beschatteten bzw. abgeschirmten Streifen von mindestens 50m Breite erzeugt. Schmalere Baumstreifen werden als Allee betrachtet und nicht als eigenes Klimatop ausgewiesen. Darüber hinaus wurden aber auch Sonderflächen wie Friedhöfe und Kleingartenanlagen als Waldklimatope gekennzeichnet, soweit der vorhandene Baumbestand mit seinen Kronen die Fläche überwiegend bedeckt, was zu einem waldähnlichen Mikroklima führt.

Insgesamt ist zu diesem Klimatotyp zu bemerken, daß je nach Baumartenzusammensetzung, Bestandsalter und -aufbau sowie Arealgröße und -kontur eine starke Klimadifferenzierung auftritt, die im Detail nur nach spezifischen Untersuchungen dargestellt werden kann. Der spezifische Charakter des Waldklimas ist durch die Wirkung des Kronenraumes bedingt, der den bodennahen Luftraum vom Strahlungs- wie dem Luftmassenaustausch mit der Atmosphäre darüber weitgehend abschließt. Die Tagesamplitude der Temperatur wird dadurch gedämpft und der Wasserdampfgehalt auf hohem Niveau stabilisiert. Das allgemeine Temperaturniveau wird in starkem Maße dem nachts in den umgebenden Arealen herrschenden angepaßt. Dieser Anpassungseffekt ist um so stärker, je kleiner die Waldareale sind. Kleine und kleinste Waldparzellen stellen aber in Neuss die Regel dar.

11. *Flächen mit Gewässer- bzw. Seenklima*

Hierunter fallen der Rhein, alle Hafenbecken sowie die (Kies-) Teiche, soweit ihre Fläche größer als etwa 1ha ist. Andere Wasserläufe, Altarme und Teiche einschließlich der Böschungsbereiche wurden dem Klimatop, in dem sie gelegen sind, zugeordnet. Soweit sie im Grenzbereich zweier verschiedener Klimatope liegen, werden sie dem mit dem höheren Stadtklimaeinfluß zugerechnet. Diese Zuordnung ergibt sich aus dem thermischen Verhalten, wie es sich in besonderer Weise nachts im Thermalbild abzeichnet, wo die Wasserflächen als die wärmsten Oberflächen des gesamten Stadtbildes erscheinen. Mittags jedoch sind die Wasserflächen mit Abstand die kältesten Klimatope. Wie Untersuchungen an anderen Orten gezeigt haben (vgl. KIESE et. al. 1992, KELKER 1992) führt das im Zusammenhang mit den über Wasserflächen minimalen Rauigkeitsverhältnissen (gleichbedeutend mit optimalem Luftaustausch) zu niedrigerem Wasserdampfgehalt der Luft in der oberflächennahen Luftschicht. Die relativ bedingte Luftverfrachtung von den Wasserflächen in hochversiegelte Areale bedeutet daher zu dieser Tageszeit grundsätzlich einen bioklimatischen Vorteil. Allerdings haben die Messungen gezeigt, daß gerade diese Windrichtungen, die den Wohnarealen von Neuss derartige bioklimatische Entlastung brächten, deutlich unterrepräsentiert sind (vgl. Kap. 3.3).

Die VDI 3787 Richtlinie schreibt für die Klimafunktionskarten außerdem die Ausweisung von Kaltluftentstehungsgebieten vor. Darauf konnte im vorliegenden Fall verzichtet werden, weil alle Freiflächen in etwa gleicher Weise an der Kaltluftentstehung beteiligt sind. Unterschiede sind nicht reliefbedingt, sondern sie sind auf die jeweilige Landnutzung und das phänologische Entwicklungsstadium zurückzuführen. Da mit Ausnahme der innerstädtischen Grünflächen im Stadtgebiet kaum Dauergrünlandflächen vorhanden sind, die ackerbauliche Nutzung der Freilandflächen der individuell geregelten Fruchtfolge und die phänologische Entwicklung der Jahreszeit und dem Witterungsverlauf unterliegt, erübrigt sich eine besondere Ausweisung.

Im Stadtgebiet von Neuss wurden außerdem keine relief- oder thermisch induzierten topoklimatischen Advektionsbewegungen ausgemacht. Die äußerst seltenen Fälle von flurwindähnlichen Ansätzen (<2%) sind für Neuss nicht planungsrelevant (vgl. Kap. 3.3.1). Daher gibt es auch keine Kaltluftsammlgebiete bzw. Kaltluftseen im eigentlichen Sinne des Wortes. Auf allen begrüntten Flächen bildet sich je nach Bestandsart ein mehr oder weniger mächtiges Kaltluftpolster, das durch den vorherrschenden Wind ggf. verdriftet wird. Das aber sind definitionsgemäß keine Kaltluftflüsse, und wo kein Kaltluftfluß auftaucht, erledigt sich die Frage nach den Hindernissen solcher Flüsse.

Den durch Winddrift bevorzugten Transportbahnen (= Belüftungskorridoren) wird allerdings bei den Planungshinweisen große Bedeutung zuerkannt und in der entsprechenden Karte breiter Raum geschenkt.

Einen besonderen Komplex stellt in diesem Zusammenhang die Müllhalde im SW des Stadtgebietes dar. Zur Zeit erfolgt bereits in einigen Bereichen die großflächige Abdeckung des Deponieberges mit Erdreich mit dem Ziel allmählicher Begrünung. Es ist davon auszugehen, daß nach erfolgreicher Begrünungsmaßnahme dieses Areal nachts stärker abkühlt und es dann in geringem Umfang zu räumlich begrenzten Kaltluftabfluß von den Haldenhängen kommen kann. Das wäre wegen der Lage der Deponie im Hauptbelüftungsektor der Stadt ein positiv zu bewertender Effekt.

Im derzeitigen Zustand ist die Müllhalde aus klimatischer Sicht negativ zu beurteilen. Die noch nicht begrüntten aber dennoch bereits verdichteten Bereiche reagieren thermisch träge und führen zu einer verringerten nächtlichen Abkühlung. Bei einer nicht vollständigen Abdeckung kommt es zudem zu Geruchsbelästigungen im Lee der Halde. Hier liegt insbesondere bei den nachgewiesenen häufigen SW bis W-Winden die Innenstadt von Neuss.

5 Die Planungshinweiskarte

Neben der synthetischen Klimafunktionskarte (vgl. Kap. 4) nimmt die entwickelte Planungshinweiskarte innerhalb der Klimauntersuchung für die Stadt Neuss einen zentralen Bereich ein, da sie aufbauend auf dieser die Ziele für die Stadtplanung aus klimatologischer Sicht für die nächsten Jahre definiert.

Die Darstellung des stadtklimatischen Zielsystems in der Planungshinweiskarte verfolgt die Absicht, in der Innenstadt von Neuss ein „ideales Stadtklima“ zu erhalten bzw. zu schaffen. Nach der Definition des Fachausschusses BIOMET der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft ist dies „...ein räumlich und zeitlich variabler Zustand der Atmosphäre in urbanen Bereichen, bei dem sich möglichst keine anthropogen erzeugten Schadstoffe in der Luft befinden und den Bewohnern in Gegendnähe (charakteristische Länge 150m) eine möglichst große Vielfalt an Atmosphärenzuständen (Vielfalt der urbanen Mikroklimata) unter Vermeidung von Extremen geboten wird.“ (aus: Mitt.Dt.Met.Ges.e.V. 3/89 S. 51-53). Selbst unter Fachleuten besteht dabei aber keinesfalls ein Konsens darüber, welche von der Stadt ausgelösten Klimamodifikationen positiv oder negativ zu bewerten sind.

Die Definition enthält aber gleichwohl praktische Ansätze. Da Großteile der Klimamodifikationen in bebauten Stadtstrukturen nicht zu vermeiden sondern bestenfalls zu dämpfen sind, erhalten kurzfristig und zu Fuß erreichbare Klimaausgleichsräume ein besonderes Gewicht. Als solche Ausgleichsräume sind in erster Linie die innerstädtischen Grünflächen, aber auch Freiflächen in unmittelbarem Kontakt zum Siedlungsrand anzusehen. Sie gewährleisten die Klimavielfalt in der Stadt und erfüllen die Funktion einer „Klimaoase“. Ihr klimaökologischer Wert ist um so höher anzusetzen, je näher sie zum Zentrum liegen.

Übertragen auf die Stadt Neuss ergeben sich für die Lage der Stadt und die Siedlungsstruktur (vgl. Kap 2) im wesentlichen zwei Ansätze. Zum einen ist dies die Bewertung und Sicherung der innerstädtischen Grünflächen bzw. der Freiflächen zur Vermeidung thermisch-hygrischer Belastungssituationen. Gleichzeitig wird die Klimavielfalt erhalten und gesichert. Zum anderen muß die Versorgung der Innenstadtbereiche mit Frisch- und Kaltluft durch eine optimierte Belüftung gewährleistet werden.

Um diese Grundgedanken zu verifizieren wurde eigens für die Stadt Neuss ein Bewertungssystem für die innerstädtischen Grünflächen und die Freiflächen

konzipiert. Für die sich hieraus ergebenden Bewertungskategorien werden Planungshinweise aus klimatologischer Sicht, Optimierungsvorschläge, Schutz- und ggf. Ausgleichsmaßnahmen diskutiert. Gleichzeitig wurden aber auch Störbereiche ausgewiesen oder Flächen von klimatisch hohem Wert z.B. durch die Empfehlung der Festlegung von Bebauungsgrenzen gesichert.

Ergänzt wird diese flächenhafte Bewertung durch Belüftungskorridore. Diese beschränken sich auf wesentliche Bereiche und verleihen diesen einen entsprechend höheren Schutzstatus. Die Entwicklung der Planungshinweiskarte und somit des stadtklimatischen Zielsystems wird anschließend erläutert.

Grundlage der Karte in bezug auf die Abgrenzungskriterien und Definitionen ist die Entwurfsfassung der VDI-Richtlinie 3787 Blatt 1.

5.1 Bewertung der Grünflächen

5.1.1 Bewertungsgrundlagen

Freiflächen, d.h. unversiegelte Flächen haben aus stadtklimatologischer Sicht vor allem zwei Aufgaben zu erfüllen:

Sie haben

1. Infolge ihres raschen abendlichen Abkühlungsvermögens der Überwärmung versiegelter Areale gegenzusteuern, d.h. die flächenhafte Ausbreitung überwärmter Areale zu unterbrechen und so den zum Zentrum solcher Areale hin ansteigenden Überwärmungsgrad zu dämpfen. Nach Angaben von OKE (1987) erfolgt (abstrahiert für idealisierte, etwa konzentrisch aufgebaute Städte) im Übergangsbereich vom Freiland zum versiegelten Stadtgebiet ein Temperatursprung von 4 K (auf 1 km Distanz). Innerhalb dieses „Wärmekliffs“ nimmt die Temperatur nur noch um 1 K pro km bis zum Wärmezentrum hin zu. Dieser Effekt, d.h. Übertemperaturen gegenüber dem Freiland von $> 4 \text{ K}$, tritt dann ein, wenn der Durchmesser versiegelter Areale (Siedlungs-, Industrie- und Gewerbegebiete) größer als 1 km ist. Die Auflockerung des inneren Stadtgebietes durch (innerstädtische) Grünflächen kann diesen Gradienten dämpfen, die Zerlappung des Randes der Siedlungsgebiete durch (randlich eindringende) Grünflächen den Temperatursprung am „Wärmekliff“ reduzieren und die bandartige Anordnung von Grünflächen als Abstandsflächen zwischen zwei versiegelten Gebieten das Zusammenwachsen kleiner versiegelter Areale zu größeren Komplexen verhindern. In Abbildung 5.1 sind diese Effekte modellhaft skizziert.

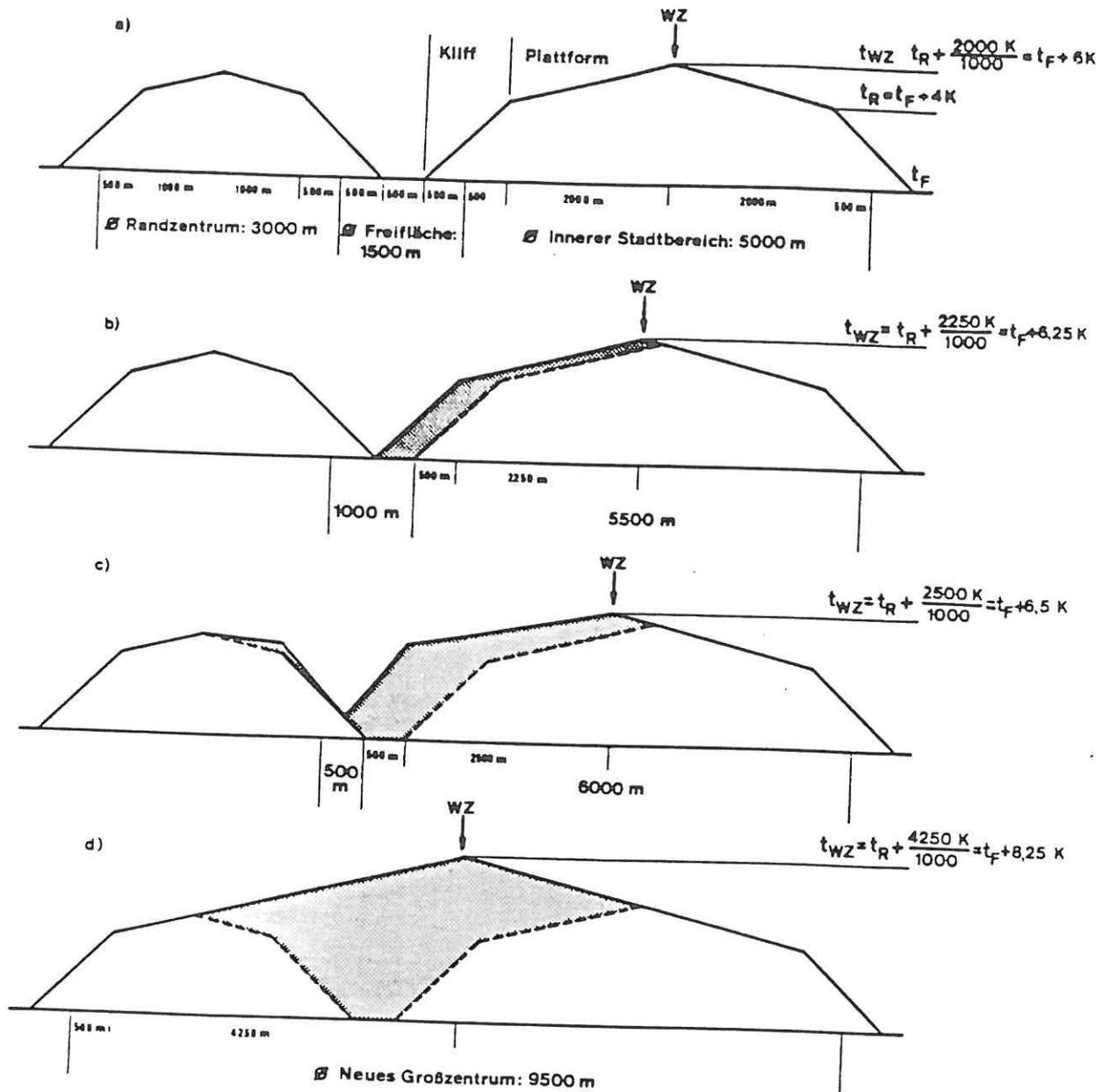


Abb. 5.1: Modellskizze

Nach OKE (1987) ist die Temperatur am Rand der sog. „Plattform“ ($=t_R$) um etwa 4 K Höher, als im Freiland ($=t_F$). Auf der Plattform herrscht ein zum Wärmzentrum (WZ) gerichteter Temperaturgradient von 1K/1000m. Im Bereich des Wärmekliffs, dem Übergangsbereich vom Freiland zur geschlossenen Bebauung, ist der Temperaturgradient viermal so hoch (4K/1000m). Dabei wird davon ausgegangen, daß sich dieser Bereich steilen Temperaturanstiegs zu gleichen Teilen auf das Freiland und den Siedlungsrand erstreckt und daß der Temperaturanstieg linear ist.

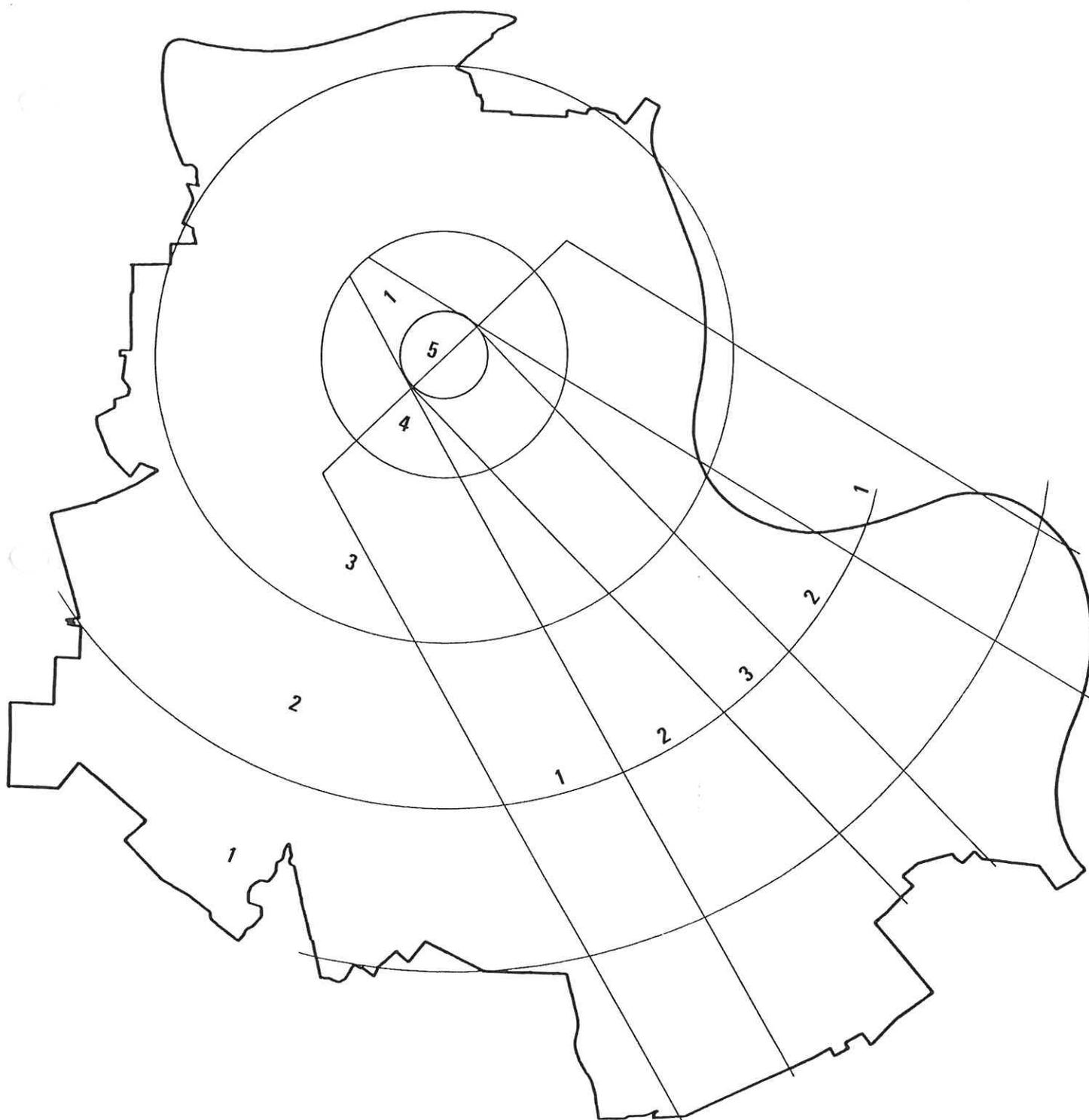
2. Die aus dem Freiland in die Stadt transportierten Luftmassen verlieren beim Überströmen versiegelter Flächen rasch ihren Kaltluftcharakter. Außerdem nehmen sie ggf. emittierte Luftschadstoffe auf und verlieren ihre Frischluftqualität. Diese Kühlwirkung der einströmenden Luft in den Siedlungsrandbereichen ist die Ursache für die Ausbildung des o.g. Wärmekliffs. Schon nach 500 m ist nach der Modellvorstellung von OKE bereits das größte Kühlpotential bodennah einströmender Kaltluft erschöpft und nach 1000 m völlig aufgebraucht. Die dahinterliegenden Siedlungsbereiche können von diesen Luftströmen nicht mehr profitieren. Umgekehrt bewahrt die einströmende Kaltluft ihr Kühlpotential, so lange sie über kalten, das sind begrünte Oberflächen, streichen kann. Der beste Schutz, einer weiteren Überwärmung vorzubeugen, liegt daher in der Erhaltung von vegetations-, möglichst rasenbestandenen, Belüftungskorridoren, soweit solche in den bevorzugten, auf das Verdichtungszentrum orientierten, Windrichtungssektoren vorhanden sind.

5.1.2 Grundbewertung der Freiflächen

Diesen Grundüberlegungen und den in Neuss festgestellten charakteristischen windklimatologischen Gegebenheiten (vgl. Kap. 3.3) wird durch folgendes Bewertungsschema Rechnung getragen (s. Karte 5.1):

1. Einteilung des Stadtgebietes in 6 Zonen, die in Form konzentrischer Kreise mit dem Hamtorplatz als Mittelpunkt. Der Durchmesser des inneren Kreises beträgt ca. 1 km, der des zweiten Kreises das Dreifache davon. Das restliche Stadtgebiet ist in weitere 4 gleichbreite kreisförmige Ringe aufgeteilt. Diese Kreiszonen werden von innen nach außen mit 5 bis 0 Punkten gewichtet. Alle Freiflächen des Stadtgebietes (Freiflächen, innerstädtische Grünflächen und Waldklimatope) erhalten dadurch, abgestuft nach ihrer Entfernung vom Siedlungszentrum, eine Grundbewertung. Dieser Bewertung liegt die Überlegung zu Grunde, daß ihr bioklimatischer Wert um so höher ist, je dichter sie am Wärmezentrum liegen. In Neuss deckt sich dieses Zentrum wegen des großen hochverdichteten Areals von Industrie- und Gewerbegebieten einschließlich der nachts besonders warmen Wasserflächen des Hafengebietes zwar nicht mit dem hier zugrunde gelegten höchstbewertetem Zonenkreis.

Karte 5.1: Gewichtungsprinzip der Abstandszonen und der Belüftungsbänder (hier beispielhaft für den SE-Sektor) für das Stadtgebiet von Neuss. Weitere Erläuterungen sind dem Text zu entnehmen.



Diese Abweichung erscheint aber zwingend geboten, da ja die Wohnbevölkerung und nicht die nachts zu Zeitpunkt der maximalen Überwärmung menschenleeren Industrie- und Gewerbegebiete bioklimatisch profitieren sollen.

2. Wie im Kap. 3.3 ausgeführt wurde, überstreicht der Wind das Stadtgebiet von Neuss bevorzugt in zwei Richtungen. Bezogen auf eine zwölfstrahlige Windrose mit 30°-Sektoren und unter Einschluß von $\pm 15^\circ$ Abweichung entsprechend der mittleren Richtungsböigkeit um die SE- sowie die WSW-Richtung. Erstere erreicht ihr Maximum etwa zwischen 8 und 9 Uhr morgens, die andere am Nachmittag. Zusammen werden diese beiden 60°-Sektoren während des Beobachtungszeitraumes in mehr als 65% aller Fälle eingenommen, d.h. auf 1/3 der Windrose entfallen 2/3 aller Stunden des Jahres.

Diese Tatsache wird als Anlaß dafür genommen, Freiflächen, die auf der Luvseite des Wohnsiedlungszentrums in diesen Sektoren liegen, zusätzliche Bewertungspunkte zuzuordnen. Dabei werden den direkt auf die innere Kreiszone orientierten Bahnen in ganzer Breite 3, den jeweils 15° abweichenden Sektoren 2 Punkte und den randlich anschließenden etwa 1,5 km breiten Bahnen noch jeweils 1 Punkt zuerkannt. Wie die im Lee des Wohnsiedlungszentrums gelegenen Flächen bewertet werden, ist ebenfalls der Karte 5.1 zu entnehmen. Als Zwischenergebnis ergibt sich für die einzelnen geometrischen, sich gegenseitig zum Siedlungszentrum zunehmend verschneidenden Flächen die in Karte 5.2 eingetragenen Bewertungspunktemuster. Daraus wird folgende Gesamtbewertung abgeleitet:

Kategorie	Punktzahl	Bewertung der Freiflächen
5	10 - 11	Eine Umnutzung der Flächen ist nicht möglich, da der klimaökologische Wert der Fläche durch keine Ausgleichsmaßnahme zu ersetzen ist.
4	8 - 9	Eine Nutzungsänderung dieser Flächen bedeutet auf jeden Fall einen schwerwiegenden Eingriff. Prinzipiell ist von einer weiteren Versiegelung abzusehen. Sollten andere städtebauliche Belange den klimatischen entgegenstehen und eine Versiegelung von Freiland durch einzelne Objekte erfordern, ist diese unter allen Umständen in möglichst engen Grenzen zu halten. Um die Beeinträchtigung zu minimieren bedarf es einer Einzelfallprüfung und -begutachtung. Denkbar sind z.B. Modellrechnungen zur Strömungsoptimierung. Der klimaökologische Wert der Flächen, denen auch die ausgewiesenen Belüftungskorridore zugerechnet werden, ist sehr hoch anzusetzen und nur durch wohlüberlegte und umfangreiche Maßnahmen auszugleichen. Beispiele hierfür sind:

4	Fortsetzung 8 - 9	Entsiegelungsmaßnahmen, Festschreibung der Freilandnutzung (Grünland statt Ackerbau), Optimierung von Straßenbegleitgrün, evtl. Fassaden- und Dachbegrünung o.ä.
3	6 - 7	Eine geplante Umnutzung ist bedingt möglich. Der klimaökologische Wert der Fläche ist durch wohlüberlegte Maßnahmen auszugleichen. Einzelbauten können in diesem Bereich durchaus genehmigt werden, die Versiegelung sollte aber in Grenzen gehalten werden. Von einer flächenhaften Versiegelung durch die Anlage von Siedlungen ist abzusehen. Vorhandene Siedlungskerne sollten nicht zusammenwachsen, neu angelegte Flächen (z.B. Parkplätze) sind soweit möglich nicht zu versiegeln. Ein entsprechender Ausgleich kann z.B. durch die Festschreibung der Freilandnutzung (Grünland statt Ackerland) geschaffen werden. Generell wird die Prüfung des Einzelfalls empfohlen, da effektive Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen besser individuell als pauschal festzulegen sind.
2	4 - 5	Eine Nutzungsänderung ist möglich. Der klimaökologische Wert der Fläche ist durch Ausgleichsmaßnahmen zu ersetzen. Dies ist von Fall zu Fall zu prüfen, zu begutachten und individuell festzulegen. In diesem Bereich ist auch die Anlage neuer Siedlungskerne denkbar. Aus klimatischer Sicht sollte bei der flächenhaften Anlage neuer Siedlungsbereiche darauf geachtet werden, daß diese einen Durchmesser von 1 km nicht überschreiten. Desweiteren sollte zwischen den Siedlungen ein Mindestabstand von 500m vorhanden sein. Der Bildung eines neuen großen Siedlungsraumes mit entsprechender Überwärmung (vgl. Abb. 5.1) wird somit vorgebeugt. Als Ausgleichsmaßnahme wird die Anlage und der Erhalt von (Dauer-) Grünland empfohlen.
1	0 - 3	Eine Umnutzung der Flächen ist möglich. Eines Ausgleichs bedarf es aus klimatologischer Sicht prinzipiell nicht. Die Prüfung des Einzelfalls wird aber dennoch empfohlen. So sollten vorhandene Forste selbstverständlich erhalten bleiben, auch wenn hier nicht immer nur klimatische Gründe herhalten sollten. Insgesamt sollte dieser Bereich zu etwa 50% unversiegelt und somit einer land- bzw. forstwirtschaftlichen Nutzung vorbehalten bleiben. Analog zur Kategorie 2 ist auch in diesem Bereich die Anlage von Siedlungsbereichen möglich, wenn die entsprechenden Größen- und Abstandsvorgaben beachtet werden. Ausgleichsmaßnahmen können z.B. in gezielter Aufforstung des insgesamt recht waldarmen Gebietes gesehen werden.

Tab. 5.1: Bewertungssystem für die Freiflächen im Gebiet der Stadt Neuss.

Innerstädtische Grünflächen werden insgesamt der Kategorie zugeordnet, der ihr überwiegendes Areal angehört.

Die Gewichtung nach dem strengen geometrischen Prinzip ergibt parzellenscharfe Abgrenzungen zwischen den einzelnen Segmenten. In der Realität stellen diese Grenzlinien aber Übergangsräume dar, denn weder die Temperatur des bodennahen Luftraumes noch der Wind mit seiner Richtungsböigkeit vollführen sprunghafte Änderungen an geometrisch ermittelten Grenzlinien. Im Einzelfall gilt es, bei der Entscheidung über Flächennutzungsänderungen (z.B. bei der Ausweisung von Wohn- oder Gewerbegebieten) dem Prinzip der hier vorgenommenen bioklimatisch begründeten Bewertung zu folgen. Dabei kann vom geometrisch ermittelten Klassifikationsraster ohne signifikante Einbußen der bioklimatischen Wirksamkeit mit einer Toleranz a abgewichen werden, die nach der Faustformel

$$a \text{ (in m)} \approx 10 * \text{Zentrumsdistanz (in km)}$$

zu ermitteln ist, solange die Abweichung nicht überwiegend zu Lasten der Freiflächenanteile geht. Bei einer Zentrumsdistanz von z.B. 5 km ergibt sich somit nach der genannten Formel eine tolerierbare Abweichung von 50 m.

5.1.3 Bebauungsgrenzen

Das im Vorangehenden erläuterte Bewertungsschema ist vor allem auf die Klimasicherung des inneren zusammenhängenden Stadtbereichs orientiert. Das erscheint gerechtfertigt, da alle anderen isoliert von Freiland umgebenden Siedlungsareale im Stadtgebiet von Neuss die kritische Arealgröße von 1 km Durchmesser kaum erreicht haben. Damit das auch in Zukunft so bleibt, sind in der Planungshinweiskarte dort Bebauungsgrenzen eingezeichnet, wo ein Zusammenwachsen mit anderen Siedlungsteilen oder das Verschmelzen mit dem inneren Stadtgebiet zu negativer Entwicklung des Stadtklimas führen würde. Um jede wechselseitige thermische Beeinflussung auszuschließen, sollten solche Abstandsflächen 1 km breit sein. Derartige Freiräume stehen generell nicht zur Verfügung. Klimawirksam sind aber bereits Abstandsflächen von mindestens 200 m Breite. Häufig ist auch diese Distanz nicht mehr gegeben. Versiegelte Areale, die in diesen durch Bebauungsgrenzen ausgewiesenen Distanzbereich hineinragen, sind als Störelemente gekennzeichnet.

5.1.4 Belüftungskorridore

Nach dem gegenwärtigen Entwicklungsstand sind im Verlauf der hochbewerteten Windrichtungsbahnen z.T. ausreichend breite Freiflächen vorhanden, die bis nahe an das innere Siedlungszentrum heranführen. Darin sind in der für eine optimale Belüftung notwendigen Breite von mehreren hundert Metern Belüftungskorridore mit eigener Signatur ausgewiesen. Wegen ihrer hervorragenden Bedeutung für das Stadtklima von Neuss sollten sie erhalten und entsprechend gestaltet werden. Analog zu ihrer Funktion ist eine starke Durchgrünung ratsam, damit den nachts advektiv transportierten Luftmassen vom Untergrund her keine Wärme zugeführt wird und diese beim Überstreichen der Bodenoberfläche weiter abkühlen können. Gleichzeitig ist die Rauigkeit der Oberflächen möglichst gering zu halten, um kein zusätzliches Strömungshindernis darzustellen. Als Optimum ist somit die Anlage von Dauergrünland in den entsprechenden Bereichen anzusehen. Die Belüftungskorridore werden bei der Bewertung der Freiflächen in die Kategorie 4 eingeordnet (vgl. Tab. 5.1).

Allerdings sind auch hier bereits Bebauungsmaßnahmen erfolgt, die diese Kategorie einengen bzw. ihren Kühlflächencharakter durch Versiegelung beeinträchtigen. Auch solche Gebiete sind als Störelemente gekennzeichnet.

5.2 Die Wärmebelastung

Als Grundlage für die 5-stufige Gewichtung dienen die Thermalaufnahmen zu den 3 Terminen Mittag, Abend, Morgen sowie die Temperaturaufnahmen bei den (nächtlichen) Meßfahrten. Dabei spielt die am Ende der Nacht feststellbare Temperaturverteilung eine nur untergeordnete Rolle, da diese ja nicht den Grund der Überwärmung, sondern vielmehr das unterschiedliche autochtone und allochtone Abkühlungsvermögen widerspiegelt. Zu dieser Tageszeit sind selbst bei langandauernden hochsommerlichen Hitzeperioden die Temperaturen auch in den Arealen mit geringster Abkühlung wenig belastend. Hier liegt die Bedeutung mehr darin, daß die Höhe der morgendlichen Minimumtemperaturen die Basis für klimatopspezifische maximal mögliche einstrahlungsabhängige Erwärmung tagsüber darstellt. In stark (etwa durch Kaltluftadvektion) abgekühlten Stadtstrukturen wird auch am Abend austauscharmer hochsommerlicher Strahlungstage eine geringere Wärmebelastung herrschen, als in nachts weniger abgekühlten Strukturen gleichen thermischen Reaktionsvermögens.

Auch die mittags aufgenommenen Temperaturen geben die bioklimatisch relevante thermische Belastung nur z.T. richtig wieder. Neben den hochversiegelten und kompakt bebauten Innenstadtbereichen und den Industrie- und Gewerbegebieten erscheinen auch manche Freilandbereiche je nach dem agrartechnischen und phänologischen Zustand durchaus deutlich überwärmt. Besonders die Oberflächentemperaturen solcher Flächen lassen keinen Unterschied zu den hochversiegelten Arealen erkennen.

Am aufschlußreichsten ist die Oberflächentemperaturverteilung zum Abendtermin. Die hohe Wärmespeicherkapazität der versiegelten Flächen und der Gebäude kommt hier voll zur Geltung. Die bioklimatische Bedeutung für die Menschen in der Stadt ist darin zu sehen, ob nach tagsüber herrschender thermischer Belastung die dringend erforderliche Regenerationsphase beizeiten einsetzt, um einen erholsamen Schlaf auch in unklimatisierten und natürlich belüfteten Räumen, wie sie in Mitteleuropa die Regel sind, zu ermöglichen oder nicht.

Die relative Gewichtung der genannten Aspekte gestaltet die Einteilung der bebauten Areale nach der bioklimatisch relevanten thermischen Belastung in 5 Kategorien, wie sie in der Planungshinweiskarte vorgenommen worden ist. Die Darstellung unterstreicht die Bedeutung der Belüftungskorridore.

6 Literatur

- BARLAG, A.B. und W. KUTTLER: The Significance of Country Breezes for Urban Planning. In: Energy and Buildings, 15-16, Nr. 3-4, S. 291-297.
- BENDER, S. u.a.: Auswertung digitaler Satelliten- und Flugzeugscannerdaten sowie Bereitstellung der Softwaresysteme BIVAS und EXIN. Münster 1992.
- BREUER, B.: Das Stadtklima von Neuss. Eine physisch-geographische Studie. Geographisches Institut Köln, Diplomarbeit, 1987.
- BUNDESFORSCHUNGSANSTALT FÜR LANDESKUNDE UND RAUMORDNUNG: Geographische Landesaufnahme 1:200.000, Naturräumliche Gliederung Deutschlands. Selbstverlag Bonn / Bad Godesberg 1959 bis 1978.
- CAPPEL, A.; KALB, M. und H. SCHMIDT: Klimatologische und statistische Grundlagen als Erläuterungen für Klimabearbeitungen. Selbstverlag des DWD. Offenbach a.M. 1983.
- DEUTSCHER WETTERDIENST (DWD): Monatlicher Witterungsbericht. Amtsblatt des Deutschen Wetterdienstes. Selbstverlag des DWD. Offenbach a.M. 1994/95.
- HESS, P. und H. BREZOWSKY: Katalog der Großwetterlagen Europas. Berichte des Deutschen Wetterdienstes Nr. 113. Offenbach 1977.
- HERBSTREIT, E.: Generalgrünplan der Stadt Neuss. Neuss 1977.
- JENDRITZKY, G.: Zur räumlichen Darstellung der thermischen Umgebungsbedingungen des Menschen in der Stadt. In: Freiburger Geographische Hefte, Nr. 32, S. 1-18.
- KELKER, J.: Die Klimafunktion innerstädtischer Wasserkörper. Dargestellt am Beispiel des Aasees in Münster. Diplomarbeit am Institut für Geographie, Westfälische Wilhelms-Universität Münster 1992.
- KIESE, O.: Lokalklimagutachten Wendersplatz (B-Plan 219/1). Endbericht für die Stadt Neuss, Institut für Landschaftsökologie, Münster 1995.
- KIESE, O; G. OTTO: Windanalyse der Stadt Dortmund. Endbericht für den Kommunalverband Ruhrgebiet. Institut für Geographie, Münster 1986.
- KIESE, O., VOIGT, J., KELKER, J. u. H. SCHÖPPER: Stadtklima Münster. Entwicklung und Begründung eines klimarelevanten Planungskonzeptes für das Stadtgebiet von Münster. Werkstattberichte zum Umweltschutz 1/1992, Stadt Münster (Hrsg.) 1992.

- KUTTLER, W; F. BECK und A. B. BARLAG: Lokalklimatisches Gutachten "Alexianergelände" der Stadt Neuss. Unveröffentlichtes Gutachten, Essen 1993.
- LANDESAMT FÜR DATENVERARBEITUNG UND STATISTIK NORDRHEIN-WESTFALEN: Statistisches Jahrbuch Nordrheinwestfalen 1993. Düsseldorf 1993.
- MINISTER FÜR ARBEIT, GESUNDHEIT UND SOZIALES DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN (Hrsg.): Luftreinhalteplan Rheinschiene Mitte 1982-1986. Düsseldorf 1982.
- MINISTER FÜR UMWELT, RAUMORDNUNG UND LANDWIRTSCHAFT DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN: Luftreinhalteplan Rheinschiene Mitte II, 1. Fortschreibung 1988-1992. Düsseldorf 1988.
- MINISTER FÜR UMWELT, RAUMORDNUNG UND LANDWIRTSCHAFT DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN: Klimaatlas von Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf 1989.
- MÜLLER-WESTERMEIER, G.: Klimadaten der Bundesrepublik Deutschland. Zeitraum: 1951-80. Selbstverlag des DWD. Offenbach a.M. 1990.
- OKE, T.R.: Boundary Layer Climates (2nd Ed.), London a. New York 1987.
- OTTE, U.; CARIUS, D. und M. JUNG: Untersuchungen der klimatischen Verhältnisse im Regierungsbezirk Düsseldorf als Grundlage raumspezifischer Aussagen der Regionalplanung, insbesondere für Ballungsgebiete. Essen, 1982.
- PESCHEL, G.: Zwischenbericht über die Inbetriebnahme des Klimameßnetzes für den Zeitraum von März bis Oktober 1988. Neuss 1989.
- STADT NEUSS (Hrsg.): Umweltbericht 1985/86. Neuss 1987.
- STREIT, U., u.a.: Erstellung digitaler thematischer Karten im Rahmen des Umweltentwicklungsplanes der Stadt Neuss unter Einsatz von GIS-Techniken, Abschlußdokumentation. Münster 1994.
- VDI-KOMMISSION REINHALTUNG DER LUFT: Stadtklima und Luftreinhaltung, 1988.
- VDI-RICHTLINIE 3787 (Entwurf): Umweltmeteorologie, Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen. VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft (noch nicht erschienen).

- VDI-RICHTLINIE 3787 Blatt 2 (Entwurf): Human-biometeorologische Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt und Regionalplanung. VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft (noch nicht erschienen).
- WEINTHAL, BARBARA (1988): Studien zum Stadtklima von Neuss/Rhein und Planungsvorschläge. Tübinger Geogr. Studien H. 100 S. 85-144.
- WEINTHAL BARBARA: Phänologische Untersuchungen an *Aesculus Hippocastanum* L. (Gemeine Roßkastanie) und *Aesculus Hippocastanum carnea* (Rote Roßkastanie) im Stadtgebiet von Neuss vom 15.03.1990 bis 15.05.1990. Neuss 1990.
- WETTERAMT ESSEN: Amtliches Gutachten zu den lokalklimatischen Auswirkungen der geplanten Bebauung Hammfeld II in Neuss. Essen, 1993.

Anhang

zur

Klimauntersuchung

Stadt Neuss

- Klimatologischer Teil -

1 Datenbasis

Die Erstellung eines Klimagutachtens für das Stadtgebiet von Neuss, beinhaltet die Untersuchung mikro- und mesoskaliger Klimaphänomene und erfordert eine hinreichend repräsentative und statistisch abgesicherte Datenbasis. Um diese zu gewährleisten, wurden Klimadaten von zehn Meßstationen aus den Jahren 1988-90 (vgl. PESCHEL 1989) und von vier Klimameßfahrten aus dem Jahre 1990 ausgewertet, auf ihre Plausibilität hin geprüft und interpretiert. Ergänzend zu diesen Untersuchungen und in Kenntnis der bereits vorliegenden klimaökologischen Untersuchungen (vgl. BREUER 1987, KUTTLER et.al 1993, OTTE et.al 1982, WEINTHAL 1988, 1990 und WETTERAMT ESSEN 1993) wurde ein zweites stationäres Meßnetz in Neuss errichtet. Es bestand aus insgesamt sieben Stationen, von denen sechs mit einem Windanemometer und zwei mit einem Thermohygrographen ausgestattet waren. Ergänzt wurde die kontinuierliche Registrierung durch zehn Meßfahrten, die während sommerlicher bzw. winterlicher Strahlungswetterlagen in den Jahren 1994/95 durchgeführt wurden.

Im folgenden werden zunächst die im Jahr 1994 neu errichteten Stationen beschrieben. Anschließend wird die Datenbasis der früheren Messungen (1988-90) untersucht.

1.1 Das stationäre Meßnetz 1994/95

1.1.1 Meßzeitraum

Die Messungen des stationären Meßnetzes umfaßten einen Zeitraum von sieben Monaten. Sie begannen am 14.07.1994 und endeten am 15.02.1995. Das stationäre Meßnetz wurde anschließend stillgelegt und für die noch ausstehenden und im März 1995 durchgeführten Meßfahrten kurzfristig wieder in Betrieb genommen. Die Meßperiode wurde auf ausdrücklichen Wunsch des Auftraggebers auf den genannten Zeitraum begrenzt, gewährleistet aber aller Voraussicht nach die Analyse verschiedener Wetterlagen während des Winter- und in erster Linie während des Sommerhalbjahres (s.a. Kap. 2 im Anhang). Weiterführende Fragestellungen können somit auf Basis des gesamten Datenmaterials aus den verschiedenen Untersuchungen und Untersuchungszeiträumen geklärt werden.

1.1.2 Meßinstrumentarium und Auswertung

Die stationären Messungen wurden mit Thermohygrographen und mechanischen Windschreibern (nach WOELFLE) durchgeführt. Die Thermohygrographen (THG) registrierten die Lufttemperatur und die Relative Luftfeuchte. Die Messung der Temperatur erfolgt hierbei mit einem gealterten Bimetall-Meßelement, das kreisförmig gebogen ist. Bei Temperaturschwankungen verändert das Meßelement seinen Radius. Diese Veränderung wird über ein Hebelsystem auf dem Meßstreifen aufgezeichnet. Die Messung der Relativen Luftfeuchtigkeit erfolgt mit einem Haar-Meßelement. Die Haarfasern verändern ihre Länge bei Feuchtigkeitsschwankungen. Diese Längenänderung wird ebenfalls über ein Hebelsystem mit Hilfe einer Schreibfeder aufgezeichnet. Ein integriertes Uhrwerk steuert den Vorschub der Registriertrommel und gewährleistet ein analoges und zeitabhängiges Registrieren der Parameter.

Der Meßbereich der Lufttemperatur wird für die eingesetzten Geräte mit -20 bis $+40^{\circ}\text{C}$ angegeben. Die Meßgenauigkeit liegt bei $\pm 1\%$ des Meßbereiches. Die Relative Luftfeuchte wird auf einer Skala von $0-100\%$, mit einer Meßgenauigkeit von $\pm 2\%$ erfaßt. Die Thermohygrographen des stationären Meßnetzes waren in Wetterhütten (nach THALLER) untergebracht. Diese Hütten gewährleisten einen Strahlungs- und Witterungsschutz. Zudem wird das Diebstahlrisiko durch die abschließbaren Hütten reduziert. Bei sieben Tagen Laufzeit ergibt sich für den Wechsel der Meßstreifen eine Zeittoleranz von 2 h. Geringe zeitliche Verzögerungen bei der Gerätekontrolle führen unweigerlich zu Meßausfällen und Datenverlusten. Um diese zu reduzieren, wurde das Zeitintervall des Streifenwechsels von sieben auf sechs Tage verkürzt.

Die Anemometer registrierten den Windweg und die Windrichtung. Es kamen Geräte der Firma LAMBRECHT zum Einsatz. Die Windrichtung wird mit einer Windfahne, der Windweg mit einem oberhalb der Windfahne angeordneten Schalenstern erfaßt. Beide Meßelemente sind an koaxialen, in Kugellagern laufenden Achsen befestigt. Diese bewegen zwei Schreibwalzen im Inneren des Gehäuses, die jeweils mit einer wendelförmigen Schreibrippe versehen sind. Zwei Getriebe mit entsprechenden Übersetzungen ordnen jedem Meßwert einen Punkt auf dem Registrierstreifen zu. Ein Uhrwerk zieht den Streifen aus Wachspapier unter den Walzen hindurch. Eine zeitabhängige, analoge Aufzeichnung der Parameter Windrichtung und Windweg ist gewährleistet.

Die Erfassung der Parameter Windgeschwindigkeit und Windrichtung ist lediglich durch die Anlaufwindgeschwindigkeit beschränkt. Sie liegt bei beiden Meßelementen nach den Angaben der Hersteller unter $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Die Geräte wurden, um Meßausfälle zu minimieren, alle sechs Tage kontrolliert und die Meßstreifen in einem Zeitintervall von 30 Tagen gewechselt.

Ergänzt wurde das Meßinstrumentarium der Untersuchung durch Meßgeräte, die bei den Meßfahrten zum Einsatz kamen. Neben den beschriebenen Instrumentarium wurden elektrisch ventilierte Digital-Psychrometer vom Typ Therm 2286-2 eingesetzt. Sie registrieren Trocken- und Feuchttemperaturen (Meßbereich: $-5\text{-}100^\circ\text{C}$, Genauigkeit: $<1^\circ\text{C}$) sowie die Relative Luftfeuchtigkeit (Meßbereich: $10\text{-}100\%$, Genauigkeit: $<1\%$). Während der Sondermeßaktionen wurde die Windrichtung mit Hilfe kleiner Gasballons sowie durch Rauch- und Nebelbeobachtungen erfaßt.

Die Auswertung der Meßstreifen des stationären Meßnetzes erfolgte mittels eines innerhalb der Arbeitsgruppe "Stadtklima" am Institut für Geographie in Münster entwickelten Stadtklimainformationssystems (Skis), welches auch dem AG bekannt ist und vorliegt. Die Werte der Lufttemperatur der THG-Streifen werden hierbei zu jeder vollen Stunde (0-23 Uhr) erfaßt und mit einer Genauigkeit von $\pm 0,1^\circ\text{C}$ digital abgespeichert. Der Wert der Stunde 0 entspricht hierbei dem Mittelwert des Zeitintervalls 0-1 Uhr. Die Werte der Relativen Luftfeuchtigkeit werden mit einer Genauigkeit von $\pm 1\%$ digitalisiert. Durch Kombination der gemessenen Werte können die Klimaparameter Dampfdruck und Äquivalenttemperatur auf der Grundlage folgender Formeln berechnet werden.

Dampfdruck:
$$e = rf \cdot E / 100$$

mit: e = Dampfdruck [hPa]
 rf = Relative Luftfeuchtigkeit [%]
 E = Sättigungsdampfdruck der Luft [hPa], (Formel nach MAGNUS-TETENS)

Äquivalenttemperatur:
$$t_a = t + 1,56 e$$

mit: t_a = Äquivalenttemperatur [$^\circ\text{C}$]
 t = Lufttemperatur [$^\circ\text{C}$]
 e = Dampfdruck [hPa]

Die Parameter Windweg und Windrichtung werden ebenfalls erfaßt und digital abgespeichert. Die Steigung der Linie für den Windweg pro Zeiteinheit wird programmintern in Windgeschwindigkeit pro Stunde umgerechnet. Im Vergleich zu den Auswertungen mit den gerätespezifischen Auswertelinealen wird eine

höhere Genauigkeit erreicht. Zudem wird die Zahl der individuellen Auswertefehler (Ablese-, Schreib- und Eingabefehler) minimiert. Das Programm ermöglicht des weiteren verschiedene Verknüpfungen der gemessenen und berechneten Parameter untereinander und vereinfacht die Auswertung der ansonsten immensen Datenmengen in bezug auf spezielle Fragestellungen (z.B. Extremsituationen, Temperatur- und Feuchtwindrosen, Kaltluftabflußberechnungen).

Die Auswertung der Daten ergab für die Meßelemente der eingesetzten Anemometer deutlich niedrigere Anlaufwindgeschwindigkeiten als erwartet. Stunden ohne meßbare Windgeschwindigkeit (Schalenstern dreht sich nicht), aber mit deutlicher Windrichtungsanzeige (Windfahne reagiert) wurden als Luftströmung mit einer Geschwindigkeit von $0,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ definiert. Diese Methode wurde bereits früher in der Arbeitsgruppe erfolgreich angewandt und bietet eine sinnvolle Erweiterung der Datenerfassung für Schwachwindbereiche. Gerade diesen Wetterlagen kommt in der Stadt- und Geländeklimatologie besondere Bedeutung zu.

Durch notwendige Eichungen der Meßgeräte und technische Defekte kam es im Meßzeitraum zu Datenausfällen. Für diese Zeiträume fehlen an den entsprechenden Stationen des stationären Meßnetzes die Daten der Parameter Lufttemperatur und Relative Luftfeuchtigkeit bzw. Windrichtung oder Windgeschwindigkeit. Zur Vervollständigung des Datensatzes und zur Vergleichbarkeit wurden die fehlenden Daten in einigen Fällen auf Basis der anderen Stationen und unter Benutzung statistischer Methoden berechnet und ergänzt. Selbstverständlich werden sie nicht zur Interpretation einzelner Wetterlagen herangezogen.

1.1.3 Standorte des stationären Meßnetzes

Als Basis der Klimaanalyse für das Stadtgebiet von Neuss wurde in Kenntnis der früheren Untersuchungen ein stationäres Meßnetz konzipiert. Es umfaßte insgesamt sieben Stationen. Zur Klärung der Frischluftversorgung des Stadtgebietes wurden sechs jeweils mit einem Anemometer nach Woelfle ausgestattete Stationen um das bebaute Stadtgebiet angeordnet. Zur Erfassung der erwarteten Überwärmung des Stadtzentrums gegenüber den unbebauten Freiflächen wurde eine Station im Stadtzentrum und eine weitere im stark durchgrüntem Tal der Erft errichtet und jeweils mit einem Thermohygrographen (THG) ausgestattet.

Zum besseren Verständnis der anschließenden Interpretationen werden die einzelnen Standorte des neuen Meßnetzes im folgenden kurz beschrieben (vgl. Karte 1.1).

Karte 1.1: Das stationäre Meßnetz 1994/95. Standorte der Stationen.



Stationsname: Grimlinghausen

Stationsnummer: 1

Standort: Die Station befand sich im Südosten des Stadtgebietes von Neuss, östlich der Siedlung Grimlinghausen ca. 200m vom Rheinufer entfernt an der Straße Am Röttgen.

Koordinaten: Rechts: 2653,0
Hoch: 5671,7

Höhe: 37,5m ü.NN

Meßstation: Bedingt durch die Lage der Station im Straßenraum kam es nur zu sehr geringen Horizontabschirmungen durch Häuser, Bäume etc. Beeinträchtigungen durch den Laternenpfahl sind nicht zu erwarten.

Landnutzung: In der 200 x 200 m Umgebung (4 ha) der Meßstation lag folgende Nutzung vor:

05% Versiegelung durch Häuser und Gebäude,

10% Versiegelung durch Straßen und Wege,

85% Landwirtsch. Nutzfläche, überwiegend Grünland, aber auch Kleingartenanlagen mit Gartennutzung.

Meßzeitraum: 15.07.1994 - 15.02.1995

Ausstattung: Anemometer (Meßhöhe 4,0 m ü.Grund)

Photo: Blickrichtung: SE - NW



Stationsname: Holzheim

Stationsnummer: 2

Standort: Die Station befand sich im Südwesten des Stadtgebietes von Neuss, südwestlich der Siedlung Holzheim, Am Lindenweg auf einem unbewaldeten und gegenüber der Umgebung um ca. 10-20m erhöhten Rücken.

Koordinaten: Rechts: 2645,7
Hoch: 5669,1

Höhe: 62,5 m ü.NN

Meßstation: Bedingt durch die Lage und Exposition des Standortes kommt es zu keinerlei Beeinträchtigungen für die Meßstation. Turbulenzen durch das unterhalb des Meßgerätes vorhandenen Straßenschildes können vernachlässigt werden, da die Windfahne und der Schalenstern mehr als 50 cm oberhalb montiert waren.

Landnutzung: In der 200 x 200 m Umgebung (4 ha) der Meßstation lag folgende Nutzung vor:
05% Versiegelung durch Straßen und Wege,
95% Ackerfläche mit wechselnder Nutzung.

Meßzeitraum: 15.07.1994 - 02.12.1994

Ausstattung: Anemometer (Meßhöhe 3,5m ü.Grund)

Photo: Blickrichtung: S - N



Stationsname: Morgensternsheide

Stationsnummer: 3

Standort: Die Station befand sich westlich des Stadtgebietes gegenüber der Bezirkssportanlage Konrad-Adenauer-Ring / Quaxpfad, unmittelbar an der Grenze der bebauten Siedlungsstrukturen und dem sich daran nach Westen anschließenden Freiland, an einem Standort, der bereits bei den Messungen der Jahre 1988-89 als Standort für Klimamessungen diente (damals Stadtwald Nr. 13).

Koordinaten: Rechts: 2646,5

Hoch: 5674,2

Höhe: 37,5 m ü.NN

Meßstation: Die Horizontabschirmung der Station war zu allen Seiten kleiner als 5°.

Landnutzung: In der 200 x 200 m Umgebung (4 ha) der Meßstation lag folgende Nutzung vor:

25% Versiegelung durch Straßen und Bebauung,

75% Ackerfläche mit wechselnder Nutzung, Grünland, sowie Gärten und Sportanlagen.

Meßzeitraum: 15.07.1994 - 15.02.1995

Ausstattung: Anemometer (Meßhöhe 4 m ü.Grund)

Photo: Blickrichtung: NE - SW



Stationsname: Rathaus

Stationsnummer: 4

Standort: Die Station befand sich im Stadtzentrum von Neuss, unmittelbar vor dem Rathaus auf dem Marktplatz an einem Laternenmast.

Koordinaten: Rechts: 2648,5

Hoch: 5673,9

Höhe: 38,5m ü.NN

Meßstation: Bedingt durch die Siedlungsstruktur von überwiegend 3-5 geschossiger Bebauung in der Umgebung kommt es zwangsläufig zu einer starken Horizontabschirmung der Meßstation. Sie betrug mit Ausnahme des ENE-Sektors, dem Verlauf des Marktes, allseitig mehr als 30°. In Abhängigkeit vom Sonnenstand der jeweiligen Jahreszeiten muß mit einer direkten Beschattung der Meßstation gerechnet werden.

Landnutzung: In der 200 x 200m Umgebung (4 ha) der Meßstation lag folgende Nutzung vor:

05% Wasserfläche des Hafenbeckens,

10% innerstädtische Grünflächen/Bäume,

85% Versiegelung durch Häuser und Straßen.

Meßzeitraum: 14.07.1994 - 15.02.1995

Ausstattung: THG (Meßhöhe 4 m ü.Grund)

Photo: Blickrichtung: S - N



Stationsname: Rheinaue

Stationsnummer: 5

Standort: Die Station befand sich östlich des Stadtgebietes von Neuss im Auen- und Überflutungsbereich des Rheins ca. 10m vom Ufer (normaler Wasserstand) entfernt an einem Mast der Wasser- und Schifffahrtsbehörde.

Koordinaten: Rechts: 2650,85

Hoch: 5675,15

Höhe: 31,5m ü.NN

Meßstation: Freistehend innerhalb des Überflutungsbereiches des Rheins kam es zu keinen größeren Beeinträchtigungen der Meßstation. Der Einfluß einer Eisenbahnbrücke (80m) südlich und eines größeren Einzelbaums (100m) nordwestlich der Station wurde als gering eingeschätzt.

Landnutzung: In der 200 x 200 m Umgebung (4 ha) der Meßstation lag folgende Nutzung vor:

50% extensiv genutztes Grünland,

50% Wasserfläche des Rheins.

Meßzeitraum: 20.07.1994 - 27.01.1995

Ausstattung: Anemometer (Meßhöhe 4m ü. Grund)

Photo: Blickrichtung: S - N



Stationsname: Selikum

Stationsnummer: 6

Standort: Die Station befand sich im Süden des bebauten Stadtgebietes zwischen den Stadtteilen Selikum und Weckhofen auf einer Grünfläche im Uferbereich der Erft, südöstlich von Schloß Reuschenberg.

Koordinaten: Rechts: 2649,25
Hoch: 5670,55

Höhe: 38,0m ü.NN

Meßstation: Die Horizontabschirmung der Station durch Bäume oder Büsche war zu allen Seiten gering.

Landnutzung: In der 200 x 200 m Umgebung (4 ha) der Meßstation lag folgende Nutzung vor:
05% Wasserfläche der Erft,
10% Versiegelung durch Straßen und Gebäude,
85% überwiegend extensive Grünlandnutzung von einzelnen Baumreihen durchsetzt.

Zeitraum: 20.07.1994 - 15.02.1995

Ausstattung: THG (Meßhöhe 2 m ü.Grund),
Anemometer (Meßhöhe 4 m ü.Grund)

Photo: Blickrichtung: NW - SE



Stationsname:	Vogelsang
Stationsnummer:	7
Standort:	Die Station befand sich nördlich des bebauten Stadtgebietes von Neuss, südlich der A 52 und westlich des Stadtteils D-Heerdt an einem Laternenmast der Bataverstraße, an der Grenze zwischen einem entstehenden Gewerbegebiet im Osten und einer Brachfläche im Westen.
Koordinaten:	Rechts: 2648,15 Hoch: 5677,8
Höhe:	38,5m ü.NN
Meßstation:	Die Messungen an der Station waren nicht beeinträchtigt. Störungen durch den Lichtmast sind gering und können vernachlässigt werden.
Landnutzung:	In der 200 x 200 m Umgebung (4 ha) der Meßstation lag folgende Nutzung vor: 25% Versiegelung durch Straßen und Gebäude, 75% Brachflächen mit extensiver Nutzung.
Meßzeitraum:	15.07.1994 - 15.02.1995
Ausstattung:	Anemometer (Meßhöhe 4 m ü.Grund)
Photo:	Blickrichtung: SE - NW



1.1.4 Datenausfälle und Korrekturen

Im Meßzeitraum 15.07.1994 - 15.02.1995 kam es an den Stationen des stationären Meßnetzes zu einigen Datenausfällen. Neben vorhersehbaren und notwendigen Ausfällen, z.B. durch die Eichung der Thermohygrographen Ende August, kam es durch drei technische Defekte zu unerwarteten Ausfällen an den Stationen Selikum, Grimlinghausen und Morgensternsheide. Durch Vandalismus, Diebstahl oder höhere Gewalt in Form des Rheinhochwassers zur Jahreswende kam es zu weiteren Datenausfällen. Im gesamten Meßzeitraum insgesamt belaufen sie sich auf 7,3% (davon technische Ausfälle 1,9%). Im Einzelnen ergibt sich folgendes Bild:

Station	Parameter				Zeitraum	Begründung
	t	rF	Wg	Wr		
Rathaus	x	x			26.08.-31.08.94	Eichung der Meßgeräte
Selikum	x	x			26.08.-31.08.94	Eichung der Meßgeräte
Selikum	x	x			02.10.-12.10.94	Uhrwerk defekt
Grimlinghausen			x	x	06.09.-24.09.94	Uhrwerk defekt
Morgensternsh.			(x)	(x)	15.07.-04.11.94	WG-Walze schwergängig
Rathaus	x	x			18.11.-30.11.94	Unfall am Laternenmast
Rathaus	(x)	(x)			01.12.-03.12.94	Unfall am Laternenmast
Holzheim			x	x	03.12.-15.02.95	Diebstahl des Meßgerätes
Rheinaue			x	x	28.01.-15.02.	Hochwasser des Rheins

Tab. 1.1: Datenausfälle im Untersuchungszeitraum 27.02.-11.07.1993. Ausfälle in Klammern bedeuten, daß die Werte auf der Basis vergleichbarer Daten anderer Stationen und mit mathematischen Verfahren ergänzt wurden.

Die Korrekturen der Rohdaten beschränken sich auf die Werte der Relativen Feuchte, da die eingesetzten Haarmeßelemente sich nicht exakt eichen lassen und zudem oft einen Trend aufweisen, der u.U. bereits während der Messung ein manuelles nachjustieren erforderlich macht. Insgesamt waren jedoch nur geringe Korrekturen nötig.

Auf eine Korrektur der Temperaturwerte konnte verzichtet werden, da die Meßgeräte unmittelbar vor und während des Meßeinsatzes aufeinander geeicht worden waren und die verbleibenden Differenzen außerhalb der Meßgenauigkeit der Geräte lagen.

1.2 Das stationäre Meßnetz 1988/90

1.2.1 Meßzeitraum

Die Messungen des stationären Meßnetzes der Jahre 1988-1989 umfaßten einen Zeitraum von zwanzig Monaten. Sie begannen im Januar / Februar 1988 und endeten im August / September 1989.

1.2.2 Meßinstrumentarium und Auswertung

Die stationären Messungen wurden mit analogen und automatischen Meßgeräten durchgeführt. Die analogen Geräte, Thermohygrographen und mechanische Windschreiber (nach WOELFLE), wurden bereits eingangs dieses Kapitels beschrieben. Als automatische Stationen kamen Geräte der Firma THIES (Datalogger nach Dr. Weihofen) und der Firma HEEL zum Einsatz.

Die Auswertung der Meßstreifen des stationären Meßnetzes und die Überführung in eine digitale Form erfolgte durch den AG. Bei der Arbeitsgruppe "Stadtklima" am Institut für Landschaftsökologie wurden die Daten als Stundenwerte in das **Stadtklimainformationssystem** (Skis) importiert.

Die rechnergestützten Auswertemethoden, Berechnung der Parameter Dampfdruck und Äquivalenttemperatur, Verknüpfung einzelner Parameter zur Klärung spezieller klimatischer Fragestellungen wurde bereits eingangs ausführlich beschrieben.

1.2.3 Standorte des stationären Meßnetzes

Das stationäre Meßnetz der Jahre 1988-1989 umfaßte vierzehn Stationen, von denen neun die Parameter Temperatur und Relative Luftfeuchtigkeit und sieben die Parameter Windgeschwindigkeit und Windrichtung registrierten. Auf eine Stationsbeschreibung der Standorte kann an dieser Stelle verzichtet werden, da sie in den früheren Arbeiten hinreichend erläutert worden sind (vgl. PESCHEL 1989).

Datenbasis und -qualität der Klimastationen im Stadtgebiet von Neuss der Jahre 1988-89

T - rF	1988												1989											
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Rhein	(o)	(o)	o	o	o	o	o	o	(o)	(o)	(o)	(o)	(o)	(o)	(o)	(o)	(o)	o	(o)	(o)	(o)	(o)	(o)	(o)
Vogelsang		(o)	o	o	(o)	o	o	o	o	o	o	o	o	(o)	(o)	o	(o)	o	o	o	o	o	o	(o)
Mühlenbu		(o)	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	(o)	(o)	(o)	(o)	(o)
Rennbahn	(o)	(o)	(o)	o	o	o	(o)	o	o	(o)	(o)	(o)	(o)	(o)	o	o	(o)	o	o	(o)	(o)	(o)	(o)	(o)

Tab. 1.2a: Stationen zur Registrierung der Parameter: Temperatur und Relative Feuchte. Monate mit o = Daten vorhanden; Monate mit (o) = mindestens 3 Tage mit Meßausfall in diesem Monat.

WG - WR	1988												1989											
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Stadtmitte		(o)	(o)	o	o	o	o	o	o	o	(o)	(o)	o	(o)	o	o	o	o	(o)	(o)	(o)	(o)	(o)	(o)
Hafen-NE		(o)	o	o	o	o	o	o	o	o	(o)	(o)	o	o	o	o	o	o	(o)	(o)	(o)	(o)	(o)	(o)
Rennbahn		(o)	o	o	o	o	o	o	o	(o)	(o)	(o)	o	o	o	o	(o)	o	o	(o)	(o)	(o)	(o)	(o)
Erf			(o)	o	o	o	o	o	o	(o)	(o)	(o)	o	o	o	o	(o)	o	o	(o)	(o)	(o)	(o)	(o)
Uedesheim			o	(o)	o	o	o	o	o	o	(o)	(o)	o	o	o	o	(o)	o	o	(o)	(o)	(o)	(o)	(o)
Bocholt		(o)	o	o	o	o	o	o	o	(o)	(o)	(o)	o	o	(o)	o	o	(o)	o	(o)	(o)	(o)	(o)	(o)

Tab. 1.2b: Stationen zur Registrierung der Parameter: Windgeschwindigkeit und Windrichtung. Monate mit o = Daten vorhanden; Monate mit (o) = mindestens 3 Tage mit Meßausfall in diesem Monat.

Die in den Tabellen 1.2a und 1.2b aufgelisteten Datenausfälle lassen sich wie folgt beziffern.

Station	Parameter	Meßzeitraum	Ausfall (Tage)	Ausfall (%)
Rhein (Nr.6)	T - rF	02.01.88 - 11.09.89	226	18
Vogelsang West (Nr.7)	T - rF	23.02.88 - 11.09.89	124	11
Mühlenbusch (Nr.8)	T - rF	22.02.88 - 17.09.89	88	8
Industriegebiet-N (Nr.9)	Wg - Wr	26.02.88 - 07.08.89	102	10
Hafen-Nordost (Nr.10)	Wg - Wr	29.02.88 - 06.07.89	20	2
Rennbahn (Nr.11)	T - rF	02.01.88 - 11.09.89	351	29
	Wg - Wr	29.02.88 - 06.08.89	87	8
Erft (Nr.12)	Wg - Wr	02.03.88 - 07.08.89	168	16
Stadtwald (Nr.13)	Wg - Wr	24.02.88 - 04.07.89	34	3
Uedesheim (Nr.14)	Wg - Wr	02.03.88 - 04.08.89	76	7
Gesamtmeßausfall	-	Jan´88 - Sep´89	1276	11,2
Ø Ausfall	T - rF	Jan´88 - Sep´89	789	16,5
Ø Ausfall	Wg - Wr	Jan´88 - Sep´89	487	7,7

Tab. 1.3: Meßausfälle an den Stationen des Meßnetzes 1988-1989.

Insgesamt muß festgestellt werden, daß die Datenausfälle der Klimaparameter Temperatur und Relative Luftfeuchtigkeit mit durchschnittlich 16,5% und bis zu 29% erheblich höher sind als die Vergleichswerte der Parameter Windgeschwindigkeit und -richtung. Diese liegen im Schnitt bei 7,7% und erreichen im Extremfall 16%.

Bei dieser Übersicht wurde jedoch nicht beachtet, daß es für eine sinnvolle Analyse der Daten nach stadtklimatologischen Gesichtspunkten erforderlich ist, die Werte einzelner Standorte miteinander zu vergleichen. Eine synchrone Datenaufzeichnung an möglichst allen Stationen ist von Nöten.

Im Bereich Temperatur bzw. Relative Feuchte sollten alle verfügbaren vier Stationen gleichzeitig Daten registrieren. Nach diesem „schärferen“ Kriterium untersucht, reduziert sich der zu analysierende Datensatz bei der Temperatur bzw. der Relativen Feuchte auf 75%. Hierbei wurde die Plausibilität der Daten noch nicht berücksichtigt.

Im einzelnen sind dies die Zeiträume:

1988	08.03.-19.05.	25.05.-11.07.	19.07.-25.08.
	31.08.-25.09.	04.10.-23.10.	26.10.-11.11.

1989	10.01.-06.02.	10.03.-15.05.	02.06.-29.06.
	06.07.-13.08.	23.08.-28.08.	05.09.-10.09.

Zur Interpretation des Windfeldes sollten nach Möglichkeit an allen Stationen Daten registriert worden sein. Im Untersuchungszeitraum sind dies:

1988	03.03.-16.03.	29.03.-30.03.	26.04.-07.10.
	22.11.-21.12.		
1989	29.12.-04.05.	16.05.-20.05.	07.06.-04.07.

Die Datenbasis der Stationen des Meßnetzes der Jahre 1988-89 ist durchaus unterschiedlich. Fünf durchaus interessante Stationen fehlen komplett und können nicht ausgewertet werden. Die vier verbleibenden Standorte mit einer Registrierung der Parameter Lufttemperatur und Relative Luftfeuchtigkeit weisen große Datenlücken auf. Hier muß bei der Analyse auf die Betrachtung großer Zeiträume, wie z.B. eines ganzen Jahres, eines Sommer- oder Winterhalbjahres o.ä., verzichtet werden.

Es können jedoch einzelne Tageskollektive nach bestimmten Kriterien (Strahlung, Windgeschwindigkeit etc.) zusammengestellt und auch untersucht werden. Lediglich die Standorte zur Erfassung der Parameter Windgeschwindigkeit und Windrichtung zeichnen sich durch geringe Ausfallquoten aus und können intensiver untersucht werden.

Korrekturen der Rohdaten gestalten sich problematisch. Da nicht mehr nachvollzogen werden kann, welche Geräte wo standen, können gerätespezifische Mängel nachträglich auch nicht korrigiert werden. Ähnlich verhält es sich mit der Windrichtung. Mehr oder weniger durch Zufall konnte einer alten Aktennotiz entnommen werden, daß die Anemometer der Stationen Erft und Hafen-Nordost vom Meßbeginn bis zum 24.08.1988 falsch eingenordet waren und nachträglich um 180° korrigiert werden müssen. Solche Fehler sind jedoch bei einer Analyse generell leichter zu erkennen, als z.B. eine falsche Einnordung um 10° oder 35°.

Die Daten der Temperatur und der Relativen Feuchte erweisen sich ebenfalls als nur bedingt korrekturfähig. Bei einer ersten oberflächlichen Sichtung der Daten lassen sich bereits potentiell realistische von völlig abwegigen trennen. Letztgenannte können natürlich durch Korrekturen nicht mehr gerichtet werden, da sich sonst jegliches messen generell erübrigen würde. Der verbleibende Rest muß anschließend seine Glaubwürdigkeit im Vergleich untereinander und mit unbeeinflussten Stationen unter Beweis stellen.

2 Repräsentanz des Meßzeitraumes

Der Witterungsverlauf maritim geprägter Bereiche unterliegt interannuell starken Schwankungen. Ein Meßzeitraum von sieben Monaten ist i.d.R. keine klimatologisch verlässliche Datengrundlage. Bevor auf der Basis der im Untersuchungsgebiet gemessenen Klimaparameter allgemeingültige Aussagen und weiterführende Interpretationen getroffen werden, muß die Repräsentanz der Daten und somit des Meßzeitraumes überprüft werden. Hierzu werden die an der Station "Düsseldorf-Südfriedhof" des Deutschen Wetterdienstes (DWD) für den Meßzeitraum ermittelten Daten mit denen des langjährigen Mittels derselben Station verglichen. Gleiche Standorteigenschaften und gleiche Berechnungsmethoden sind somit gewährleistet (vgl. CAPPEL, KALB, SCHMIDT 1983).

Die Station "Düsseldorf-Südfriedhof" des Deutschen Wetterdienstes befindet sich 37 m ü.NN. Die genaue Lage im Koordinatensystem wird mit 51°12' nördliche Breite und 6°45' östliche Länge von Greenwich angegeben.

Die zum Zeitpunkt der vorliegenden Untersuchung gültige langjährige Meßreihe der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) ist der Zeitraum 1931-1960. Bedingt durch größere Meßausfälle zum Ende des 2. Weltkrieges und in der Nachkriegszeit sowie durch den Neuaufbau zahlreicher Stationen in den Fünfziger Jahren wurden abweichend von der internationalen Norm die klimatologischen Daten für den Zeitraum 1951-1980 vom Deutschen Wetterdienst ermittelt (MÜLLER-WESTERMEIER 1990). Diese haben bis zur Zusammenstellung der Kennwerte des Zeitraumes 1961-1990 vorläufige Gültigkeit.

2.1 Einordnung in den Klimaraum

Nach der naturräumlichen Gliederung (BUNDESFORSCHUNGSANSTALT FÜR LANDESKUNDE UND RAUMORDNUNG 1978) liegt der Ballungsraum Düsseldorf/ Neuss an der Grenze des Niederrheinischen Tieflandes zur Niederrheinischen Bucht. Er ist dem Nordwestdeutschen Klimabereich zuzuordnen und ist somit überwiegend maritim beeinflusst, geprägt von kühlen Sommern und milden Wintern. Gelegentlich setzt sich jedoch auch kontinentaler Einfluß mit längeren Phasen hohen Luftdrucks durch. Dann kann es im Sommer bei schwachen östlichen bis südöstlichen Winden zu höheren

Temperaturen und trockenem sommerlichem Wetter kommen. Im Winter sind kontinental geprägte Wetterlagen häufig mit Kälteperioden verbunden.

Die Niederungen des Niederrheinischen Tieflandes und der Niederrheinischen Bucht sind gekennzeichnet von Jahresmitteltemperaturen über 9°C, Windgeschwindigkeitsmitteln von 3-3,5 m/s und Niederschlägen, die überwiegend im Sommer fallen (MINISTER FÜR UMWELT, RAUMORDNUNG UND LANDWIRTSCHAFT DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN 1989).

2.2 Witterungsverlauf im Meßzeitraum

Vergleicht man die Witterung im Meßzeitraum mit den Werten des langjährigen Mittels 1951-80, lassen sich Übereinstimmungen aber auch Abweichungen erkennen (vgl. Tab. 2.1).

Die Sommermonate Juli bis Oktober 1994 zeigen ein zweigeteiltes Bild. Im Juli und August war es bei überdurchschnittlicher Sonnenscheindauer zu trocken und zu warm. Mit 35mm Niederschlag wurden im Juli nur 41% des Wertes des langjährigen Mittels erreicht. Die Lufttemperatur lag im Mittel dieses Monats bemerkenswerte 5,3K über dem Vergleichswert und erreichte mit 34,6°C ihr Maximum. Obwohl dieses im August noch einmal um 1,6K auf 36,2°C stieg, war dieser Monat bei nachlassender Einstrahlung und zunehmenden Niederschlägen nicht mehr ganz so warm und überstieg mit einer mittleren Lufttemperatur von 19,0°C den Wert des langjährigen Mittels nur um 1,3K.

Die Statistik der Sommer- und heißen Tage verdeutlicht dies. Im Juli erreichte die Lufttemperatur an 26 von 31 Tagen ein Maximum von über 25°C und an 15 Tagen sogar ein Maximum von über 30°C. Die Vergleichswerte im Monat August liegen bei 12 (Sommertage) und 3 (heiße Tage).

Die Witterung in den Monaten September und Oktober verhielt sich zu den beiden Erstgenannten gegensätzlich. Bei unterdurchschnittlicher Sonnenscheindauer (September) war es an der Station Düsseldorf-Südfriedhof in beiden Monaten mit Niederschlagswerten von 72 bzw. 56mm (118 bzw. 108%) zu feucht. Die Monatsmitteltemperaturen lagen 0,5K im September und 0,9K im Oktober unter den Vergleichswerten des langjährigen Mittels. Während die Temperaturen in der genormten Meßhöhe von 2m über Grund noch durchweg positiv waren, trat im Oktober bereits Bodenfrost auf.

Der Winterzeitraum November bis Februar war durchgehend zu warm. Das Temperaturmittel des Monats November wich bei einer überdurchschnittlichen Sonnenscheindauer um 4,1K vom langjährigen Mittel ab, das des Monats Dezember um 2,6K. Negative Lufttemperaturen blieben im November auf den Erdboden beschränkt. Erst im Dezember vermerkt die Statistik 7 Frosttage mit einem Temperaturminimum unter 0°C und 2 Tage mit Schneefall.

Während der Monate Januar und Februar setzte sich dieser Trend fort. Der Januar war mit einer Temperaturabweichung von 1,1 K etwas, der Februar mit einer Abweichung von 3,8 K deutlich wärmer als die Vergleichswerte des langjährigen Mittels. Bei einer überdurchschnittlichen Sonnenscheindauer wurden im Januar 9 Frosttage registriert (davon 4 Eistage), bei einer leicht unterdurchschnittlichen Sonnenscheindauer im Februar nur noch drei. Die Niederschlagsmenge war in beiden Monaten mehr als doppelt so hoch wie im langjährigen Mittel und fiel im Januar z.T. als Schnee.

Der Witterungsverlauf im Untersuchungszeitraum zeigt in einigen Monaten erhebliche Abweichungen zu den Werten des langjährigen Mittels. Im Untersuchungszeitraum kompensiert sich die Mehrzahl der Differenzen jedoch, so daß die Witterung im gesamten Meßzeitraum durchaus als charakteristisch anzusehen ist.

Gemittelt über den gesamten Meßzeitraum erreichte die Lufttemperatur mit 11,7°C einen um 2,1 K höheren Wert als der Vergleichszeitraum 1951-80. Die Niederschlagshöhe liegt mit 128% ebenso wie die Sonnenscheindauer (127%) über dem Vergleichswert. Bei der Analyse der Klimadaten des stationären Meßnetzes ist dies zu bedenken.

1994/95 Monat	Lufttemperatur						Relative Luftfeuchte (%)	Niederschlag		Anzahl der						
	t _{mit} (°C)	t _j (°C)	Abw. (K)	t _{max} (2m)	t _{min} (2m)	t _{min} (0m)		(mm)	(%)	Tage mit Schnee	Tage mit Nebel	Heißen Tage	Sommertage	Frosttage	Eistage	Sonnenstunden (h)
Juli	23,4	18,1	+5,3	34,6	10,8	9,0	35	41	-	-	15	26	-	-	274	158
August	19,0	17,7	+1,3	36,2	6,5	4,6	70	88	-	-	3	12	-	-	198	119
September	14,4	14,9	-0,5	23,0	7,6	5,2	72	118	-	2	-	-	-	-	95	70
Oktober	9,9	10,8	-0,9	21,6	0,1	-3,0	56	108	-	3	-	-	-	-	141	142
November	10,3	6,2	+4,1	18,4	0,6	-2,3	59	89	-	3	-	-	-	-	56	124
Dezember	6,1	3,5	+2,6	14,5	-4,8	-7,2	75	115	2	2	-	-	7	-	61	179
Januar	3,5	2,4	+1,1	13,3	-6,7	-8,9	143	227	11	1	-	-	9	4	53	129
Februar	6,8	3,0	+3,8	14,8	-1,9	-3,6	111	236	-	-	-	-	3	-	67	91
Meßzeitraum	11,7	9,6	2,1	36,2	-6,7	-8,9	621	128	13	11	18	38	19	4	945	127

Tab. 2.1:

Jahresmittelwerte ausgesuchter Klimaparameter an der Station Düsseldorf-Südfriedhof des DWD. Zeitraum Januar - Dezember 1994.
 Quelle: DEUTSCHER WETTERDIENST, Monatlicher Witterungsbericht 1994/95

Erklärung:

- t_{mit} (°C) = Temperaturmittel des Monats
- t_j (°C) = Monatsmittel der Temperatur an der Station Düsseldorf-Südfriedhof des DWD.
- Abw. (K) = Abweichung der Monatsmitteltemperatur vom langjährigen Mittel des DWD.
- t_{max} (°C)(2m) = Temperaturmaximum des Monats in 2m Höhe
- t_{min} (°C)(2m) = Temperaturminimum des Monats in 2m Höhe
- t_{min} (°C)(0m) = Monatsmittel der relativen Luftfeuchtigkeit in Prozent
- Rel. Luftfeuchte (%) = Monatssumme des Niederschlags in Millimeter
- Niederschlag (mm) = Abweichung des Monatsniederschlags von langjährigen Mittel 1951-80 des Deutschen Wetterdienstes
- Schnee-Tage (%) = Anzahl der Tage mit mindestens 0,1mm teilweise festem Niederschlag (Schnee, Graupel, Hagel)
- Nebel-Tage = Anzahl der Tage mit Nebel (Sichtweite wird durch in der Luft schwebende Wassertropfchen auf unter 1000m reduziert)
- Heiße Tage = Anzahl der Tage mit einem Tagesmaximum der Temperatur ≥ 30,0°C
- Sommertage = Anzahl der Tage mit einem Tagesmaximum der Temperatur ≥ 25,0°C
- Frosttage = Anzahl der Tage mit einem Tagesminimum der Temperatur < 0,0°C
- Eistage = Anzahl der Tage mit einem Tagesmaximum der Temperatur < 0,0°C
- Sonnenstunden (h) = Anzahl der Sonnenstunden pro Monat
- Sonnenstunden (%) = Anzahl der Sonnenstunden in Prozent von langjährigen Mittel 1951-1980.

2.3 Großwetterlagen

Entscheidend für die Ausprägung des bodennahen Wind- aber auch des Temperaturfeldes ist die Häufigkeit, Stärke und Verteilung der Großwetterlagen. Sie steuern den advektiven Transport warmer oder kalter Luftmassen und somit direkt das Wettergeschehen im Untersuchungsgebiet.

Im Vergleich mit dem langjährigen Mittel 1881-1976 des Deutschen Wetterdienstes (nach HESS, BREZOWSKY 1977) traten im Untersuchungszeitraum Abweichungen der Häufigkeit bestimmter Wetterlagen auf. Tabelle 2.2 zeigt die Verteilung der Wetterlagen im Untersuchungszeitraum.

Datum	1994						1995	
	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb
01	SEa	Sa	TrM	Wa	Wz	HM	Nz	Wz
02	SEa	Sa	TrM	Wa	Wz	HM	Nz	Wz
03	SEa	Sa	TrM	Nz	Sa	HM	Nz	Wa
04	SEa	Sa	TrM	Nz	Sa	Wz	BM	Wa
05	HNz	Sa	Wz	Nz	Sa	Wz	BM	Wa
06	HNz	HNa	Wz	BM	Sa	Wz	BM	Wa
07	HNz	HNa	Wz	BM	Sa	Wz	BM	Wa
08	HNz	HNa	Wz	BM	Sa	Wz	BM	HNz
09	HNz	HNa	Wz	BM	Sa	Wz	NWz	HNz
10	HM	HNa	Wz	BM	HNFz	Wz	NWz	HNz
11	HM	Nz	Wz	BM	HNFz	Wz	NWz	Wz
12	HM	Nz	Wz	BM	HNFz	Wz	NWz	Wz
13	HM	Nz	Wz	BM	HNFz	Wz	Wa	Wz
14	BM	Nz	TrM	BM	Wz	NWa	Wa	Wz
15	BM	Nz	TrM	BM	Wz	NWa	Wa	Wz
16	BM	Ü	TrM	BM	Wz	NWa	Wa	Wz
17	BM	Wz	TrM	BM	Wz	NWa	Wa	Wz
18	NEz	Wz	TrM	SEa	Wz	TrW	Ww	Wz
19	NEz	Wz	TrM	SEa	Wz	TrW	Ww	Wz
20	NEz	Wz	TrM	SEa	Wz	TrW	Ww	Wz
21	NEz	Wz	TrM	SEa	Wz	BM	Ww	Wz
22	NEa	Wz	BM	SEa	Wa	BM	Ww	Wz
23	NEa	TB	BM	SWz	Wa	BM	Wz	Wz
24	NEa	TB	BM	SWz	Wa	BM	Wz	TrM
25	NEa	TB	BM	SWz	NWa	BM	Wz	TrM
26	BM	TB	BM	SWz	NWa	Wz	Wz	TrM
27	BM	Wa	Wa	SWz	NWa	Wz	Wz	TrM
28	BM	Wa	Wa	Wz	NWa	Wz	Wz	Wa
29	BM	Wa	Wa	Wz	NWa	Wz	Wz	-
30	Sa	Wa	Wa	Wz	HM	Wz	Wz	-
31	Sa	Wa	-	Wz	-	Wz	Wz	-

Tab. 2.2: Verteilung der Großwetterlagen im Meßzeitraum (Quelle: DWD 1994/95).
Erklärung der Wetterlagenabkürzungen in Tab. 2.3.

Bezeichnung der Großwetterlagen	Abkürzung
ZONALE ZIRKULATIONSFORMEN	
Westlage, antizyklonal	WA
Westlage, zyklonal	WZ
Südliche Westlage	WS
Winkelförmige Westlage	WW
GEMISCHTE ZIRKULATIONSFORMEN	
Südwestlage, antizyklonal	SWA
Südwestlage, zyklonal	SWZ
Nordwestlage, antizyklonal	NWA
Nordwestlage, zyklonal	NWZ
Hoch über Mitteleuropa	HM
Hochdruckbrücke über Mitteleuropa	BM
Tief über Mitteleuropa	TM
MERIDIONALE ZIRKULATIONSFORMEN	
Nordlage, antizyklonal	NA
Nordlage, zyklonal	NZ
Hoch Nordmeer-Island, antizyklonal	HNA
Hoch Nordmeer-Island, zyklonal	HNZ
Hoch Britische Inseln	HB
Trog Mitteleuropa	TRM
Nordostlage, antizyklonal	NEA
Nordostlage, zyklonal	NEZ
Hoch Fennoskandien, antizyklonal	HFA
Hoch Fennoskandien, zyklonal	HFZ
Hoch Nordmeer-Fennoskandien, antizyklonal	HNFA
Hoch Nordmeer-Fennoskandien, zyklonal	HNFZ
Südostlage, antizyklonal	SEA
Südostlage, zyklonal	SEZ
Südlage, antizyklonal	SA
Südlage, zyklonal	SZ
Tief Britische Inseln	TB
Trog Westeuropa	TRW
Übergangslage	Ü

Tab. 2.3: Erklärung der Abkürzungen aus Tabelle 2.2. (Quelle: DWD 1994/95)

Die in Tabelle 2.4 aufgeführten Abweichungen der einzelnen Wetterlagen vom langjährigen Mittel verdeutlichen die in Anbetracht der kurzen Meßperiode gute Repräsentanz. Die mittlere Abweichung beträgt 2,7% und entspricht ca. sechs Tagen, die maximale Abweichung beträgt 14,4%.

Die Tatsache, daß einige Wetterlagen im Meßzeitraum nicht vorkamen ist bemerkenswert, aber vor dem Hintergrund ihrer geringen Häufigkeit im langjährigen Mittel und des vergleichsweise recht kurzen Untersuchungszeitraumes durchaus als natürlich zu bezeichnen.

Wetterlage	Zeitraum: Juli 94 - Februar 95		Langjähriges Mittel (Feb.-Juli) [%]	Abweichung vom langjährigen Mittel (Feb.-Juli) [%]
	Σ	[%]		
WA	24	11,2	5,2	+6,0
WZ	61	28,3	13,9	+14,4
WS	0	0,0	3,1	- 3,1
WW	5	2,3	1,9	+0,4
SWA	0	0,0	1,7	- 1,7
SWZ	5	2,3	1,2	+1,1
NWA	9	4,2	5,5	- 1,3
NWZ	4	1,9	4,6	- 2,7
HM	4	1,9	10,3	- 8,4
BM	33	15,2	4,6	+10,6
TM	0	0,0	3,1	- 3,1
NA	0	0,0	1,6	- 1,6
NZ	11	5,1	3,9	+1,2
HNA	5	2,3	4,6	- 2,3
HNZ	3	1,4	1,7	- 0,3
HB	0	0,0	3,5	- 3,5
TRM	12	5,6	4,0	+1,6
NEA	4	1,9	3,7	- 1,8
NEZ	4	1,9	2,9	- 1,0
HFA	0	0,0	3,5	- 3,5
HFZ	0	0,0	0,8	- 0,8
HNFA	0	0,0	1,8	- 1,8
HNFZ	4	1,9	2,2	- 0,3
SEA	5	2,3	1,9	+0,4
SEZ	0	0,0	1,5	- 1,5
SA	14	6,5	1,2	+5,3
SZ	0	0,0	0,7	- 0,7
TB	4	1,9	2,2	- 0,3
TRW	3	1,4	2,5	- 1,1
Ü	1	0,5	0,7	- 0,2
SUMME	215	100	100	0,0

Tab. 2.4: Häufigkeit der Großwetterlagen im Meßzeitraum und Abweichungen der Häufigkeit zum langjährigen Mittel 1881-1976. (Quelle: DWD 1994/95)

2.4 Bewertung der Repräsentanz

Die Daten der Station Düsseldorf-Südfriedhof des DWD zeigen bei einer Gesamtbetrachtung der einzelnen Klimaparameter (Tab. 2.1) sowie der Wetterlagenhäufigkeit und -verteilung eine hohe Korrelation zu den Werten des langjährigen Mittels 1951-80 (Tab. 2.4). Der Witterungsverlauf in dem verhältnismäßig kurzen Meßzeitraum war durchaus charakteristisch und ist in bezug auf die Ausprägung einzelner Klimaparameter und deren jahreszeitliche Verteilung repräsentativ. Die Abweichungen einzelner Werte zu denen des langjährigen Mittels sind fast ausnahmslos positiver Natur.

Anhand der überdurchschnittlich häufigen und langanhaltenden Strahlungsperioden können die Fragestellungen der Untersuchung mit ausreichender statistischer Sicherheit überprüft werden. Allgemeingültige Aussagen bzw. weiterführende Interpretationen sind auf der Basis der gewonnenen Klimadaten möglich und zulässig.

3 Ergänzende Abbildungen

Ergänzend zu den Ausführungen des Kapitels 3.3 werden an dieser Stelle im Anhang Windrichtungshäufigkeitsverteilungen in Form von Windrosen und Windgeschwindigkeitswindrosen dargestellt. Schwerpunktmäßig werden hierbei die Stationen des Meßnetzes 1988-90 behandelt. Als zeitliche Auflösung werden nach einer Betrachtung der Calmenstatistik zuerst Jahresüberblicke, folgend Halbjahre (Sommer- bzw. Winterzeitraum) und abschließend und in Anlehnung an den Luftreinhalteplan Rheinschiene Mitte einzelne Jahreszeiten gewählt.

In Tabelle 3.1 ist eine Statistik der Calmen bzw. der Umlaufenden Winde an den Stationen des Meßnetzes 1988-89 dargestellt. Auffällig ist die ungewöhnlich hohe Zahl der Calmen. Sie erreichen an der Station Erft über 2000 Stunden und somit einen Anteil von über 20% des Gesamtzeitraumes. Im Vergleich mit den Messungen der Jahre 1994/95 (vgl. Tab. 3.2) zeigt sich eine deutliche Diskrepanz. Obwohl die Station Selikum an exakt dem selben Standort wie die Station Erft errichtet wurde, konnte in dem Meßzeitraum von Juli 1994 bis Februar 1995 nicht eine Calme registriert werden. Hauptursache hierfür sind unterschiedliche Meß- und Auswertesysteme.

	Rennbahn	Uedesheim	Erft	Hafen-NE	Stadtwald	Industrie-Nord
Calmen						
Sommer	837	984	1329	428	952	1050
Winter	509	539	829	311	576	644
Jahr	1346	1523	2158	739	1528	1649
Umlaufende Winde						
Sommer	25	16	48	10	23	88
Winter	12	3	11	1	9	36
Jahr	37	19	59	11	32	124

Tab. 3.1: Statistik der Calmen und umlaufenden Winde im Meßzeitraum 1988 - 1989

Während bei den automatischen Stationen entsprechend der Herstellerangaben Strömungen unter der Anlaufwindgeschwindigkeit von 0,5 m/s definitionsgemäß als Calmen ausgewiesen werden, erlaubt die Verarbeitung der mit einem Woelfle-Anemometer registrierten Daten eine Ausdehnung auch in Schwachwindbereiche. Diese ist bereits in Kapitel 1 des Anhangs erläutert worden. Die zeitliche Auflösung der Datenerfassung ist ein weiterer Aspekt.

Werden bei automatischen Stationen in bestimmten Zeitabständen registrierte „Zufallswerte“ erfaßt, gemittelt und abgespeichert, so zeichnen die analogen Meßgeräte kontinuierlich Meßwerte auf. Diese werden erst beim digitalisieren zu Stundenwerten zusammengefaßt. Eine unmittelbare Vergleichbarkeit beider Systems ist nur bedingt gegeben.

	Grimling- hausen	Holzheim	Morgen- sternsh.	Selikum	Rheinaue	Vogelsang
Calmen						
Sommer	0	0	1	0	1	0
Winter	1	0	5	0	0	0
Jahr	1	0	6	0	1	0
Umlaufende Winde						
Sommer	0	0	0	71	0	0
Winter	0	0	0	0	0	0
Jahr	0	0	0	71	0	0

Tab. 3.2: Statistik der Calmen und umlaufenden Winde im Meßzeitraum 1988 - 1989

Untersucht man die Häufigkeit von Strömungen unter 0,5 m/s lassen sich dennoch Übereinstimmungen feststellen. An der Station Selikum erhöht sich die Anzahl von Stunden mit „Calmen“ sprunghaft auf 665 (12%) und an der Station Morgensternsheide sogar auf 969 (17%). In Anbetracht der unterschiedlichen Meßzeiträume und des differierenden Witterungsverlaufs liegen diese Werte durchaus in einem akzeptablen Schwankungsbereich zu denen des alten Meßnetzes. An den restlichen Stationen erhöht sich die Zahl der „Calmen“ nur geringfügig. Er überschreitet 1% Häufigkeit nicht.

Vergleiche des Kennwerts Umlaufende Winde gestalten sich ähnlich problematisch, wie die eben diskutierten. Sie erscheinen nur innerhalb der einzelnen Meßnetze sinnvoll. Während 1988-89 an allen Stationen Umlaufende Winde registriert wurden, war dies 1994/95 nur an der Station Selikum der Fall. Hier konnten jedoch gleich 71 Stunden erfaßt werden, die sämtlich in den Sommermonaten auftraten. Offensichtlich ist die Ausprägung des Windfeldes gerade an dieser Station stark von den lokalen und somit standorttypischen Gegebenheiten geprägt.

Die Abbildungen der folgenden Seiten sind als Ergänzung zu den Ausführungen zum Windfeld (vgl. Kap. 3 des Gutachtens) zu sehen. Da keine zwingend neuen Erkenntnisse aus ihnen abgeleitet werden können, sind sie der Vollständigkeit halber an dieser Stelle angefügt und bedürfen keines Kommentars.

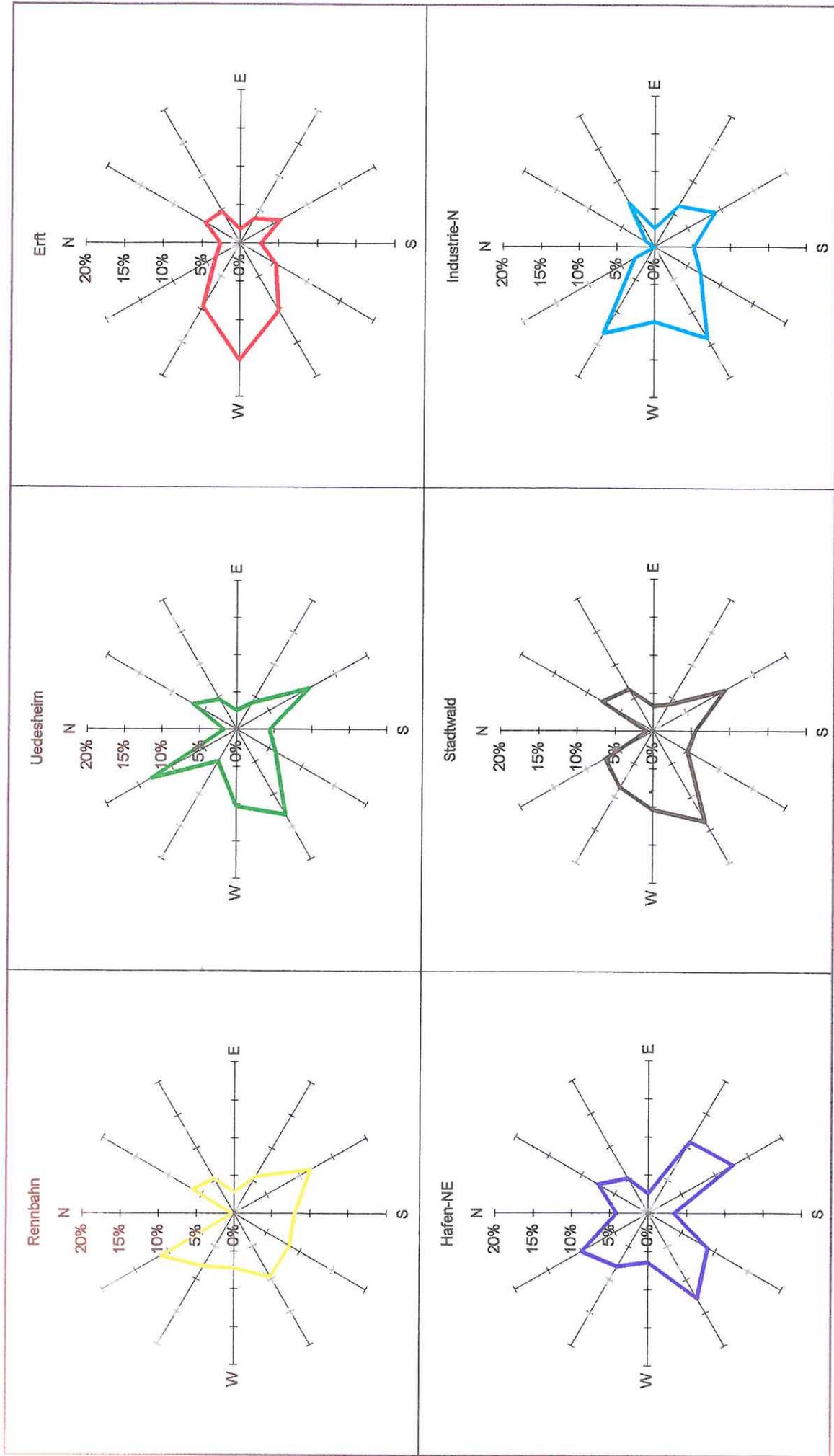


Abb. 3.3: Windrichtungsverteilung an den Stationen des Meßnetzes 1988-89 in Neuss. Häufigkeit der Windrichtungen in Prozent nach 30-Grad-Klassen. Zeitraum: Sommer (Mai-Okt 1988 und 1989).

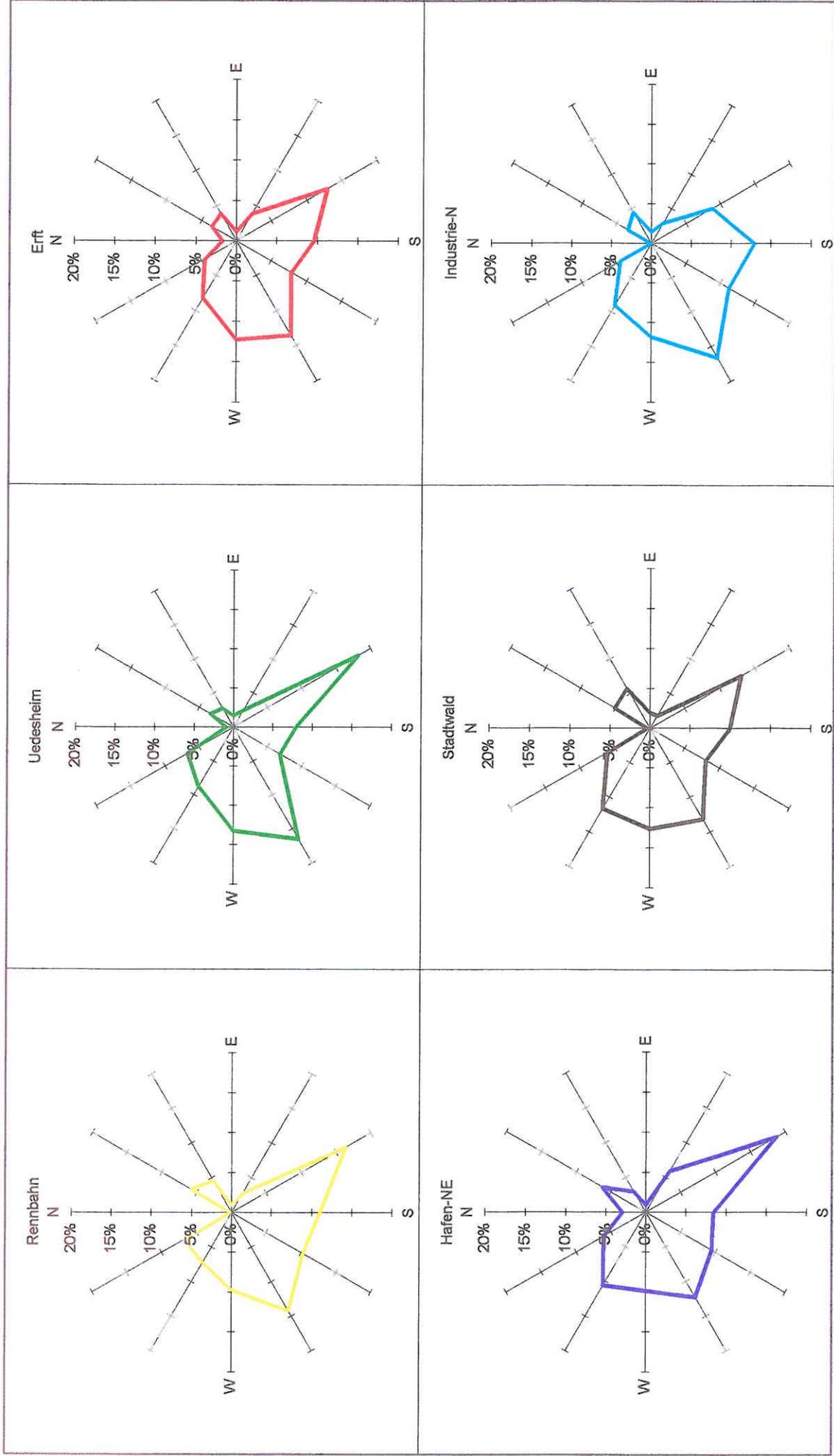


Abb. 3.4: Windrichtungsverteilung an den Stationen des Meßnetzes 1988-89 in Neuss. Häufigkeit der Windrichtungen in Prozent nach 30-Grad-Klassen. Zeitraum: Winter (Nov-Dez 1988 und Jan-Apr 1989).

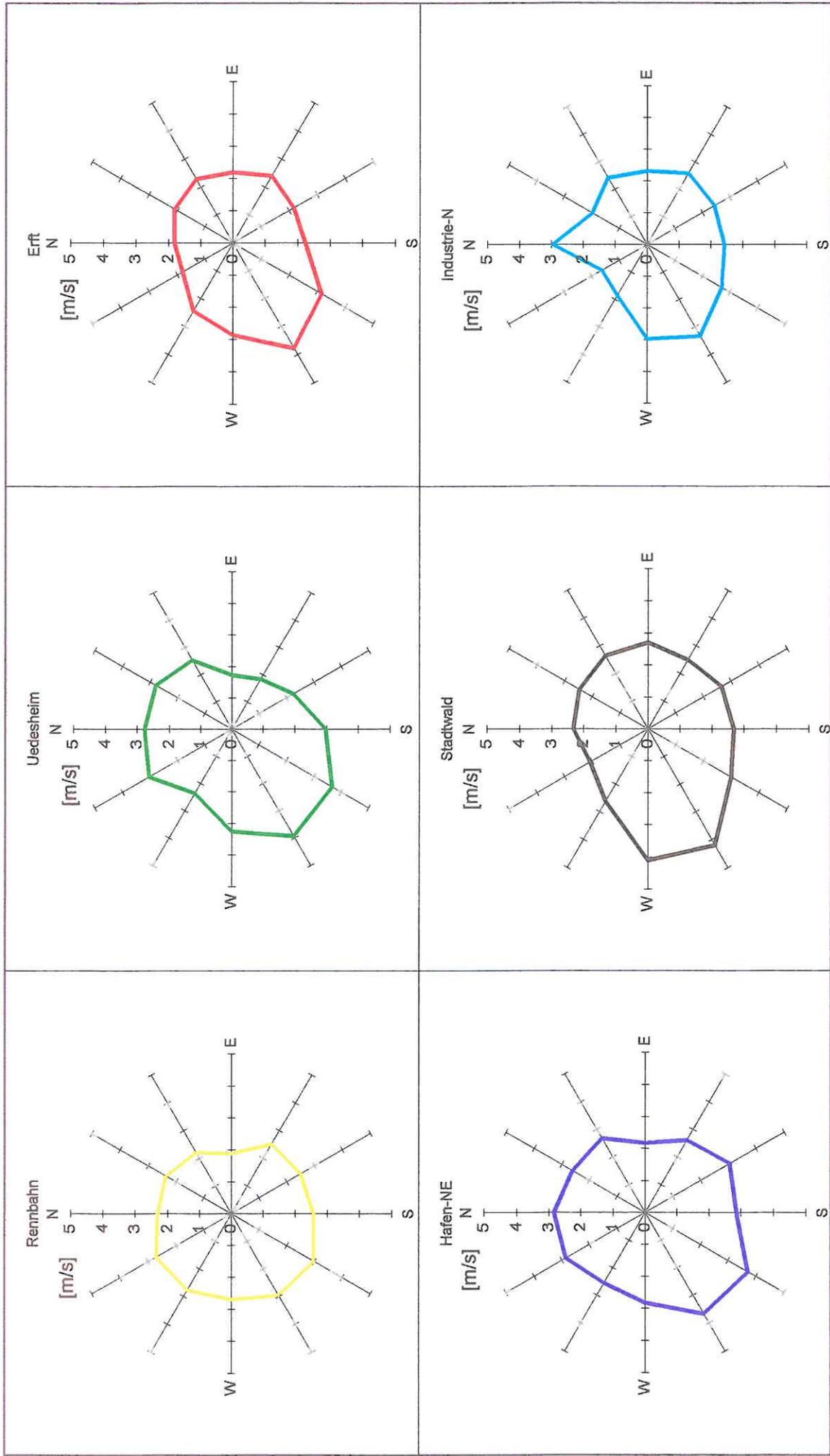


Abb. 3.5: Windgeschwindigkeitswindrose der Stationen des Meßnetzes 1988-89 in Neuss. Zeitraum: Sommer (Mai-Okt 1988 und Mai-Aug 1989).

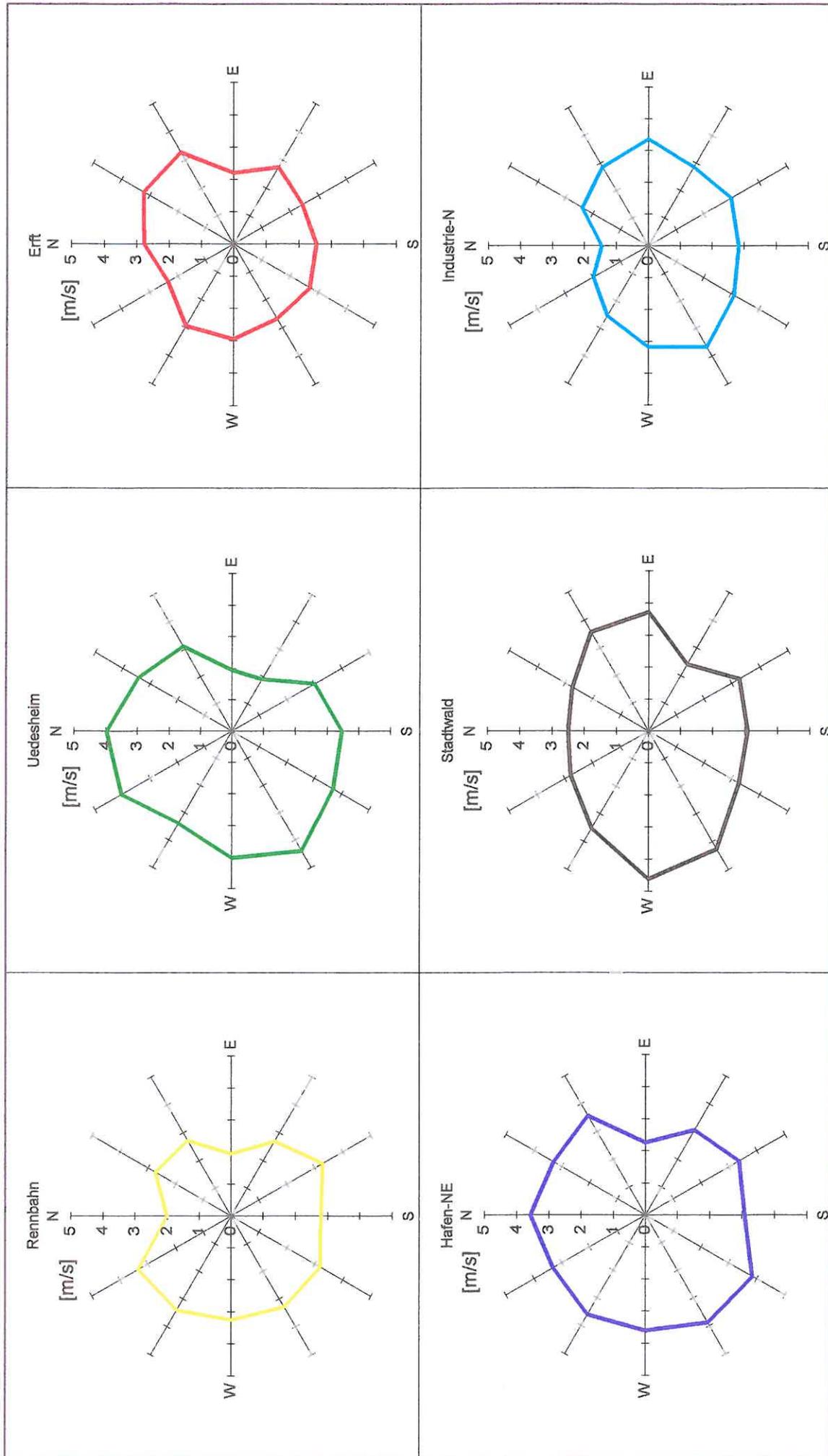


Abb. 3.6: Windgeschwindigkeitswindrose der Stationen des Meßnetzes 1988-89 in Neuss. Zeitraum: Winter (Nov-Dez 1988 und Jan-Apr 1989).

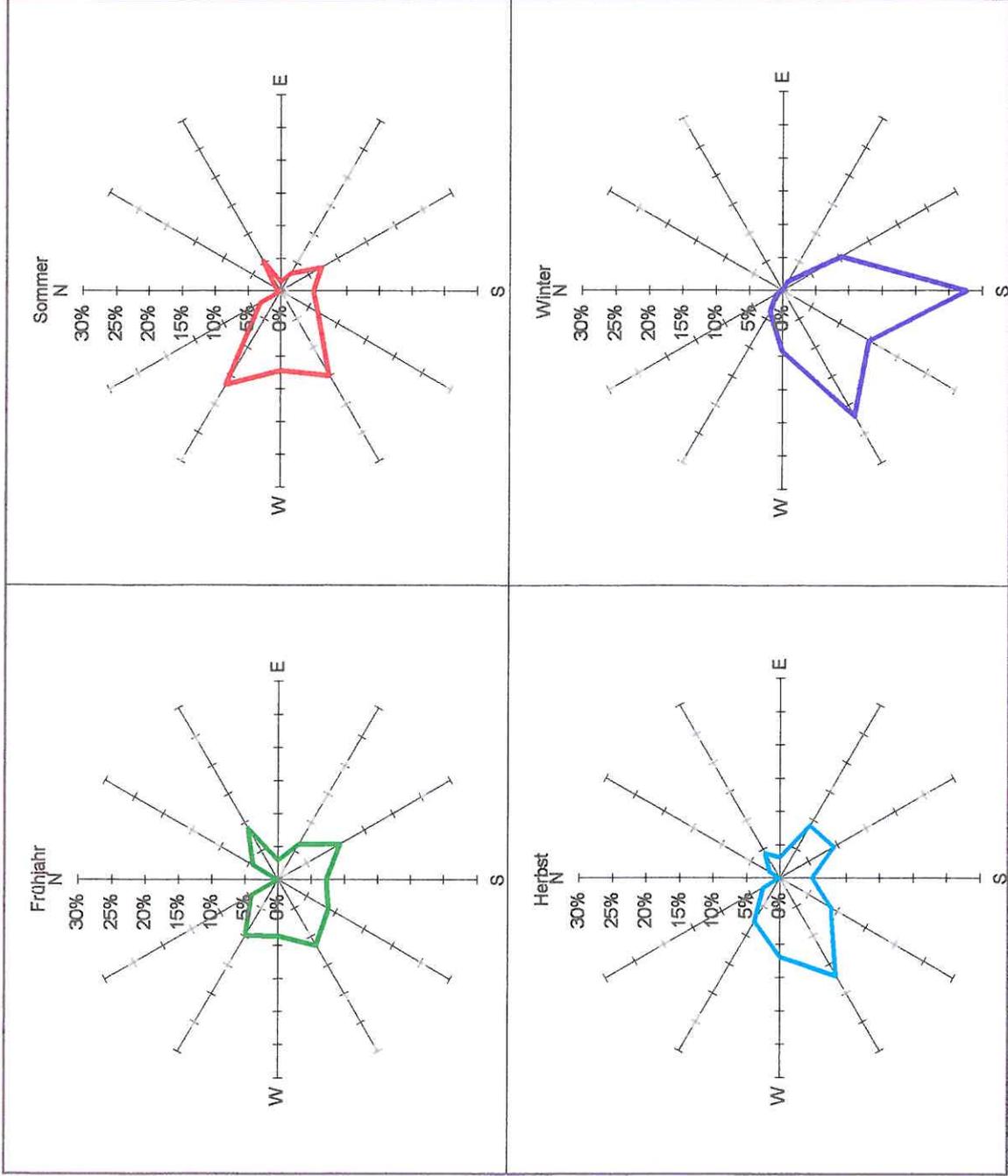


Abb.3.7: Windrichtungsverteilung an der Station Industriegebiet-Nord (Nr. 9). Rel. Häufigkeit der Windrichtungen in % nach 30-Grad-Klassen. Zeitraum: Frühjahr (Mär, Apr, Mai 1988 und 1989), Sommer (Jun, Jul, Aug 1988 und 1989); Herbst (Sep, Okt, Nov 1988); Winter (Feb und Dez 1988 und Jan, Feb 1989).

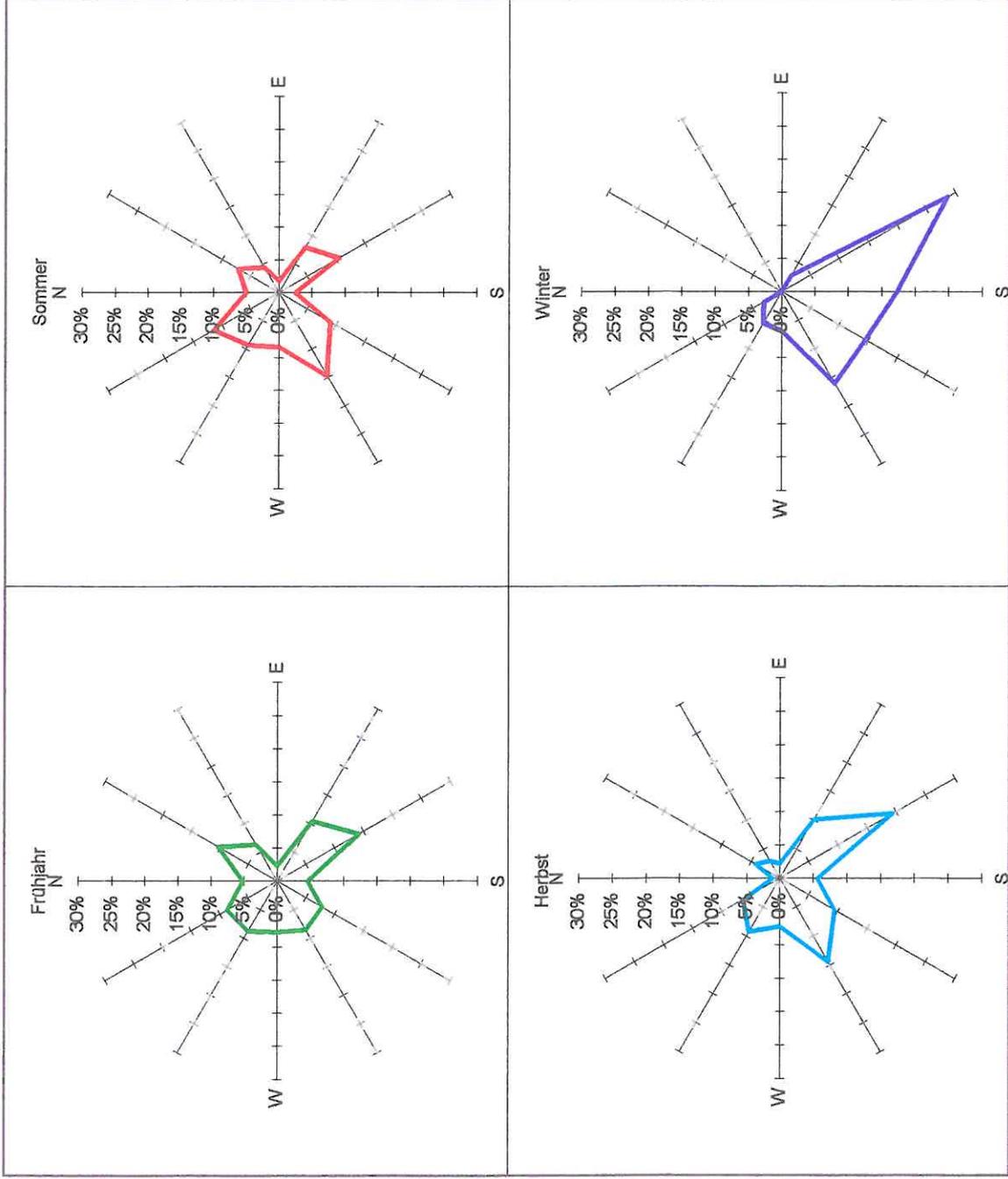


Abb.3.8: Windrichtungsverteilung an der Station Hafen-NE (Nr. 10). Relative Häufigkeit der Windrichtungen in % nach 30-Grad-Klassen. Zeitraum: Frühjahr (Mär, Apr, Mai 1988 und 1989), Sommer (Jun, Jul, Aug 1988 und 1989), Herbst (Sep, Okt, Nov 1988); Winter (Feb und Dez 1988 und Jan, Feb 1989).

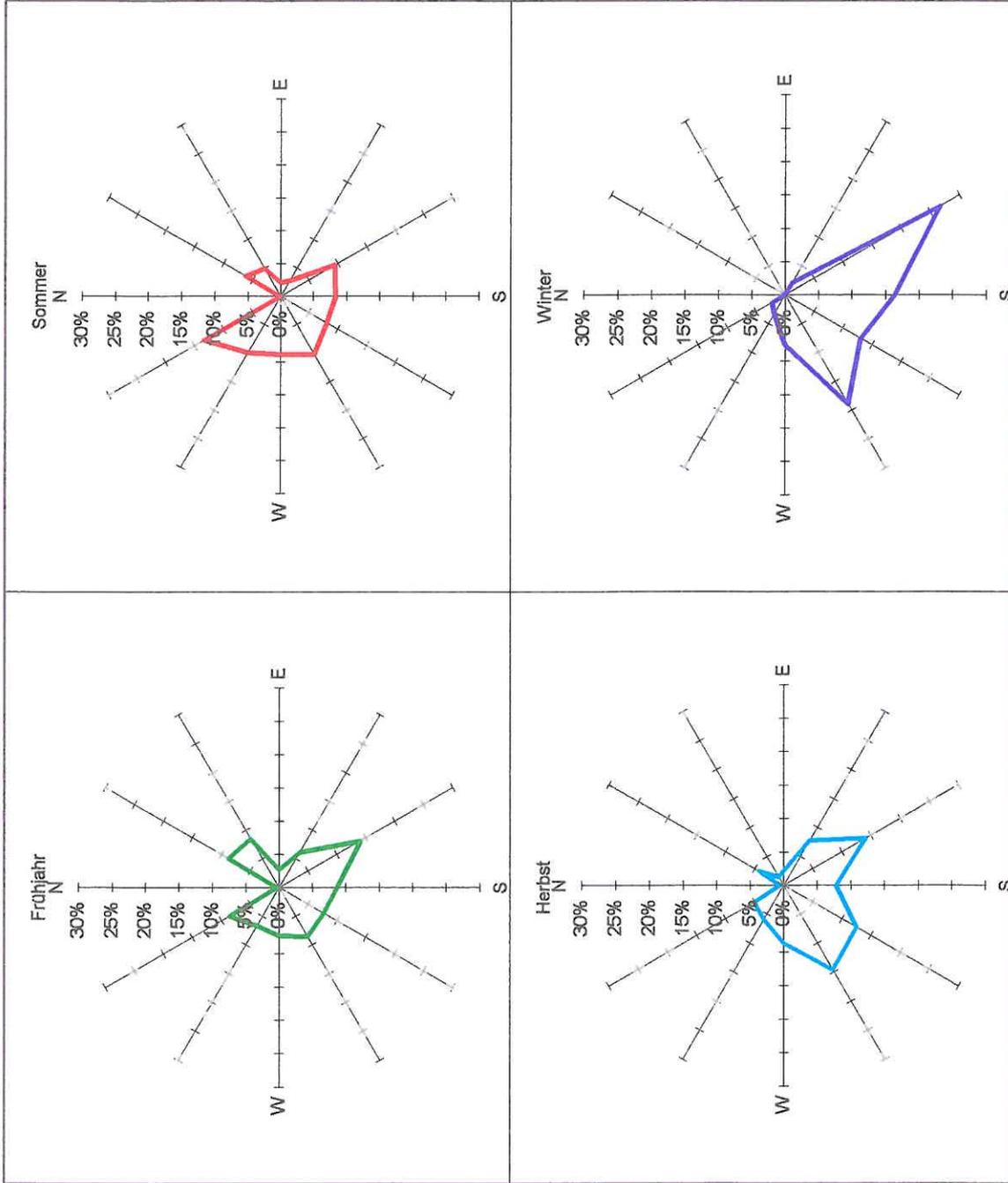


Abb.3.9: Windrichtungsverteilung an der Station Rennbahn (Nr. 11). Relative Häufigkeit der Windrichtungen in Prozent nach 30-Grad-Klassen. Zeitraum: Frühjahr (Mär, Apr, Mai 1988 und 1989), Sommer (Jun, Jul, Aug 1988 und 1989), Herbst (Sep, Okt, Nov 1988); Winter (Feb und Dez 1988 und Jan, Feb 1989).

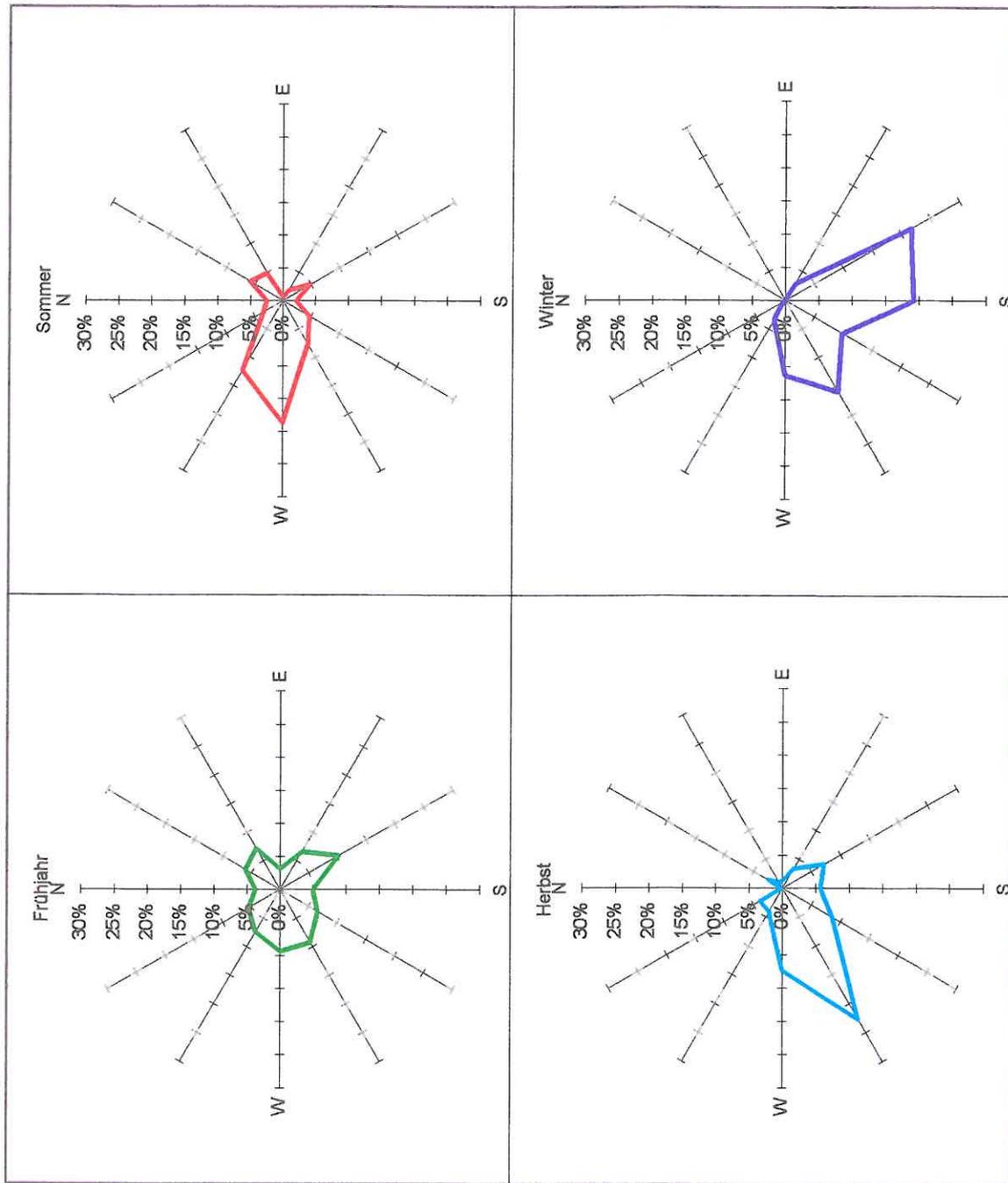


Abb.3.10: Windrichtungsverteilung an der Station Efft (Nr. 12). Relative Häufigkeit der Windrichtungen in Prozent nach 30-Grad-Klassen. Zeitraum: Frühjahr (Mär, Apr, Mai 1988 und 1989), Sommer (Jun, Jul, Aug 1988 und 1989), Herbst (Sep, Okt, Nov 1988); Winter (Feb und Dez 1988 und Jan, Feb 1989).

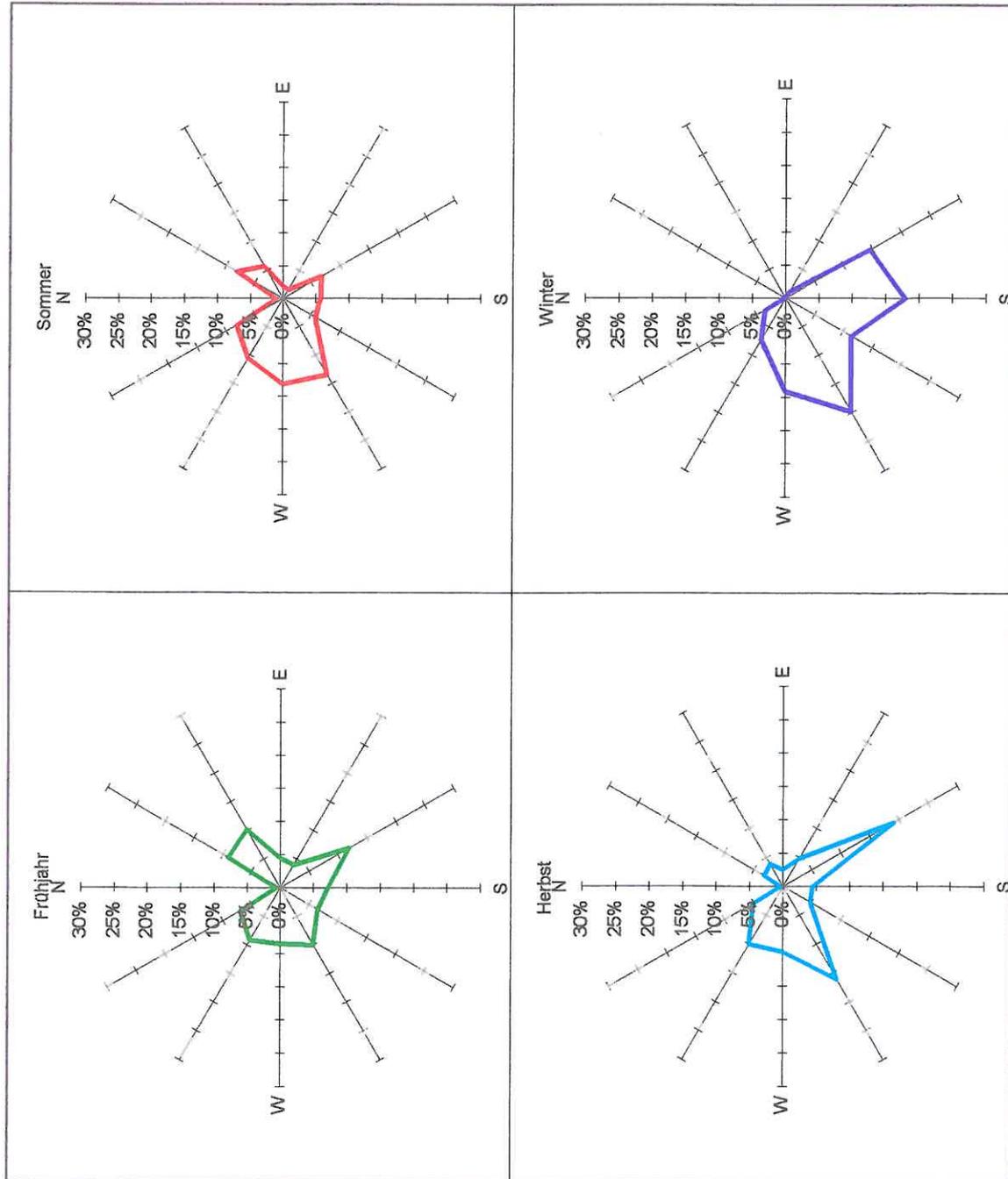


Abb.3.11: Windrichtungsverteilung an der Station Stadtwald (Nr. 13). Relative Häufigkeit der Windrichtungen in Prozent nach 30-Grad-Klassen. Zeitraum: Frühjahr (Mär, Apr, Mai 1988 und 1989), Sommer (Jun, Jul, Aug 1988 und 1989), Herbst (Sep, Okt, Nov 1988); Winter (Feb und Dez 1988 und Jan, Feb 1989).

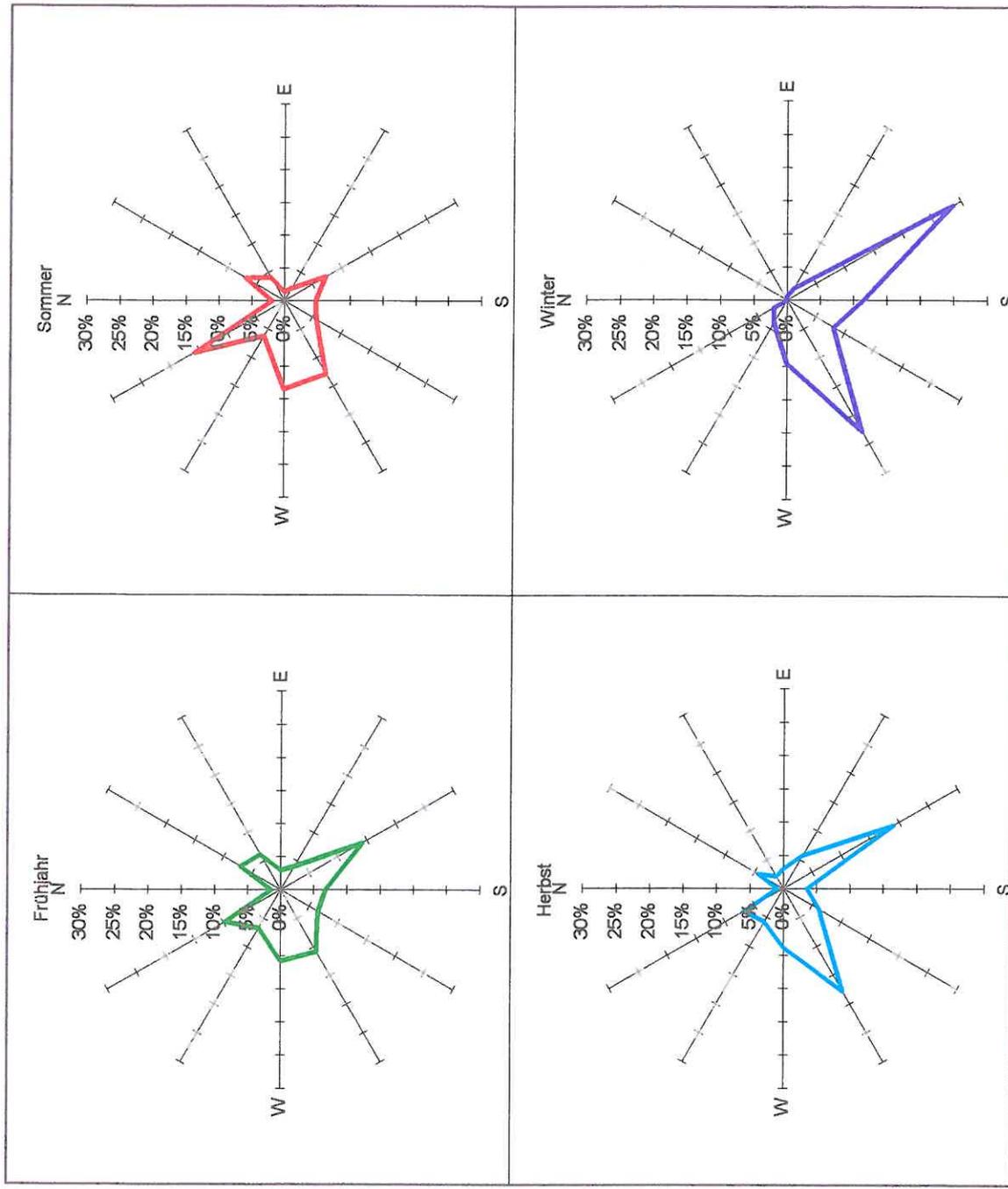


Abb.3.12: Windrichtungsverteilung an der Station Uedesheim (Nr. 14). Relative Häufigkeit der Windrichtungen in Prozent nach 30-Grad-Klassen. Zeitraum: Frühjahr (Mär, Apr, Mai 1988 und 1989), Sommer (Jun, Jul, Aug 1988 und 1989), Herbst (Sep, Okt, Nov 1988); Winter (Feb und Dez 1988 und Jan, Feb 1989).

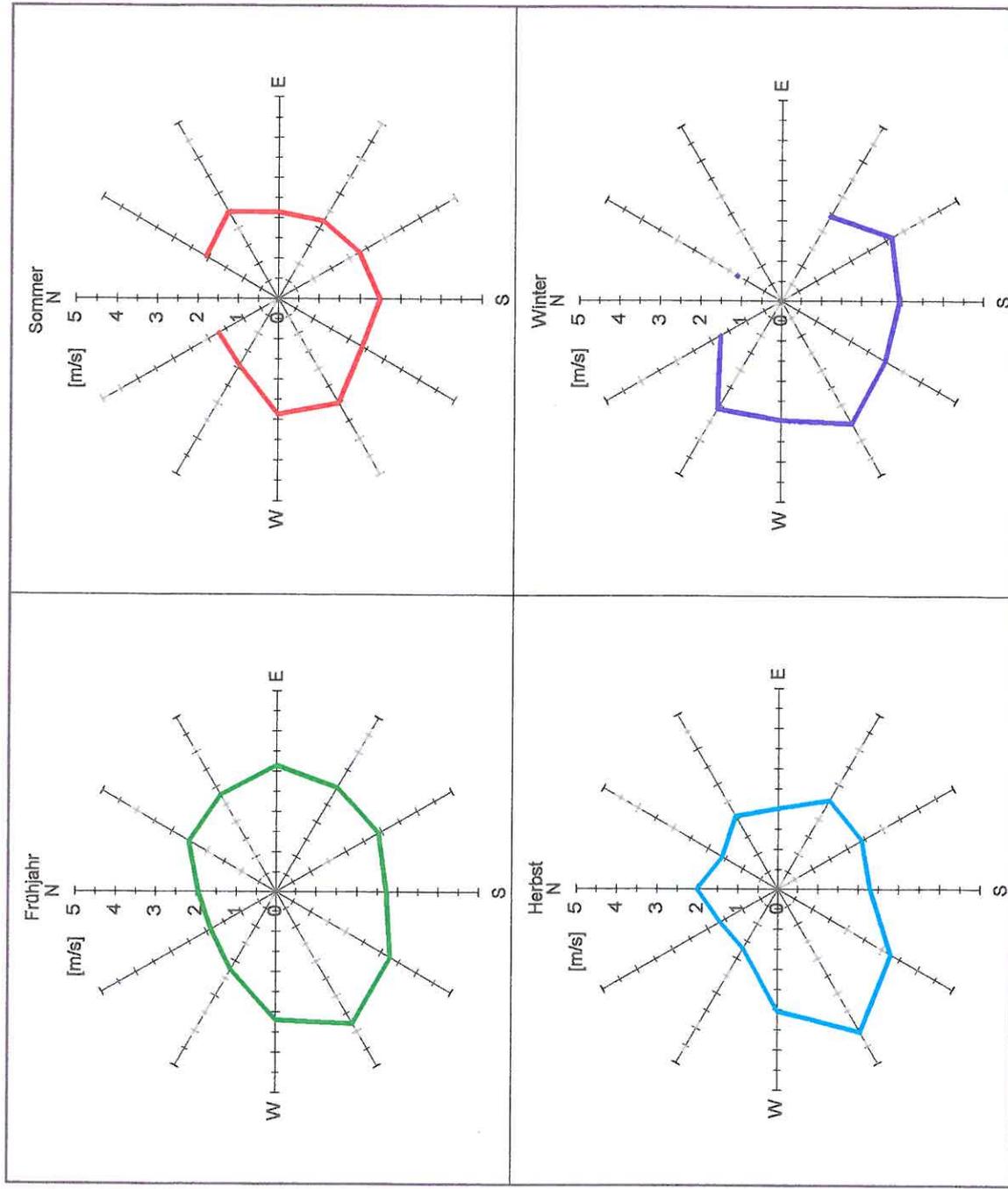


Abb.3.13: Windgeschwindigkeitwindrose der Station Industriegebiet-N (Nr. 9). Zeitraum: Frühjahr (Mär, Apr, Mai 1988 und 1989), Sommer (Jun, Jul, Aug 1988 und 1989); Herbst (Sep, Okt, Nov 1988); Winter (Feb und Dez 1988 und Jan, Feb 1989).

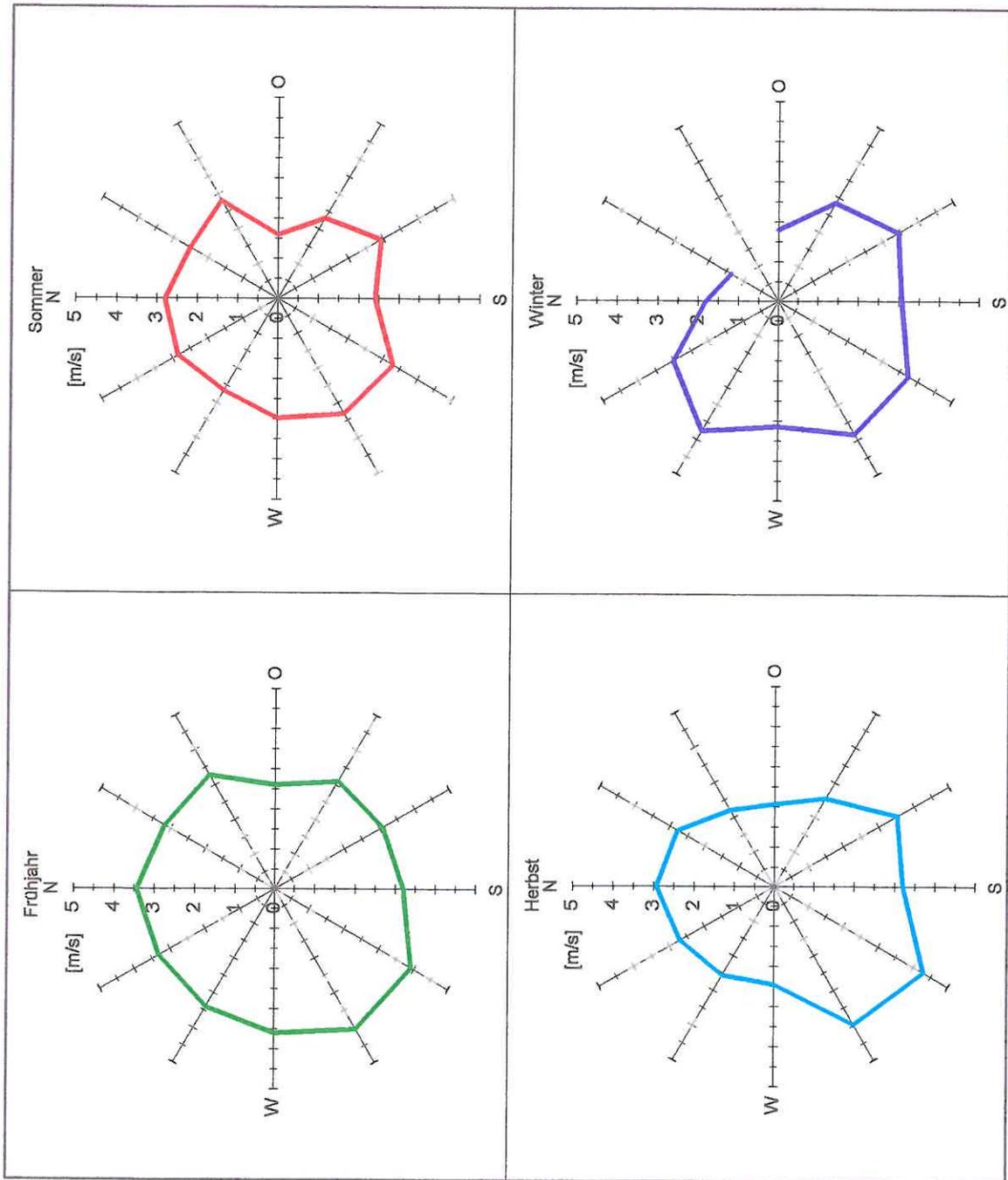


Abb.3.14: Windgeschwindigkeitswindrose der Station Hafen (Nr. 10). Zeitraum: Frühjahr (Mär, Apr, Mai 1988 und 1989), Sommer (Jun, Jul, Aug 1988 und 1989); Herbst (Sep, Okt, Nov 1988); Winter (Feb und Dez 1988 und Jan, Feb 1989).

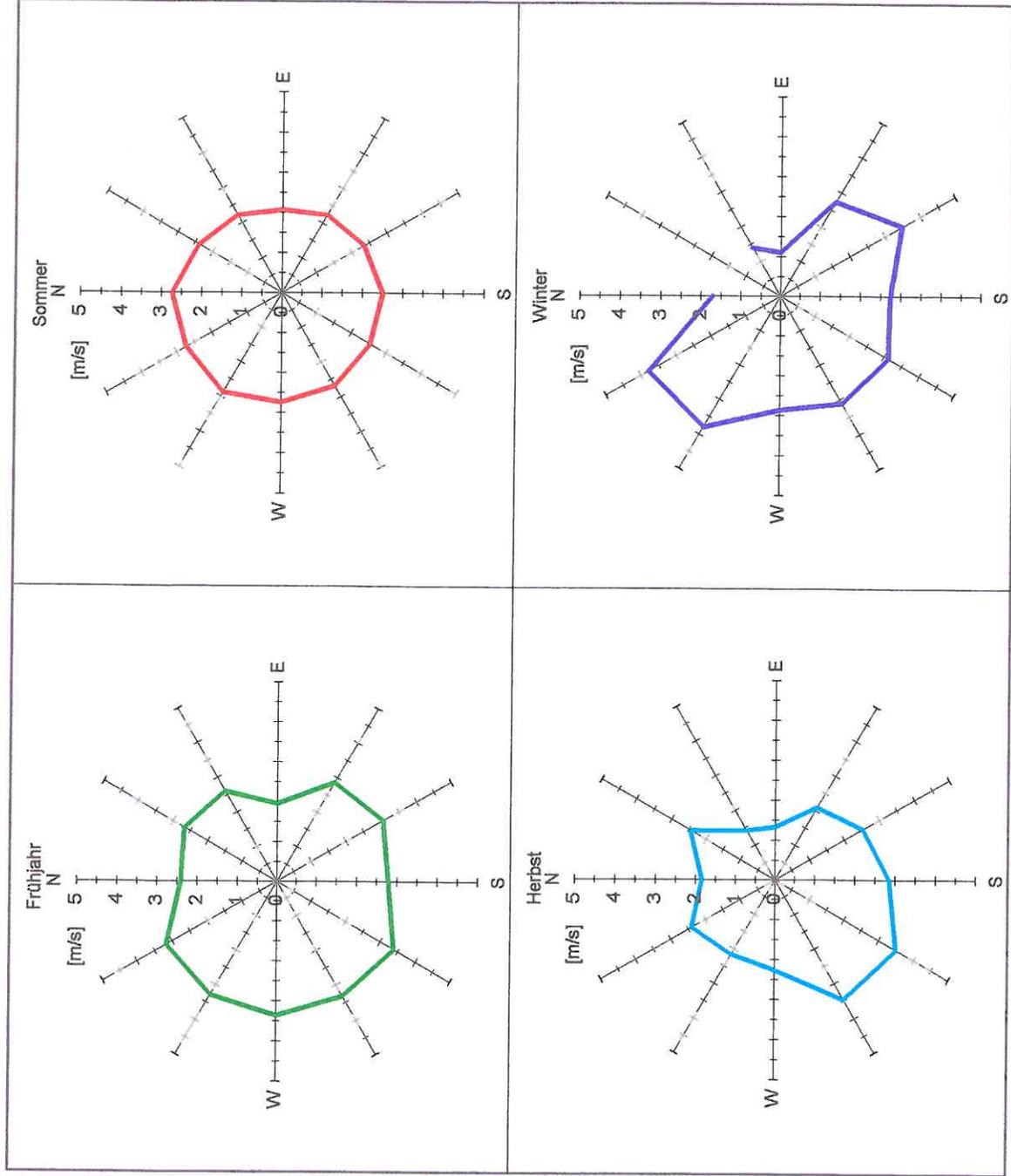


Abb.3.15: Windgeschwindigkeitswindrose der Station Rennbahn (Nr. 11). Zeitraum: Frühjahr (Mär, Apr, Mai 1988 und 1989), Sommer (Jun, Jul, Aug 1988 und 1989); Herbst (Sep, Okt, Nov 1988); Winter (Feb und Dez 1988 und Jan, Feb 1989).

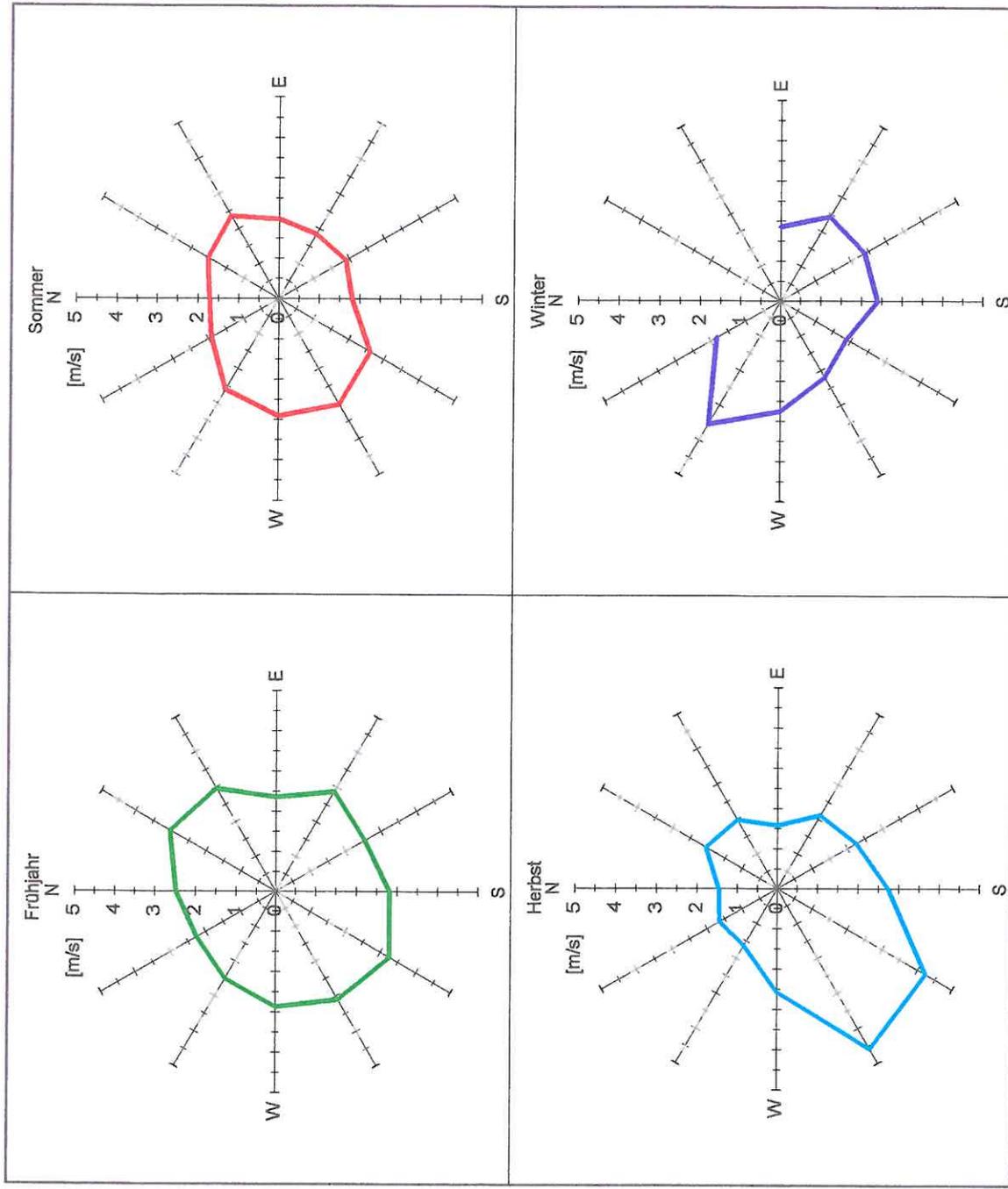


Abb.3.16: Windgeschwindigkeitswindrose der Station Erft (Nr. 12). Zeitraum: Frühjahr (Mär, Apr, Mai 1988 und 1989), Sommer (Jun, Jul, Aug 1988 und 1989); Herbst (Sep, Okt, Nov 1988); Winter (Feb und Dez 1988 und Jan, Feb 1989).

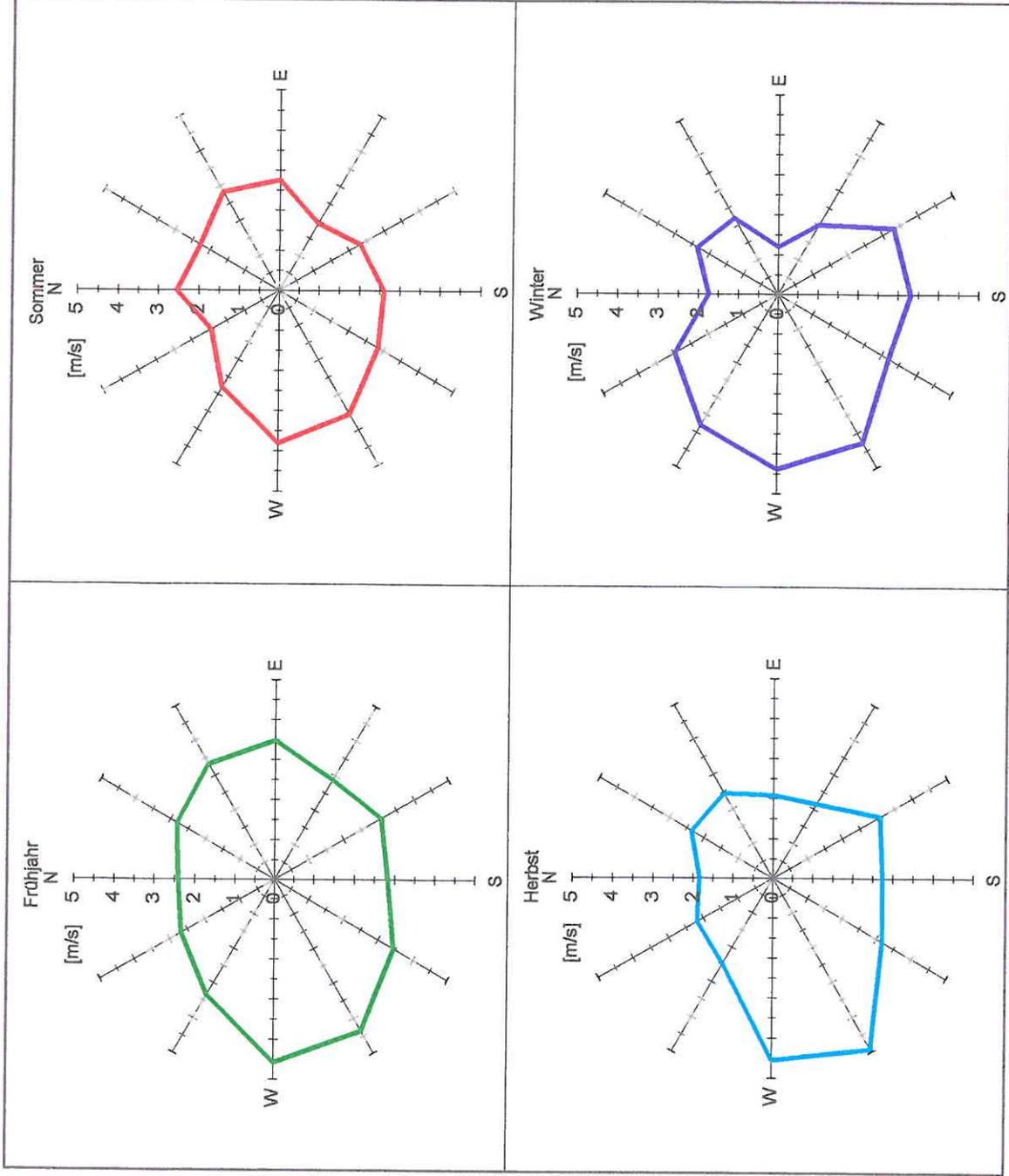


Abb.3.17: Windgeschwindigkeitwindrose der Station Stadtwald (Nr. 13). Zeitraum: Fröhjahr (Mär, Apr, Mai 1988 und 1989), Sommer (Jun, Jul, Aug 1988 und 1989); Herbst (Sep, Okt, Nov 1988); Winter (Feb und Dez 1988 und Jan, Feb 1989).

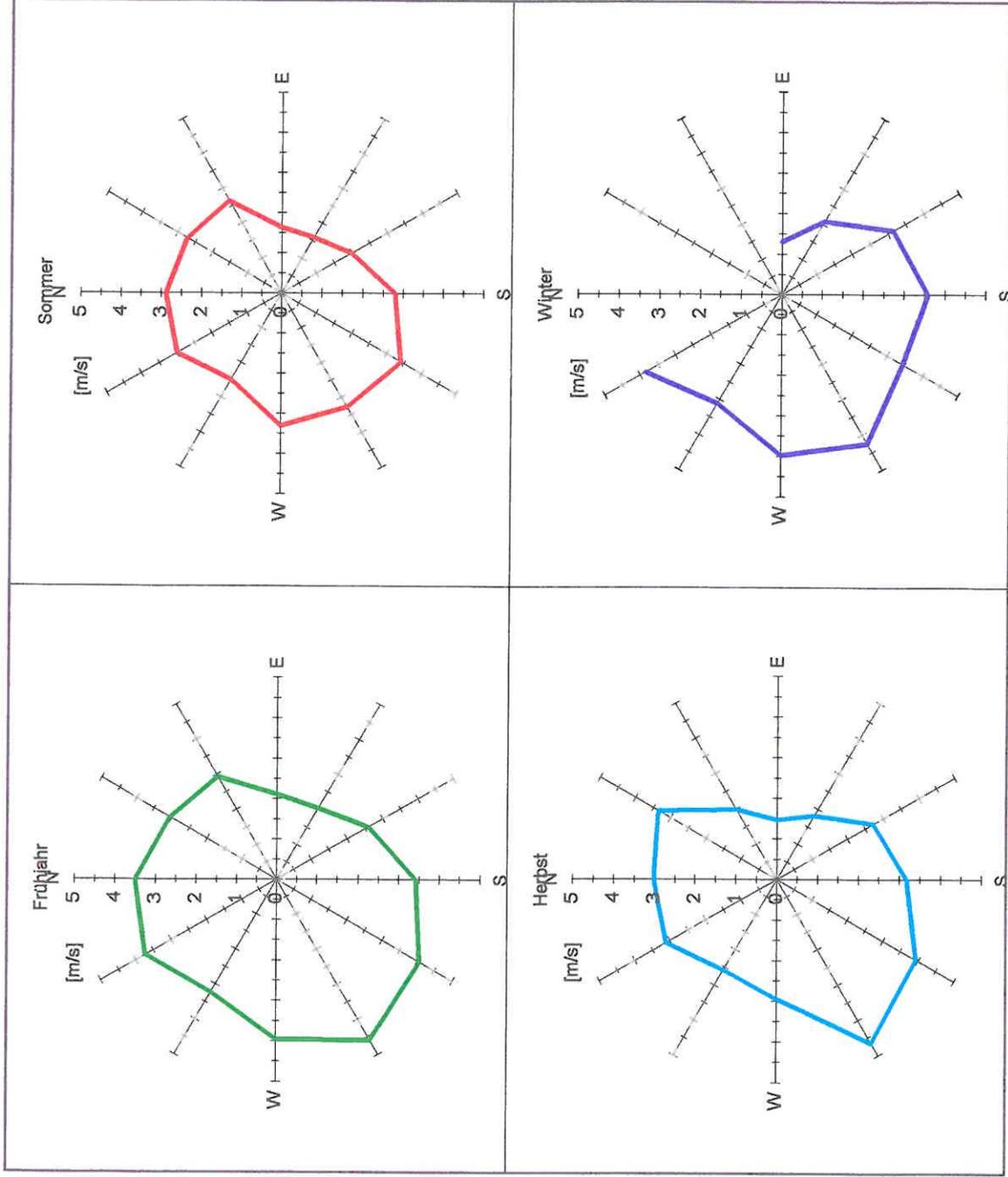


Abb.3.18: Windgeschwindigkeitswindrose der Station Uedesheim (Nr. 14). Zeitraum: Frühjahr (Mär, Apr, Mai 1988 und 1989), Sommer (Jun, Jul, Aug 1988 und 1989); Herbst (Sep, Okt, Nov 1988); Winter (Feb und Dez 1988 und Jan, Feb 1989).

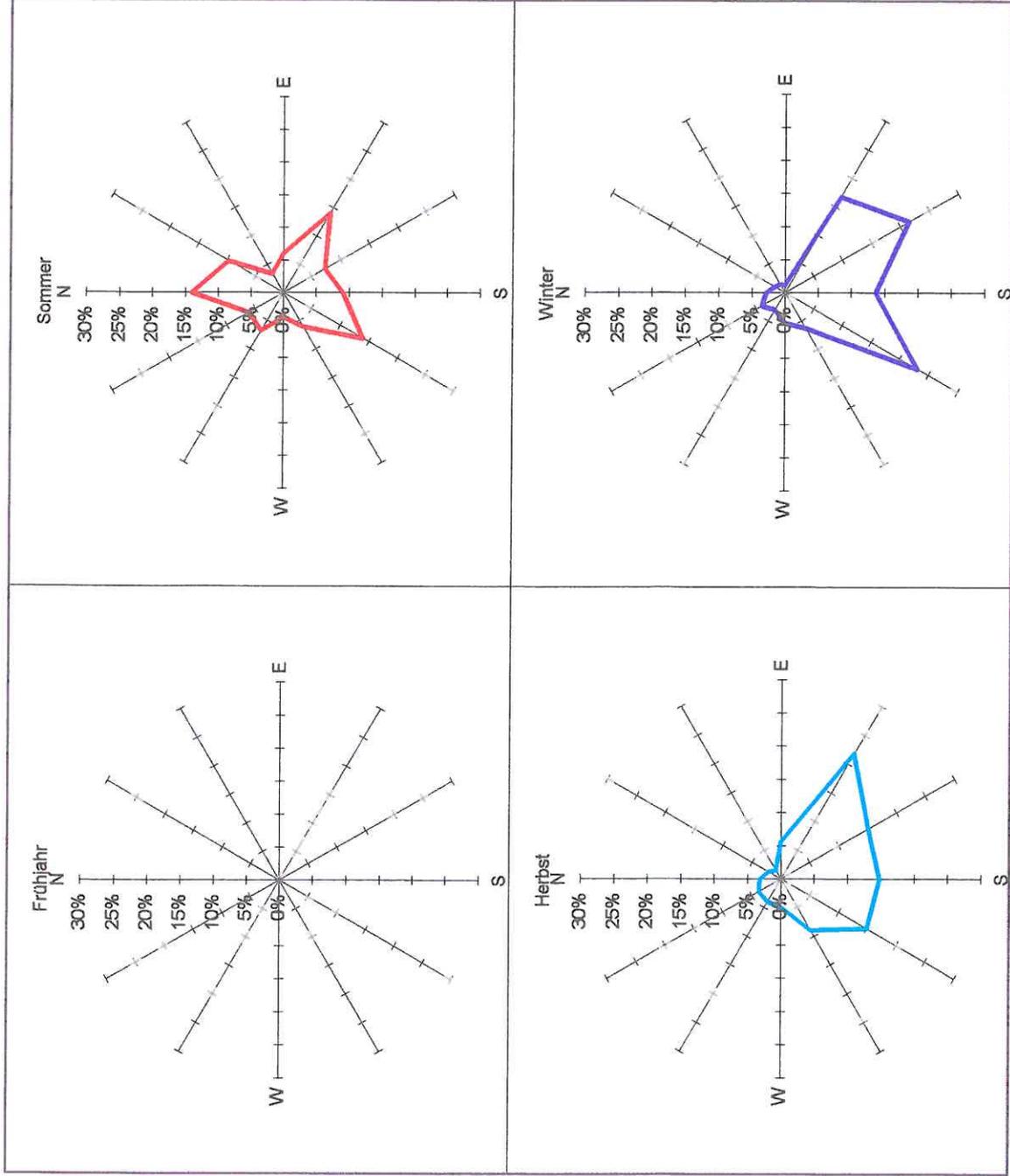


Abb.3.19: Windrichtungsverteilung an der Station Grimlinghausen. Relative Häufigkeit der Windrichtungen in Prozent nach 30-Grad-Klassen. Zeitraum: Frühjahr (keine Meßwerte), Sommer (Jul, Aug 1994); Herbst (Sep, Okt, Nov 1994); Winter (Dez 1994 und Jan, Feb 1995).

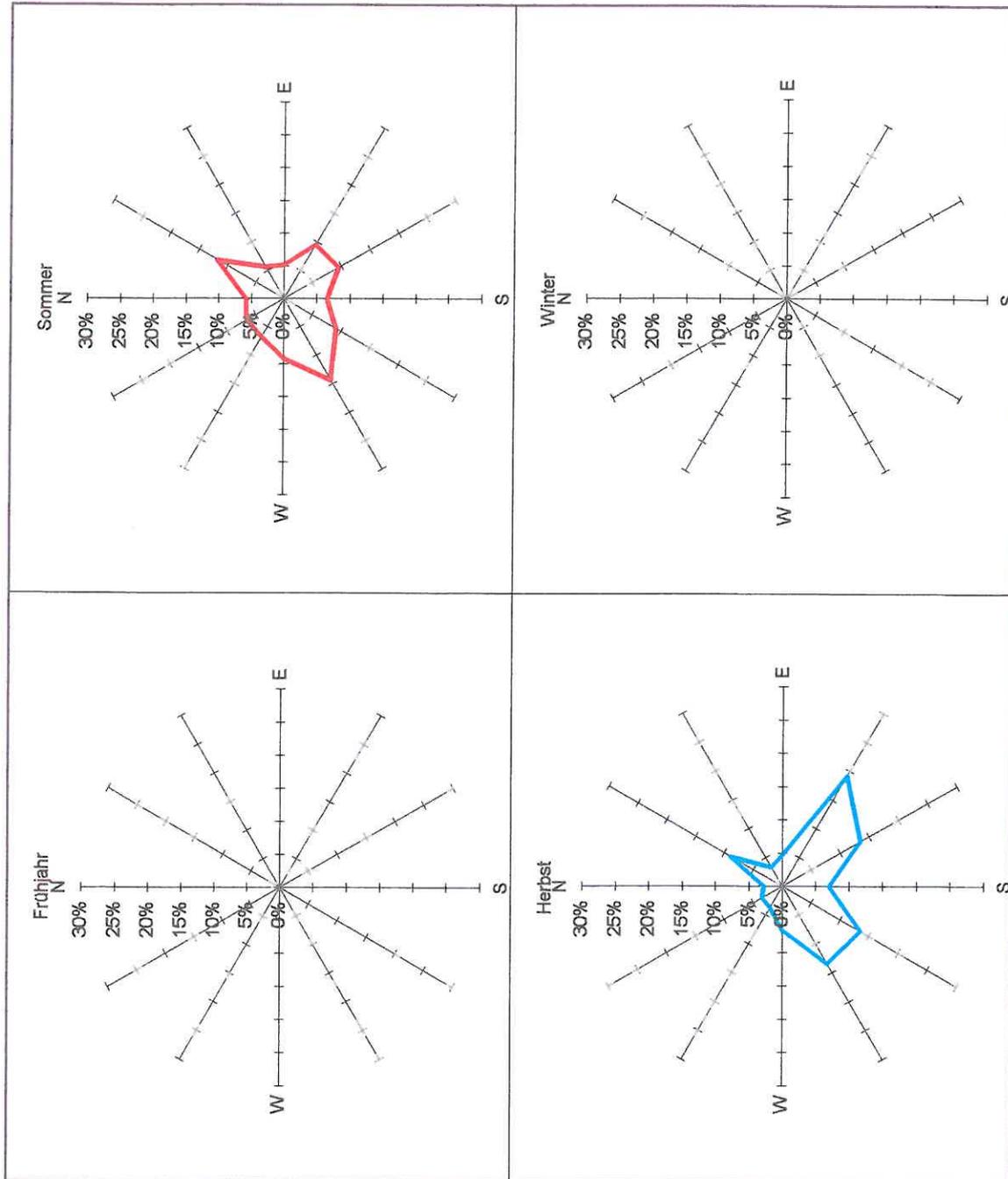


Abb. 3.20: Windrichtungsverteilung an der Station Holzheim. Relative Häufigkeit der Windrichtungen in Prozent nach 30-Grad-Klassen. Zeitraum: Frühjahr (keine Meßwerte), Sommer (Jul, Aug 1994); Herbst (Sep, Okt, Nov 1994); Winter (keine Meßwerte).

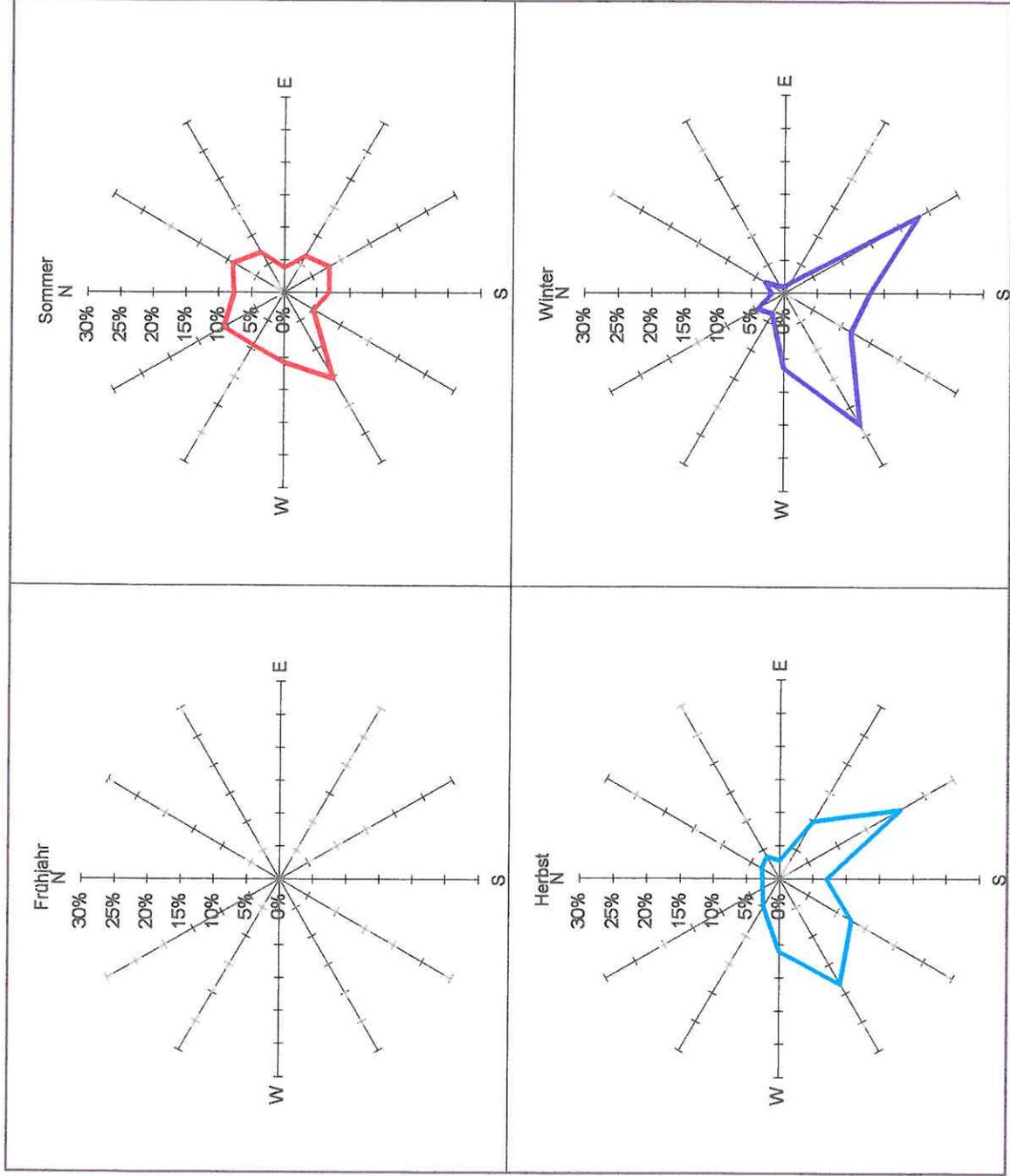


Abb.3.21: Windrichtungsverteilung an der Station Morgensternsheide. Relative Häufigkeit der Windrichtungen in Prozent nach 30-Grad-Klassen. Zeitraum: Frühjahr (keine Meßwerte), Sommer (Jul, Aug 1994); Herbst (Sep, Okt, Nov 1994); Winter (Dez 1994 und Jan, Feb 1995).

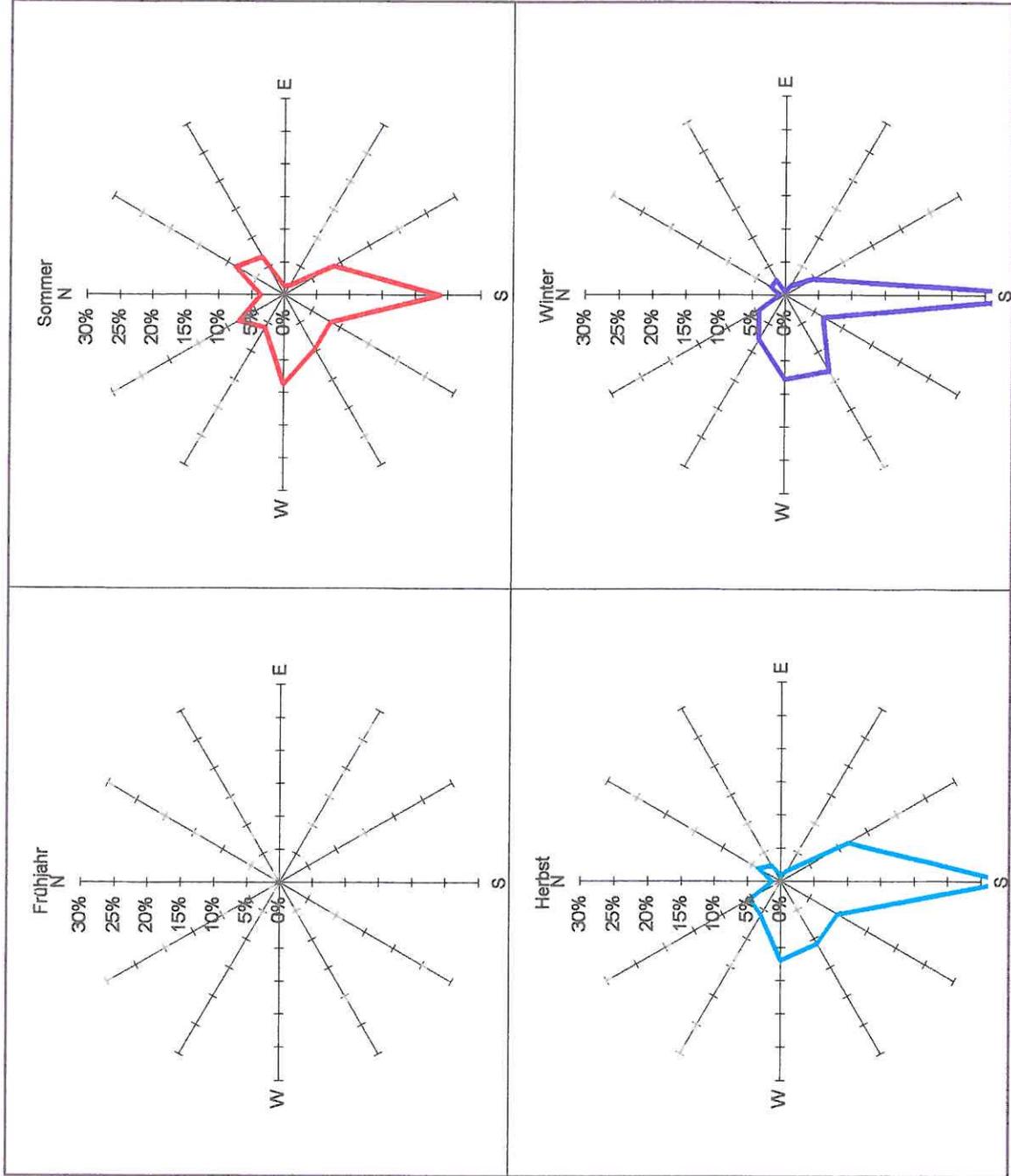


Abb.3.22: Windrichtungsverteilung an der Station Rhein. Relative Häufigkeit der Windrichtungen in Prozent nach 30-Grad-Klassen. Zeitraum: Frühjahr (keine Meßwerte), Sommer (Jul, Aug 1994); Herbst (Sep, Okt, Nov 1994); Winter (Dez 1994 und Jan, Feb 1995).

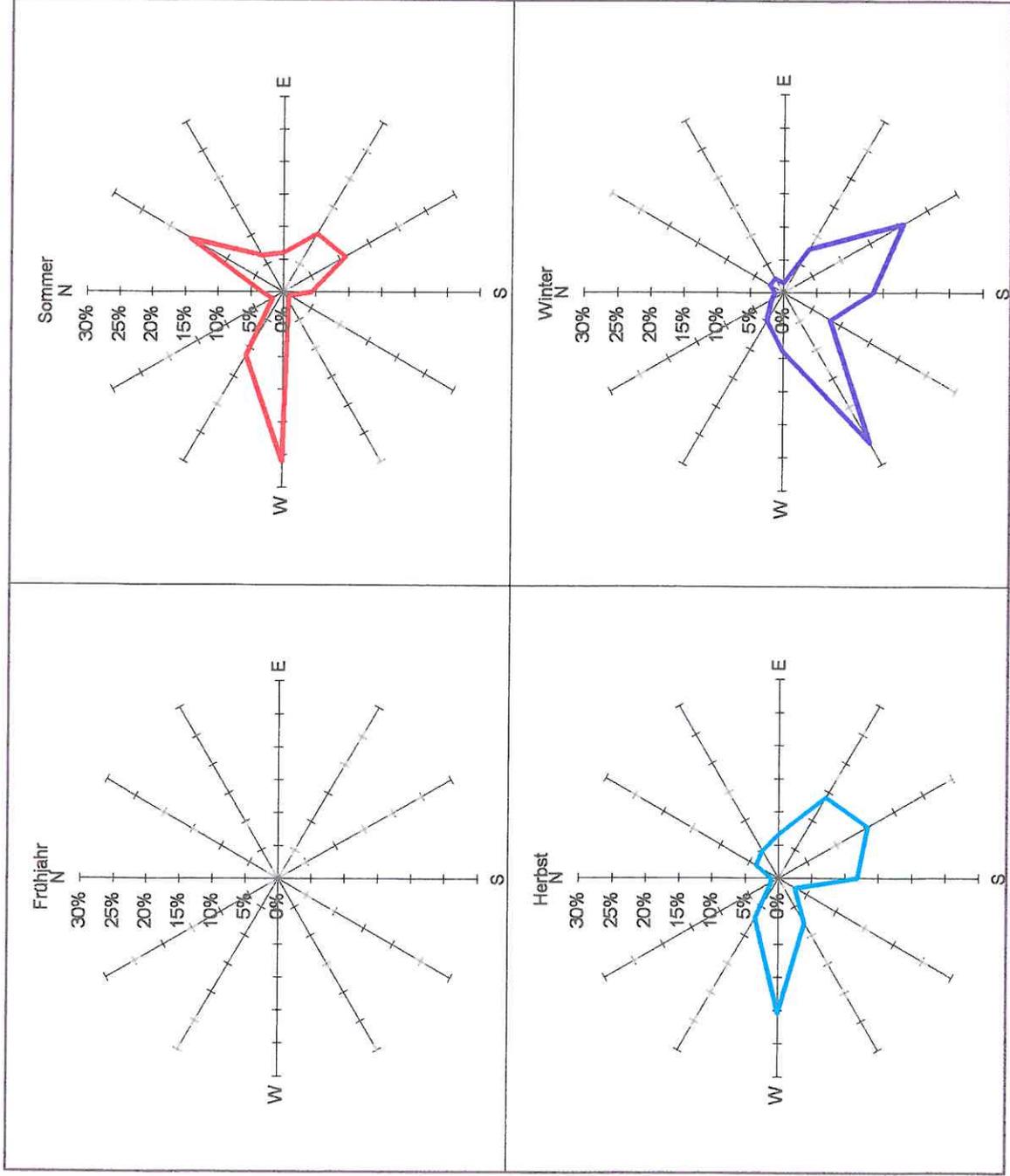


Abb.3.23: Windrichtungsverteilung an der Station Selikum. Relative Häufigkeit der Windrichtungen in Prozent nach 30-Grad-Klassen. Zeitraum: Frühjahr (keine Meßwerte), Sommer (Jul, Aug 1994); Herbst (Sep, Okt, Nov 1994); Winter (Dez 1994 und Jan, Feb 1995).

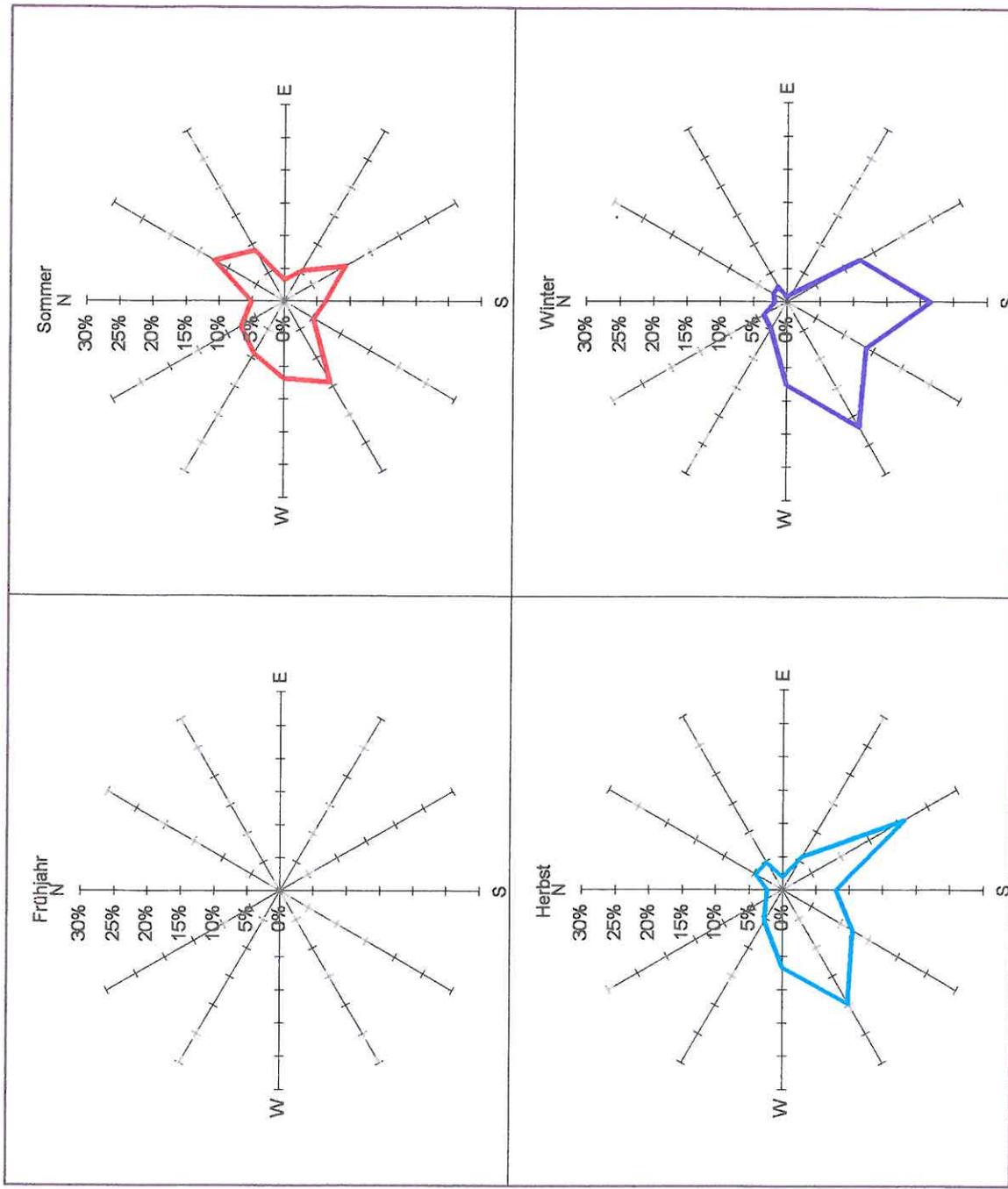


Abb.3.24: Windrichtungsverteilung an der Station Vogelsang. Relative Häufigkeit der Windrichtungen in Prozent nach 30-Grad-Klassen. Zeitraum: Frühjahr (keine Meßwerte), Sommer (Jul, Aug 1994); Herbst (Sep, Okt, Nov 1994); Winter (Dez 1994 und Jan, Feb 1995).

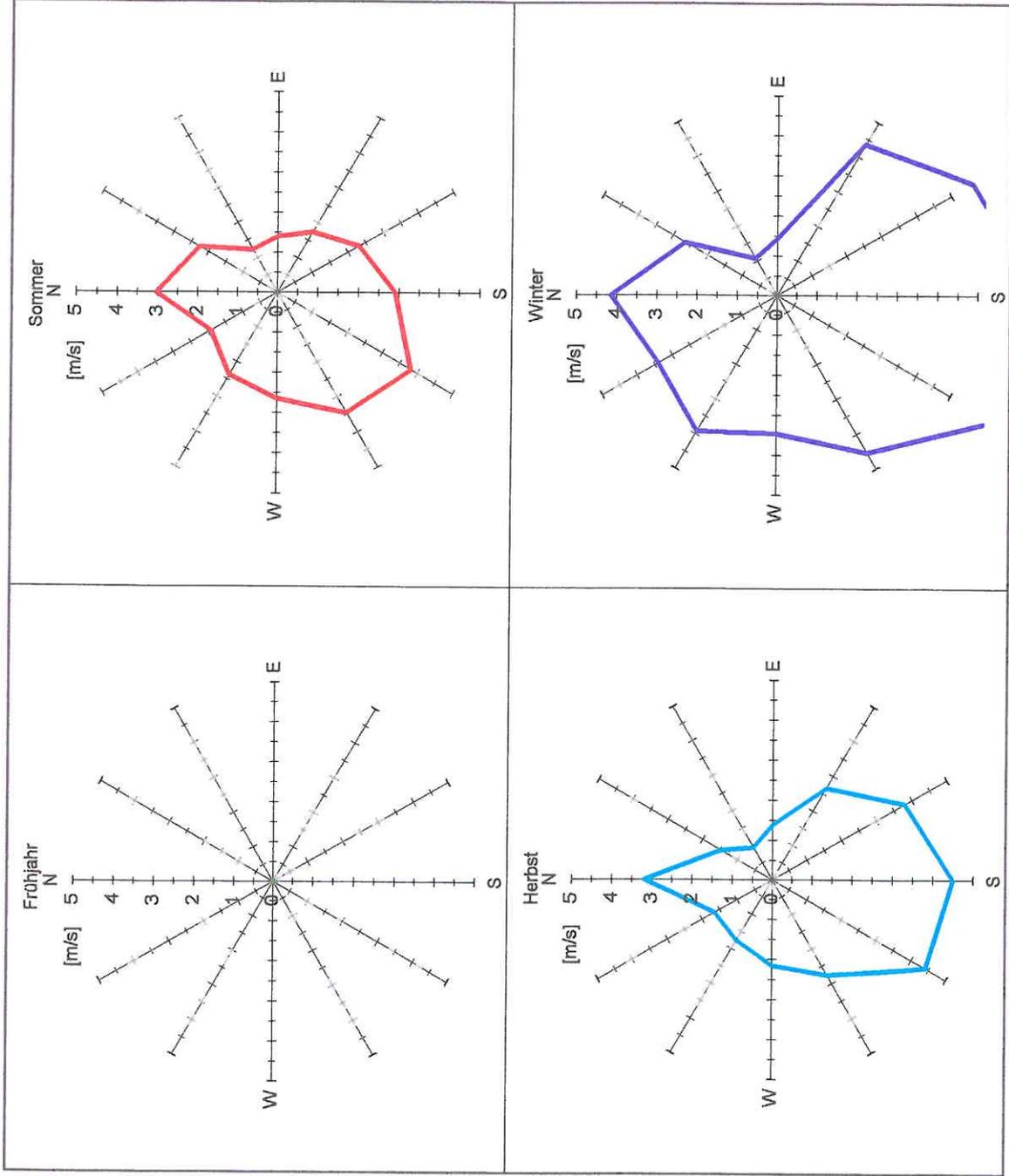


Abb.3.25: Windgeschwindigkeitwindrose der Station Grimlinghausen. Zeitraum: Frühjahr (keine Meßwerte), Sommer (Jul, Aug 1994); Herbst (Sep, Okt, Nov 1994); Winter (Dez 1994 und Jan, Feb 1995).

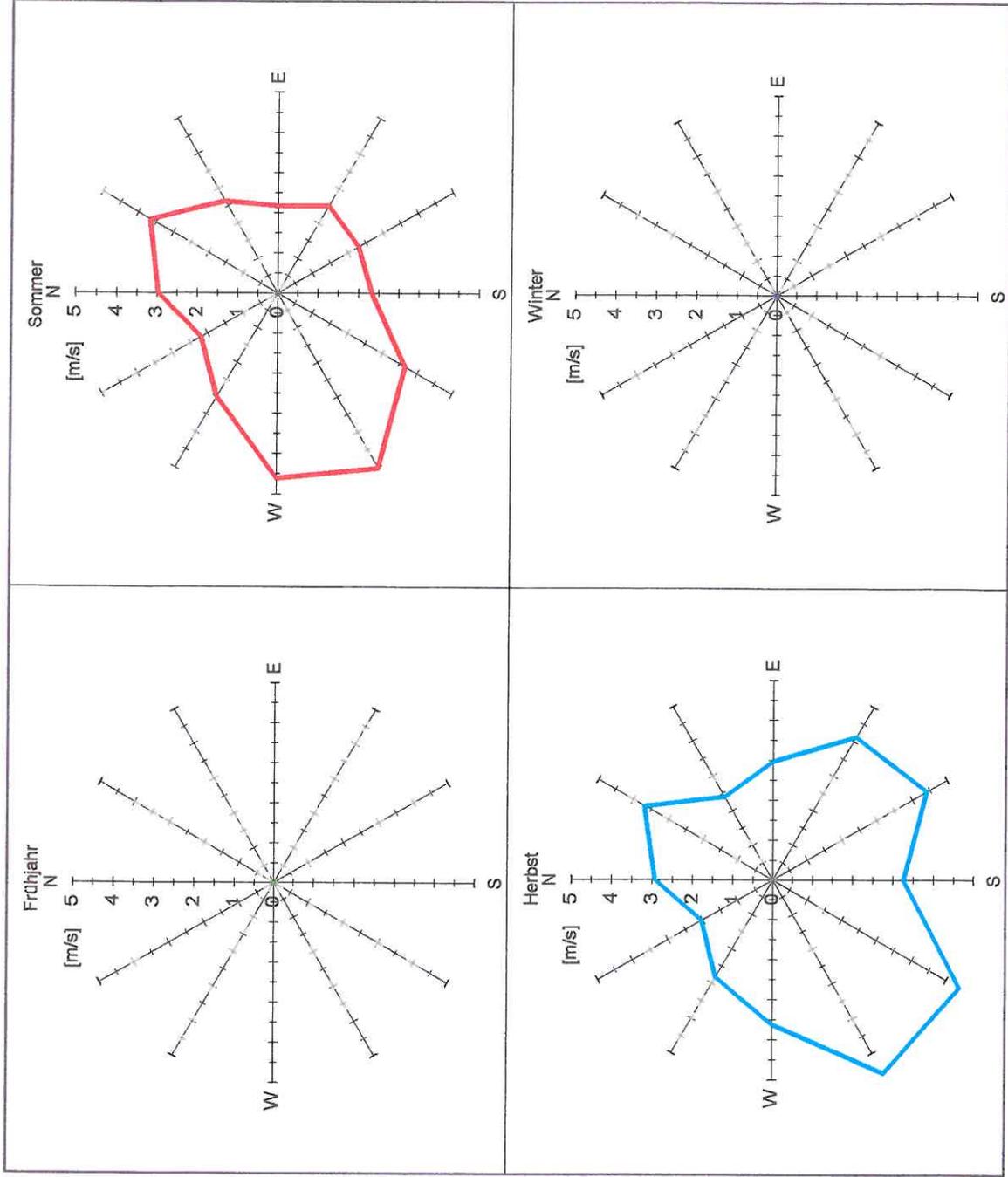


Abb.3.26: Windgeschwindigkeitswindrose der Station Holzheim. Zeitraum: Frühjahr (keine Meßwerte), Sommer (Jul, Aug 1994); Herbst (Sep, Okt, Nov 1994); Winter (keine Werte).

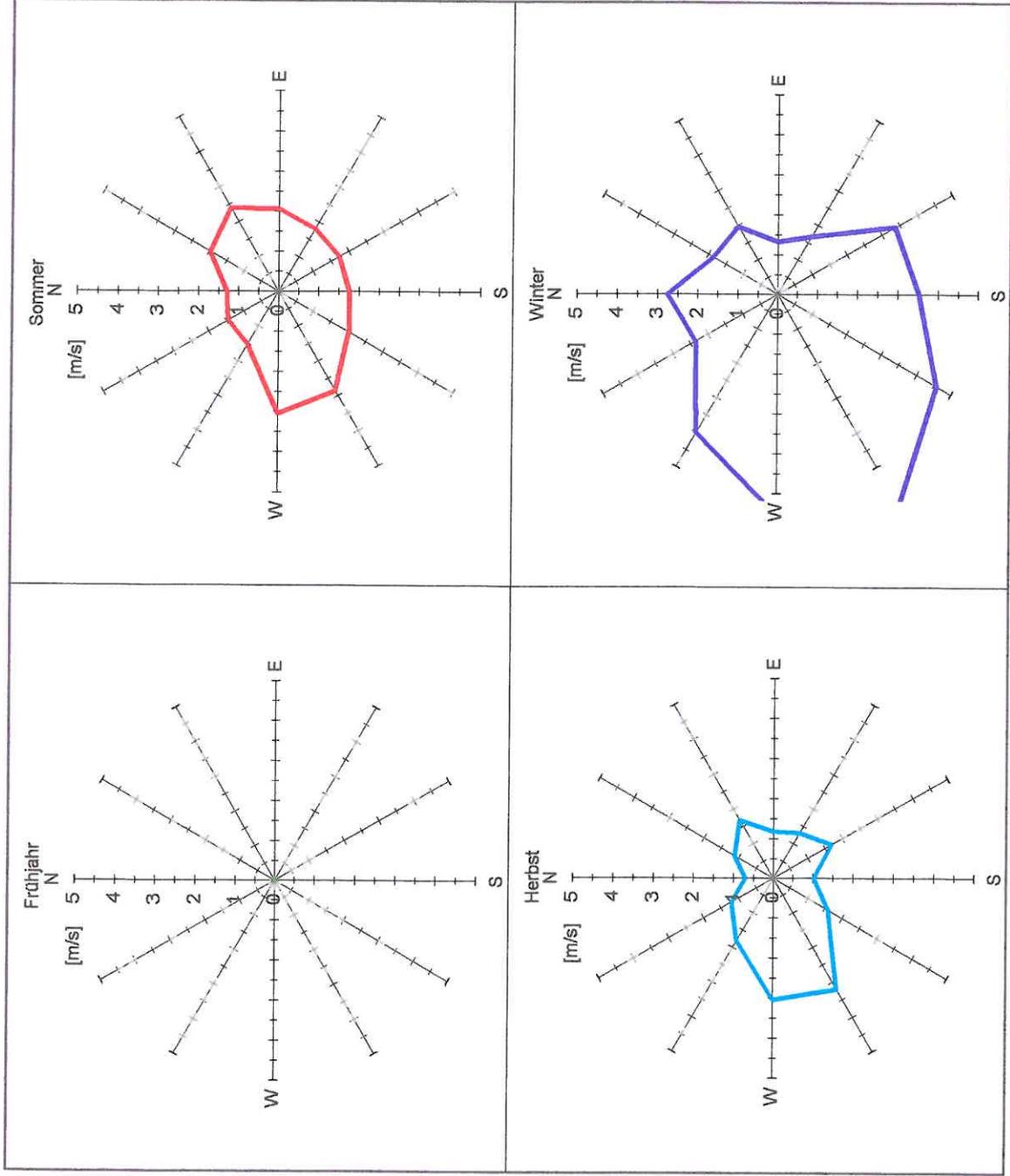


Abb.3.27: Windgeschwindigkeitswindrose der Station Morgensternsheide. Zeitraum: Frühjahr (keine Meßwerte), Sommer (Jul, Aug 1994); Herbst (Sep, Okt, Nov 1994); Winter (Dez 1994 und Jan, Feb 1995).

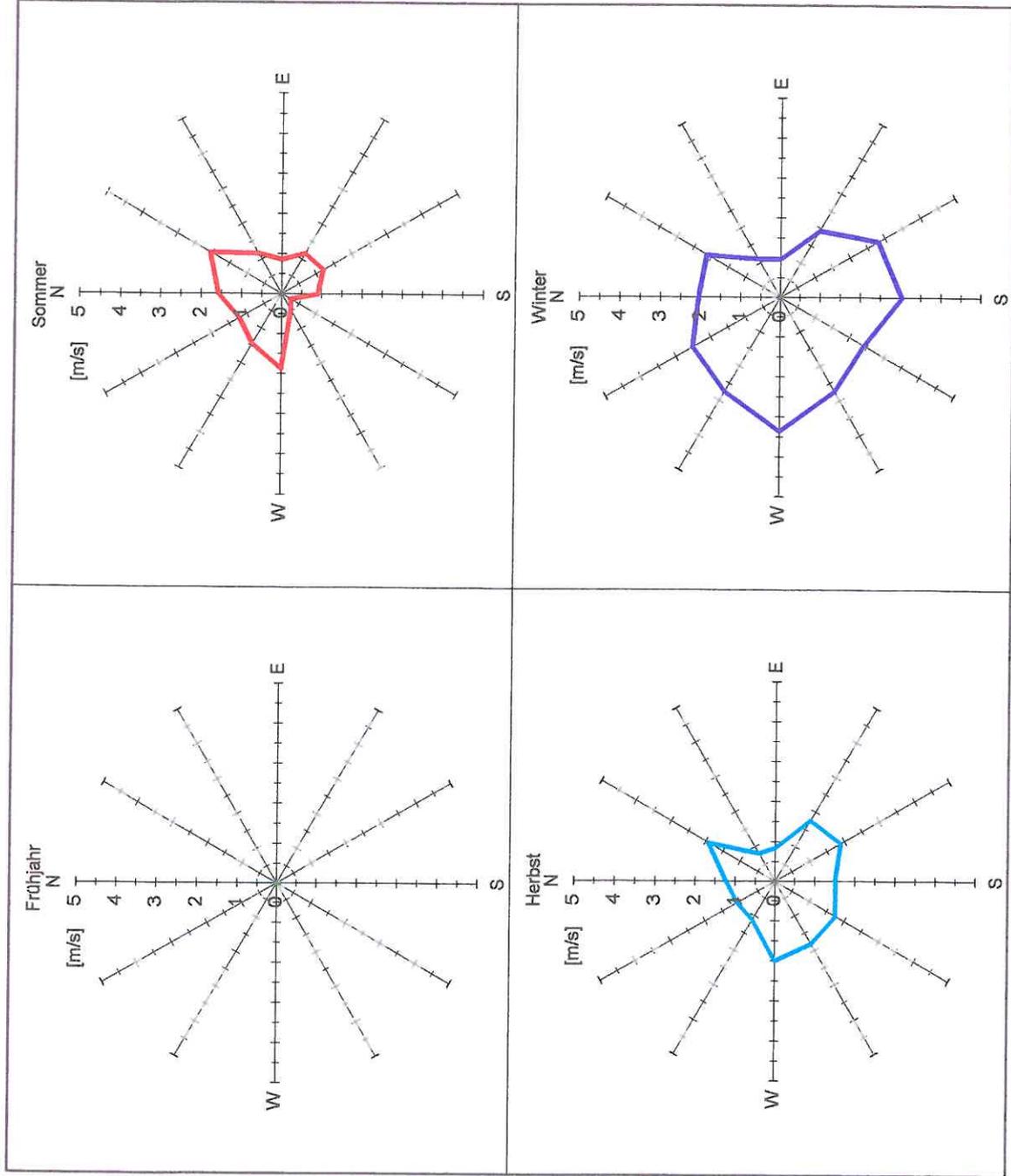


Abb.3.29: Windgeschwindigkeitswindrose der Station Seilkum. Zeitraum: Frühjahr (keine Meßwerte), Sommer (Jul, Aug 1994); Herbst (Sep, Okt, Nov 1994); Winter (Dez 1994 und Jan, Feb 1995).

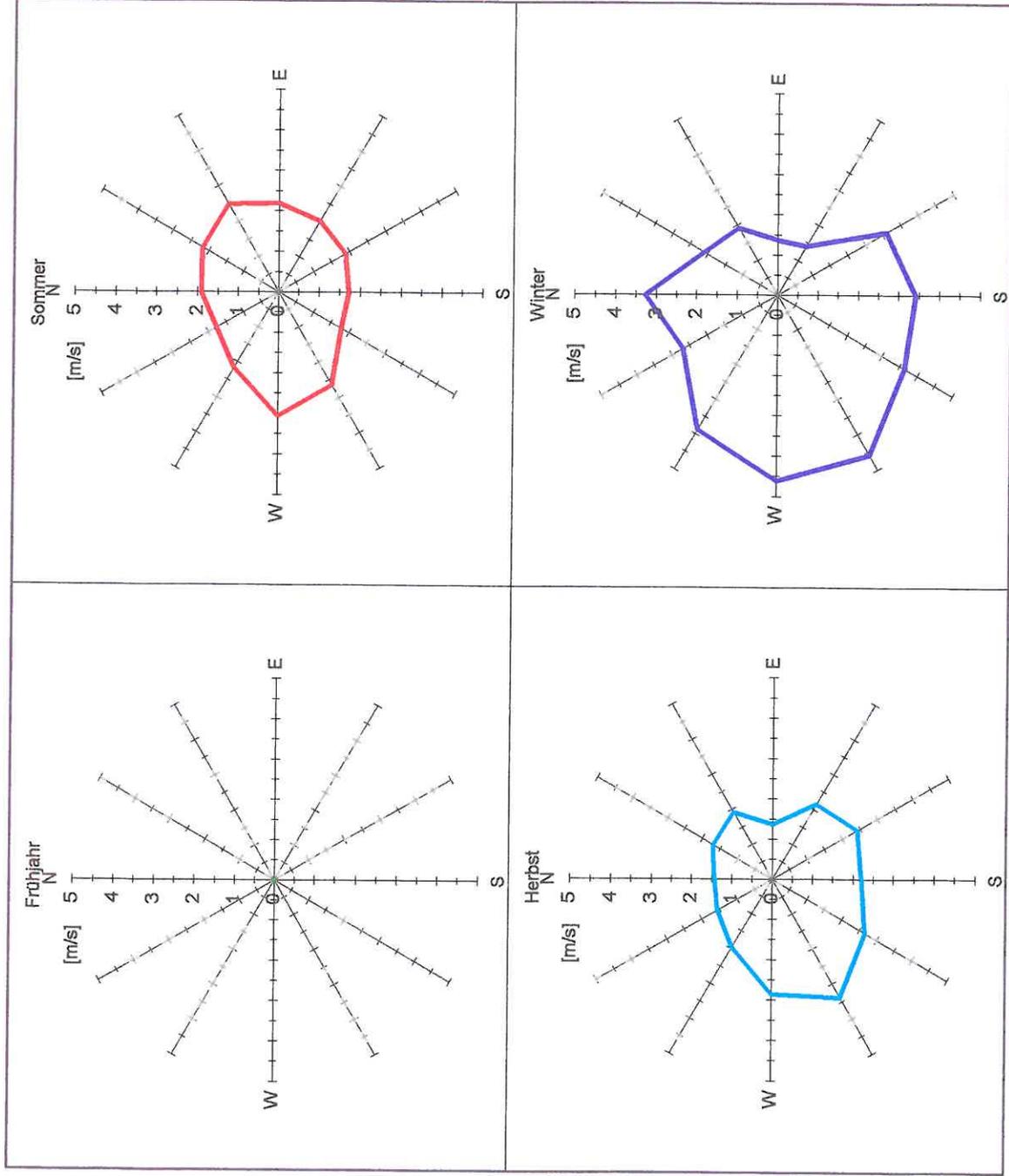


Abb. 3.30: Windgeschwindigkeitswindrose der Station Vogelsang. Zeitraum: Frühjahr (keine Meßwerte), Sommer (Jul, Aug 1994); Herbst (Sep, Okt, Nov 1994); Winter (Dez 1994 und Jan, Feb 1995).