

## 4 EINFLÜSSE AUF DIE LUFTGÜTE IN WIEN

### 4.1 Meteorologische Einflüsse auf die Luftqualität in Wien

Auf die große Bedeutung der meteorologischen Verhältnisse für die Schadstoffbelastung in der bodennahen Atmosphäre wurde bereits in Kapitel 2.3 eingegangen. Im vorliegenden Kapitel werden einige meteorologische Einflussfaktoren von besonderer Bedeutung für die Schadstoffsituation in Wien explizit herausgearbeitet, wobei neben qualitativen Überlegungen insbesondere quantitative Ergebnisse angestrebt werden.

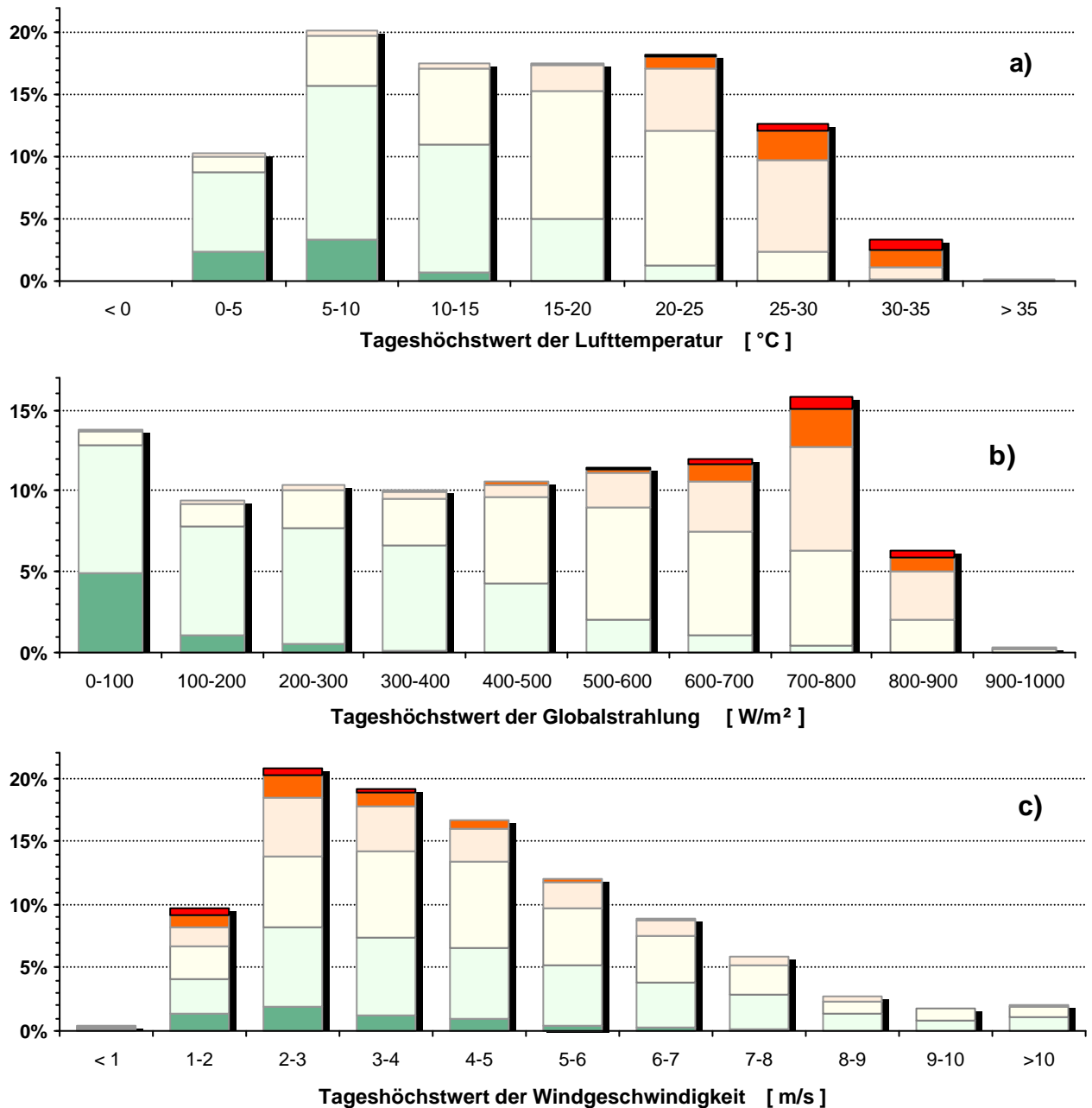
#### 4.1.1 Einflüsse auf die Ozonbelastung

Abbildung 4.1 liefert Hinweise zur Bedeutung der Lufttemperatur, Globalstrahlung sowie Windgeschwindigkeit auf die Ozonbelastung (Tageshöchstwerte in den Jahren 1988 - 1998) in Wien. Tagesmaxima der Ozonkonzentration von über  $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$  traten nahezu ausschließlich bei Temperaturhöchstwerten über  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , Globalstrahlungsmaxima von zumindest  $600 \text{ W}/\text{m}^2$  sowie Windgeschwindigkeiten von höchstens  $5 \text{ m}/\text{s}$  auf. Diese Verhältnisse, nämlich hohe Lufttemperaturen, geringe Bewölkung und folglich intensive Sonneneinstrahlung bei gleichzeitig geringen Windgeschwindigkeiten treten in Ostösterreich während sommerlicher Hochdruckwetterlagen auf. Währenddessen steigt in Mitteleuropa die Ozon-Hintergrundbelastung kontinuierlich an (Kap. 5.1.1) und zusätzlich kommt es im Einflussbereich von Ballungszentren zu einer ausgeprägten regionalen Ozonbildung (Kap. 4.3).

Bei Tageshöchstwerten der Lufttemperatur von über  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  wurden in Wien stets Ozonkonzentrationen von  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  erreicht. Zumeist lagen die Ozonwerte dann noch deutlich höher. Wenn andererseits der Temperaturanstieg im Tagesverlauf unter  $15 \text{ }^\circ\text{C}$  blieb, wurden nur niedrige Ozonkonzentrationen von zumeist deutlich unter  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  registriert. Nahezu ausschließlich an Tagen an welchen die Windstärke landesweit unter  $5 \text{ m}/\text{s}$  geblieben ist, wurden Ozonkonzentrationen über  $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$  erfasst (Abb. 4.1 c).

Während die jeweiligen Strömungsverhältnisse bezüglich der Ausbildung von Ozonbelastungsspitzen im Großraum Wien am betreffenden Tag von entscheidender Bedeutung sind (siehe Fallstudie in Kap. 4.3), ergeben sich im Mittel über alle Sommerhalbjahre (1990 – 1998) nur geringe Unterschiede der mittleren Ozonbelastung in den Windrichtungsklassen (siehe Abb. 4.1 d).

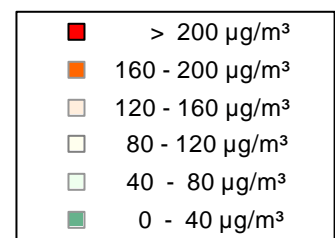
⇒ Spitzenwerte der Ozonkonzentration wurden in Wien ausnahmslos an Tagen mit intensiver Sonnenstrahlung, hohen Temperaturen und geringer Windgeschwindigkeit erfasst. In der Nacht zuvor hatte sich zumeist eine Strahlungsinversion (siehe Kap. 2.3.1) ausgebildet. Diese Verhältnisse treten in Ostösterreich häufig während sommerlicher Ozonepisoden auf.



**Abbildung 4.1**

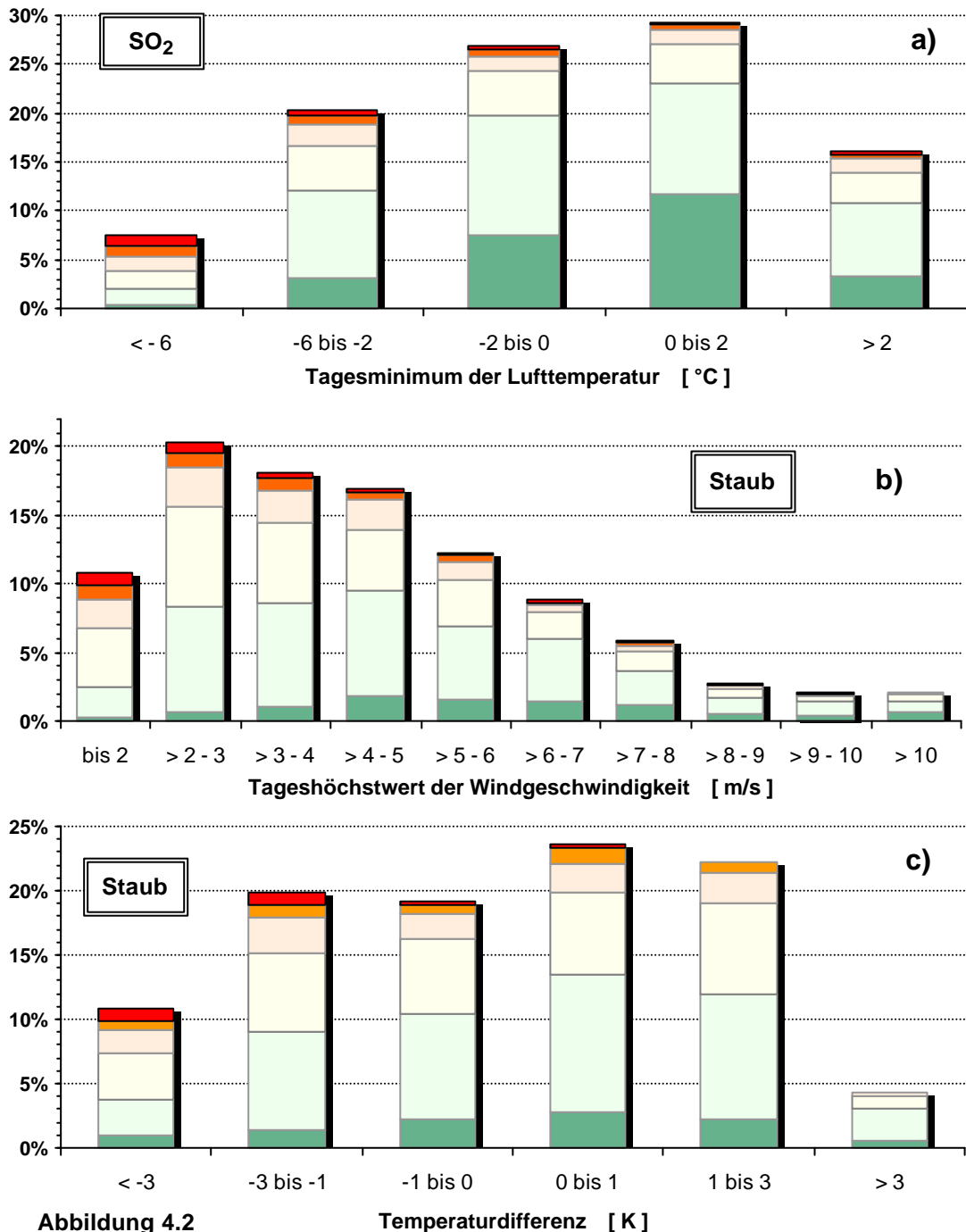
Häufigkeit des Auftretens von Tageshöchstwerten der **Ozonkonzentration** (HMW) an den Wiener Luftgütemessstellen (1990 - 1998) in Abhängigkeit von:

- a) Tageshöchstwert der Lufttemperatur**
- b) Tageshöchstwert der Globalstrahlung**
- c) Tageshöchstwert der Windgeschwindigkeit**



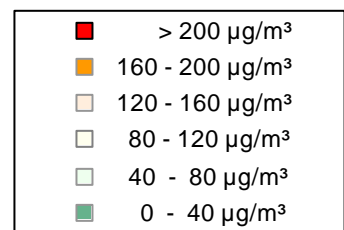
4.1.2 Meteorologische Einflüsse auf die Schwefeldioxid- und Schwebstaubkonzentrationen

Die meteorologischen Verhältnisse sind auch für die Schwefeldioxid- und Staubbeklastung in Wien von großer Bedeutung. Die Häufigkeit hoher SO<sub>2</sub>-Konzentrationen steigt mit abnehmenden Tiefstwerten der Lufttemperatur markant an (Abb. 4.2 a). Der mit sinkenden Temperaturen steigende Heizbedarf führt zu einem Ansteigen der SO<sub>2</sub>-Emissionen insbesondere bei den zahlreichen Kleinverbrauchern, woraus die höheren Immissionen resultieren.



**Abbildung 4.2** Temperaturdifferenz [ K ]

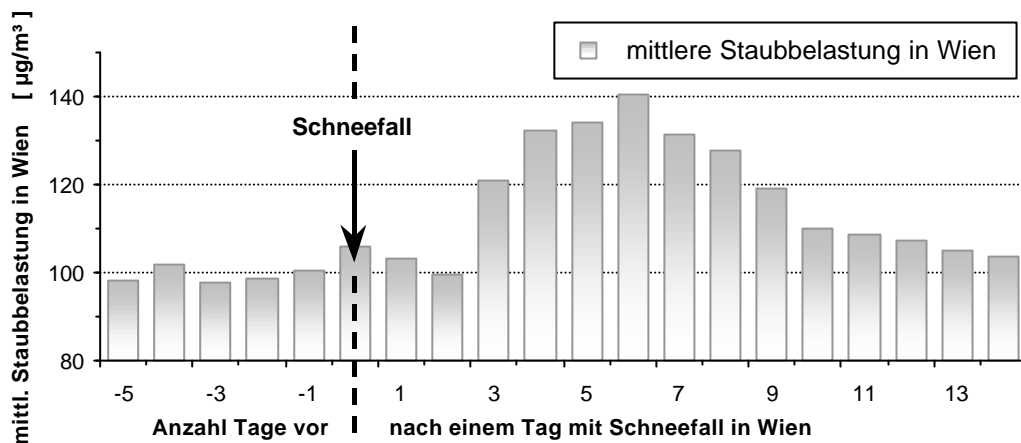
Häufigkeit des Auftretens von Tageshöchstwerten der **Staub- bzw. SO<sub>2</sub>-Konzentration** (HMW) an den Wiener Luftgütemessstellen in Abhängigkeit von:  
**a) Tagesminimum der Lufttemperatur** (Hermannskogel)  
**b) Tageshöchstwert der Windgeschwindigkeit** (AKH-D.)  
**c) vertikale Temperaturschichtung** (Minimum der T-differenz Klosterneuburg - Hermannskogel zw. 10 und 18 Uhr



Beim Schwebstaub sind vor allem die Windverhältnisse und die Temperaturschichtung der Atmosphäre von großem Einfluss. Bei geringen Windgeschwindigkeiten (< 3 m/s) wurden relativ häufig höhere Staubkonzentrationen erfasst (Abb. 4.2b). Außerdem wurden die Spitzenkonzentrationen fast ausnahmslos bei Vorhandensein einer Inversion (Temperaturdifferenz in Abb. 4.2c ist negativ) registriert.

⇒ Windschwache Inversionswetterlagen begünstigen die Anreicherung der Stadtatmosphäre mit Luftschadstoffen. Bei diesen Verhältnissen treten in Wien hohe Staubbelastungen auf.

Die Rollsplitt-Streuung zur Gewährleistung der Straßenbenutzbarkeit führt einige Tage nach Schneefällen zu einem Ansteigen der Staubkonzentrationen (Abb. 4.3). Nach den Schneefällen (bzw. nach Tagen mit Glatteisbildung) sind die Straßen nass und es kommt zunächst kaum zu einer zusätzlichen Staubentwicklung durch das Streugut. Das vom Kfz-Verkehr zunehmend zerriebene Streumaterial und der von den Fahrzeugen aufgewirbelte Feinstaub führt schließlich nach Auftrocknen der Fahrbahnen zumeist einige Tage später zu einem Anstieg der Staubbelastung in Wien, im Schnitt um 40 %. Mit der zunehmenden Verlagerung des Rollsplitts an den Fahrbahnrand bzw. die Entfernung im Zuge von Straßenkehrungen sinken die Staubkonzentrationen schließlich wieder ab.



**Abbildung 4.3**

Zeitliche Entwicklung des mittleren Tageshöchstwertes der Staubbelastung (HMW) in Wien nach Schneefällen (mittlere Neuschneehöhe = 6 cm, Hohe Warte, 1988 - 1998

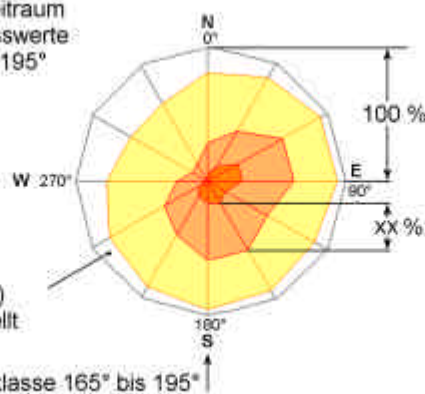
Bei Untersuchung der Schadstoffvorbelastung und der Ausbildung einer Abgasfahne auf der windabgewandten Seite der Stadt muss den jeweiligen Windverhältnissen eine besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. Schwierigkeiten bei der Interpretation bereiten dabei lokale Einflüsse auf die Windrichtungsmessungen, die mitunter ein falsches Bild vermitteln. Deshalb wurden für die vorliegenden Untersuchungen die Windmessungen aller geeigneten Luftgütemessstellen (Wien und Niederösterreich) im Großraum Wien herangezogen und aus all diesen Daten die jeweils häufigste Windrichtung ermittelt (Halbstundenmittelwerte). Mit Hilfe dieser einflußbereinigten Windrichtungen wurden schließlich Luftschadstoffrosen für alle Messstellen berechnet.

Erläuterungen zu den Schadstoffrosen:

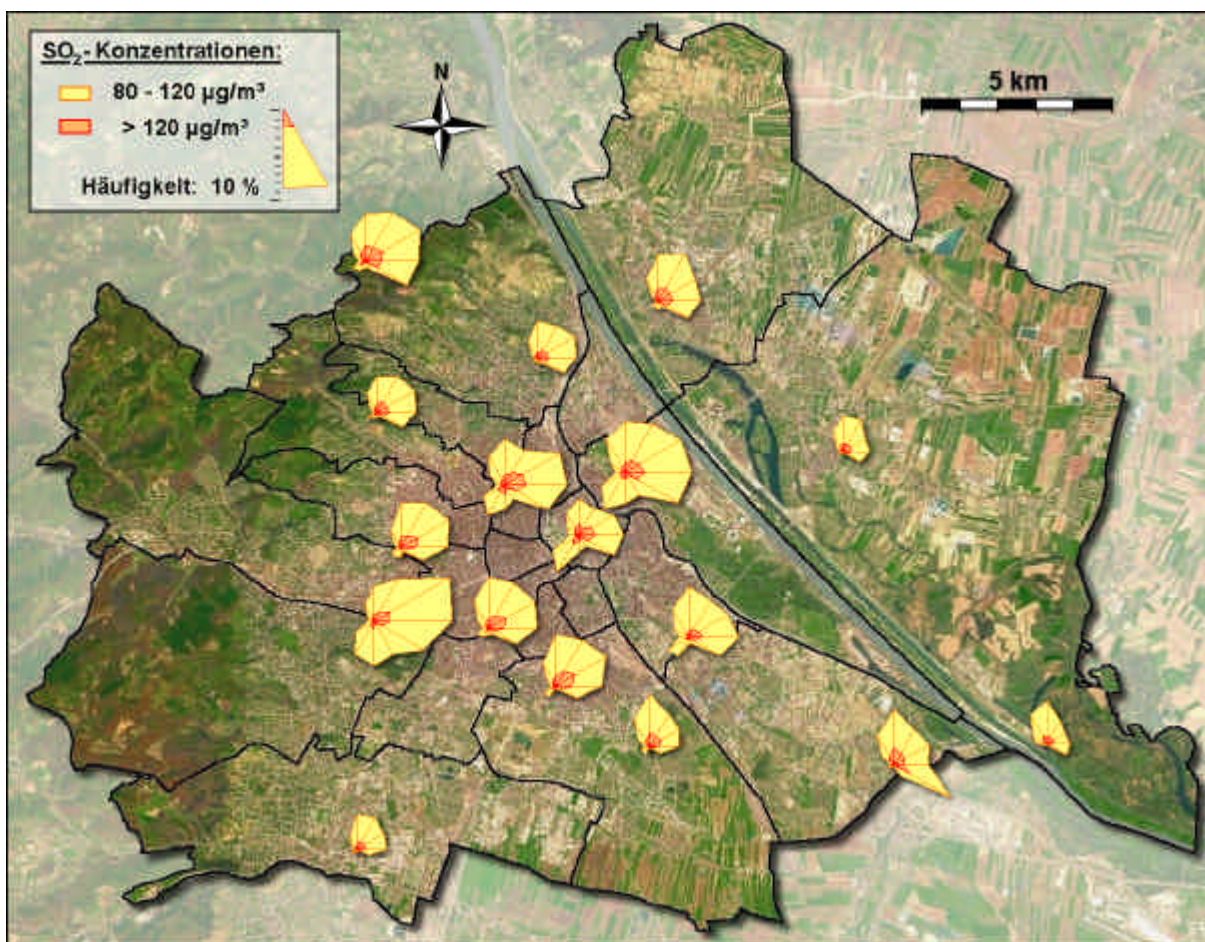
Im vorliegenden Beispiel lagen im Zeitraum 1988 - 1997 nahezu 100 % aller Messwerte der Windrichtungsklasse > 165° bis 195° (Pfeil: Wind aus südlicher Richtung) über dem Schwellwert von 40 µg/m³ und ca. 60 % der Messwerte über 80 µg/m³

Die Häufigkeiten des untersten Konzentrationsbereichs (< 40 µg/m³) ist in den Abbildungen nicht dargestellt

Windrichtungsklasse 165° bis 195°



Häufigkeitsauszählung von Schadstoffkonzentrationen in der betreffenden Windrichtungsklasse



**Abbildung 4.4**

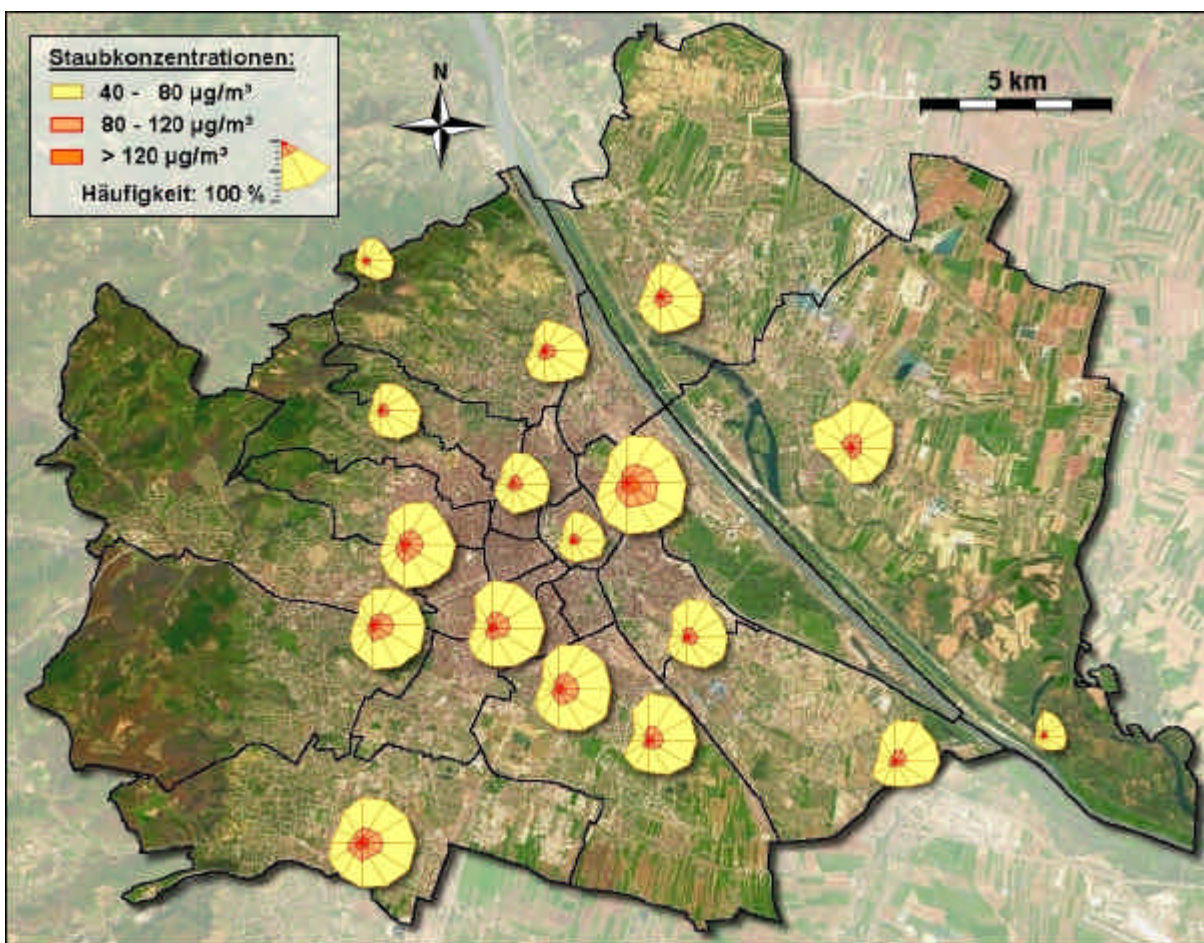
Mittlere Häufigkeit von  $\text{SO}_2$ -Konzentrationen in Abhängigkeit von der Windrichtung im Stadtgebiet von Wien, Halbstundemittelwerte der Jahre 1988 - 1997

Nahezu alle Luftgütemessstellen in Wien erfassen mit Abstand am häufigsten bei nördlichen bis östlichen Windrichtungen, die allerdings nur sehr selten zu beobachten sind, höhere  $\text{SO}_2$ -Konzentrationen (Abb. 4.4). Diese Übereinstimmung ist ein deutlicher Hinweis, dass die Schwefeldioxid-Immissionen im Stadtgebiet von Wien keinesfalls nur hausgemacht sind. Offensichtlich sind Luftmassen aus dem Norden bzw. Osten im Mittel deutlich stärker mit Schwefeldioxid vorbelastet. Bei Strömungslagen mit westlicher oder südlicher Windrichtung ist die  $\text{SO}_2$ -Vorbelastung deutlich geringer. Der regionale Beitrag von Wien zur  $\text{SO}_2$ -Immissionssituation im Stadtgebiet ist aufgrund dieser ausgeprägten Richtungsabhängigkeit vermutlich relativ gering.

⇒ Winterliche Belastungsepisoden mit hohen  $\text{SO}_2$ -Konzentrationen im Stadtgebiet von Wien waren in den vergangenen Jahren in erster Linie das Resultat des Zustroms hoch vorbelasteter Luftmassen aus dem benachbarten nördlichen und östlichen Ausland.

Gänzlich anders ist die Situation bei der mittleren Staubbelastung in Wien. Die in Abbildung 4.5 dargestellten Schadstoffrosen weisen auf nahezu keinerlei Windrichtungsabhängigkeit der Staubimmissionen hin. Lediglich bei West- bis Nordwind verzeichnet der Großteil der Messstellen eine etwas geringere Häufigkeit höherer Konzentrationen. Diese reduzierte mittlere Staubbelastung dürfte hauptsächlich eine Folge der im Mittel deutlich höheren Windgeschwindigkeiten bei westlichen Windrichtungen sein, die eine Anreicherung von Schwebstaub in der Stadtatmosphäre durch die kräftigere Durchmischung verhindern (siehe auch Abb. 4.2).

⇒ Mit zunehmender Windstärke sinkt in Wien die mittlere Staubbelastung infolge der besseren Durchmischung der Stadtatmosphäre ab. Die Staubimmissionen zeigen kaum eine Abhängigkeit von der Windrichtung.



**Abbildung 4.5**

Mittlere Häufigkeit von Staubkonzentrationen in Abhängigkeit von der Windrichtung im Wiener-Stadtgebiet, Halbstundenmittelwerte der Jahre 1988 – 1997

#### 4.1.3 Stickstoffdioxid

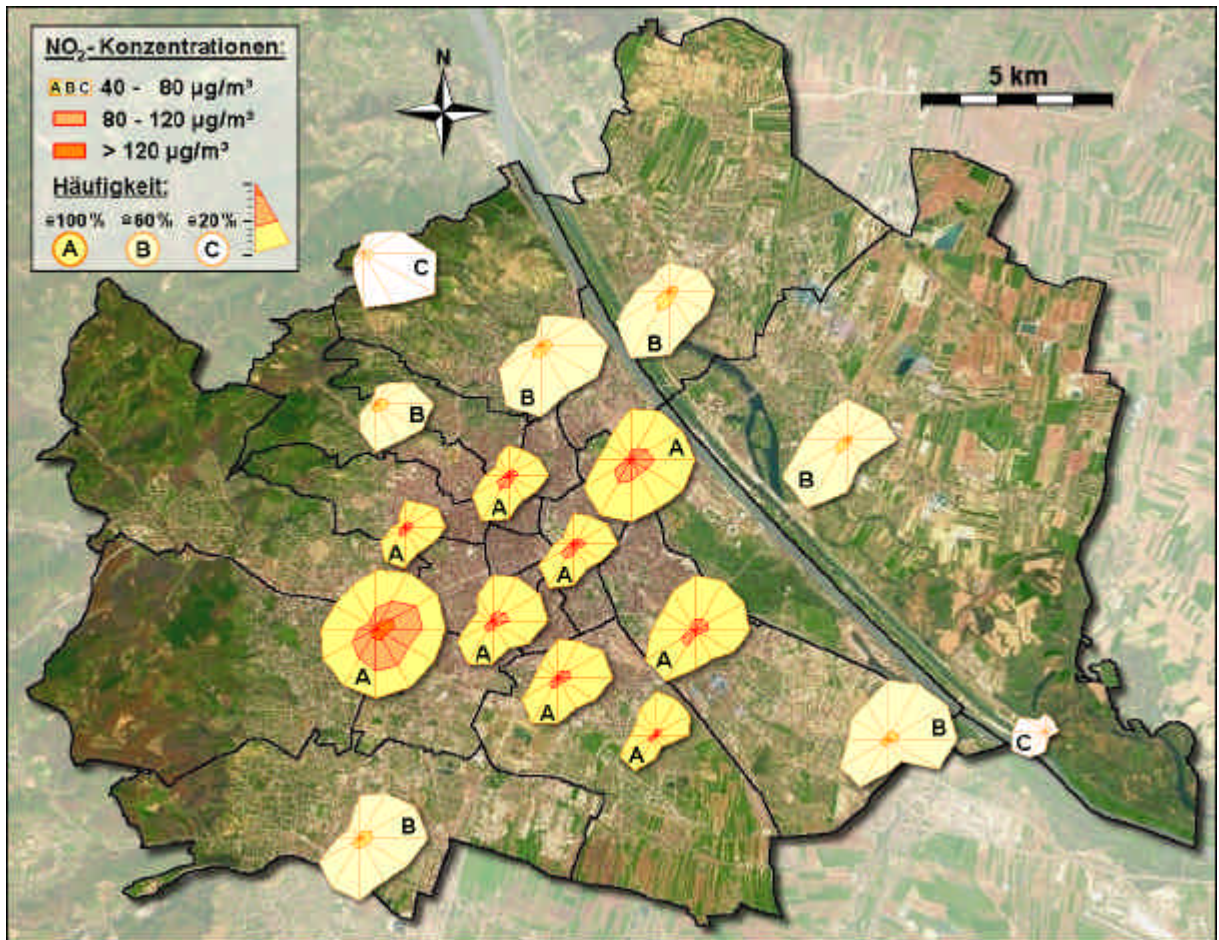
Die  $\text{NO}_2$ -Schadstoffrosen zeigen große Unterschiede bezüglich der mittleren Belastung an den einzelnen Standorten des Wiener Luftgütemessnetzes. Deshalb wurden unterschiedliche Skalierungen (Kreisradius entspricht 100, 60 oder 20 % Überschreitungshäufigkeit) zur übersichtlichen Darstellung eingeführt (Abb. 4.6).

Ein Großteil der Messstellen verzeichnete bei westlicher bis nördlicher Anströmung nur selten hohe  $\text{NO}_2$ -Konzentrationen. West- bis Nordwestwinde verzeichnen im Mittel die höchsten Windgeschwindigkeiten und daher eine gute Durchmischung der Stadtatmosphäre. Daraus resultieren relativ geringe Stickstoffdioxidkonzentrationen. Auch bei südöstlichen Windrichtungen verzeichnete ein Großteil der Messstellen relativ selten hohe  $\text{NO}_2$ -Konzentrationen. Auch aus diesem Sektor werden im Mittel höhere Windgeschwindigkeiten erfasst.

Die Schadstoffrosen an den Stadtrandmessstellen Hermannskogel im Nordwesten sowie Lobau im Südosten der Stadt zeigen recht deutlich, dass an diesen Standorten fast ausschließlich nur bei Anströmung aus dem Stadtgebiet Wiens Konzentrationen von über  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  erfasst werden. An der

Messstelle in der Lobau besteht zusätzlich ein Einfluss durch die nahegelegene Raffinerie in Schwechat.

- ⇒ Wenn sich die Stadtrandmessstellen in der Abgasfahne Wiens befinden, werden häufig erhöhte  $\text{NO}_2$ -Konzentrationen erfasst. Im Gegensatz dazu werden beim  $\text{NO}$  aufgrund der relativ geringen Lebensdauer in der Atmosphäre, seltener vergleichbare Konzentrationsanstiege im Einflussbereich der Stadt erfasst.



**Abbildung 4.6**

Mittlere Häufigkeit von  $\text{NO}_2$ -Konzentrationen in Abhängigkeit von der Windrichtung im Stadtgebiet von Wien, Halbstundenmittelwerte der Jahre 1988 - 1997

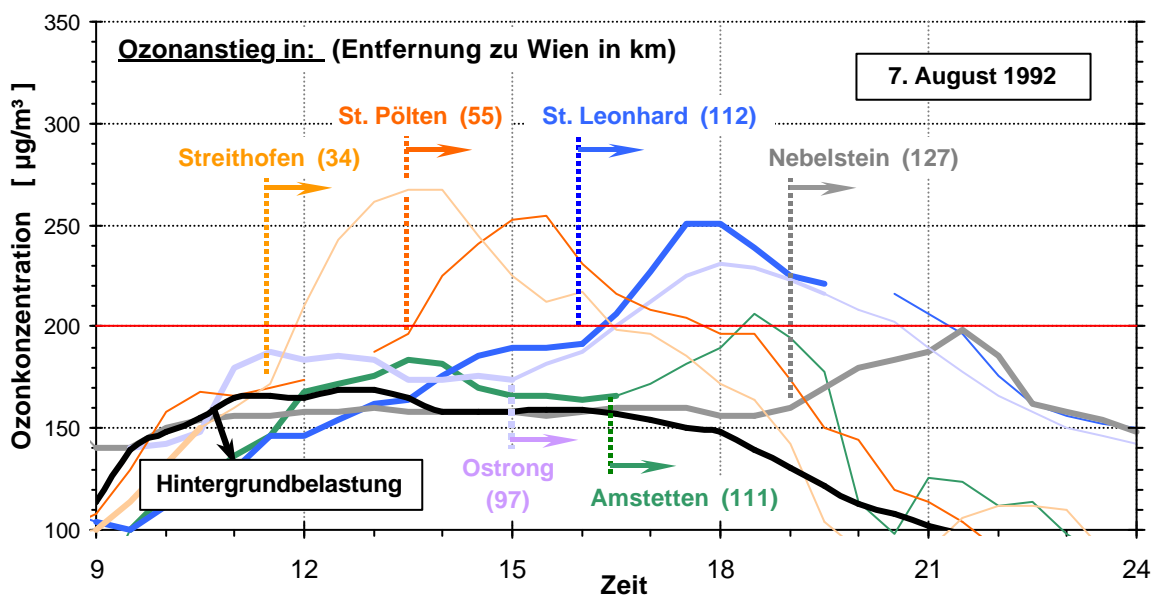
## 4.2 Analyse einer Ozonepisode vom 7. August 1992

Spitzenbelastungen der Ozonkonzentration traten in den vergangenen Jahren im Ozonüberwachungsgebiet 1 (Wien, Niederösterreich und nördliches Burgenland) stets während sommerlicher Hochdruckwetterlagen auf (Kap. 4.1.1). Charakteristische meteorologische und luftchemische Rahmenbedingungen werden im Folgenden anhand einer Ozonepisode im August 1992 vorgestellt. Am 7.8.1992 wurden bei östlicher Windrichtung die höchsten Ozonkonzentrationen Nordostösterreichs in der Abgasfahne von Wien bzw. Bratislava beobachtet. In Folge regionaler Ozonbildung hatte sich im Ballungsraum Wien eine Luftmasse besonders hoher Ozonkonzentrationen ausgebildet (regionale Ozonbildung; Schmittner, 1997a). Im Tagesverlauf resultierte aus dem beständigen Ostwind eine Schadstoffverlagerung nach Westen (Ozontransport). Anhand der vorliegenden Fallstudie zeigt sich exemplarisch die große Bedeutung der mitunter grenzüberschreitenden Schadstoffdynamik, weswegen u.a. der Ozonproblematik in Nordostösterreich eine besondere Bedeutung zukommt.

### 4.2.1 Zeitliche Entwicklung der Ozonkonzentrationen

Im nördlichen Weinviertel und südlichen Wiener Becken zeigte der Tagesverlauf der Ozonkonzentration am 7.8.1992 keine Besonderheiten. Die dort gelegenen Messstellen Mistelbach, Wiesmath und Wiener Neustadt haben also die großräumige Ozonbelastung erfasst, welche unbeeinflusst durch regional gebildetes Ozon auch als Hintergrundbelastung (Abb. 4.7) bezeichnet wird („Hintergrundmessstellen“). Die Höchstwerte wurden charakteristisch für einen Sommertag zu den Mittagsstunden bzw. am frühen Nachmittag erreicht und lagen bei  $170 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Im Großraum Wien sowie westlich der Bundeshauptstadt traten hingegen Spitzenwerte auf, die jeweils für einige Stunden deutlich über dem Grenzwert der Vorwarnstufe gemäß Ozongesetz ( $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) gelegen sind. Bemerkenswert ist dabei die zeitliche Entwicklung. Bereits am Vormittag traten erste Ozonspitzen im Großraum Wien auf (Schmittner, 1997b). Im weiteren Tagesverlauf wurden bei östlicher Windrichtung im Lee der Großstadt die höchsten Ozonkonzentrationen Österreichs registriert. Die jeweiligen Spitzenwerte wurden mit zunehmender Entfernung von Wien kontinuierlich später beobachtet. Das ist ein starker Hinweis auf die Verlagerung ozonreicher Luftmassen, bei gleichzeitig schwacher regionaler Ozonbildung im westlichen Niederösterreich.



**Abbildung 4.7**

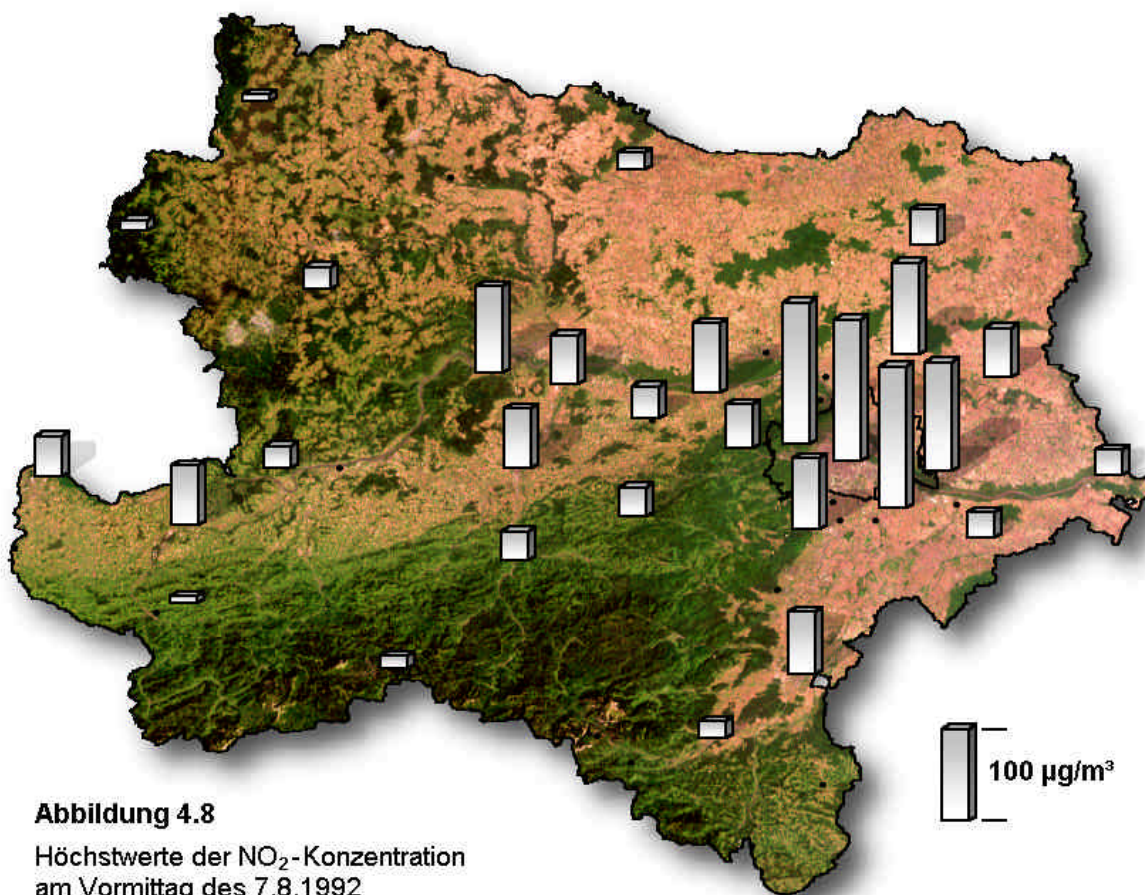
Zeitliche Entwicklung der Ozonkonzentrationen an ausgewählten Messstellen in Nordostösterreich am 7. August 1992

Der zeitliche Verlauf der Ozonspitzen lässt auf einen Ursprung der ozonreichen Luftmassen im Einflussbereich der Ballungszentren Bratislava und Wien schließen. Dort kam es offensichtlich zu einer deutlichen regionalen Ozonbildung. In den Abgasfahnen konnte schließlich die Verlagerung einer besonders ozonreichen Luftmasse beobachtet werden. Mit dessen "Ankunft" stiegen die Ozonwerte im Westen Niederösterreichs sogar in den Abendstunden noch deutlich an. Der regionale Beitrag zur Ozonbelastung, verursacht durch die Emissionen in den Großstädten Wien und Bratislava, lag an diesem Tag bei ungefähr  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . In Verbindung mit der hohen Hintergrundbelastung von ca.  $170 \mu\text{g}/\text{m}^3$  wurden an insgesamt 16 Messstellen Halbstundenmittelwerte von über  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (*max. 284  $\mu\text{g}/\text{m}^3$* ) registriert.

⇒ Spitzenwerte der Ozonkonzentration treten in Nordostösterreich nur relativ selten großflächig auf. Häufig treten die Tageshöchstwerte zunächst im Stadtgebiet oder am Stadtrand von Wien auf, und im weiteren Tagesverlauf registrieren Messstellen in zunehmend größerer Entfernung zum Ballungsraum hohe Ozonkonzentrationen.

#### 4.2.2 Vorläufersubstanzen ( $\text{NO}_2$ )

Ozon ist ein Sekundärschadstoff und wird hauptsächlich aus den Stickoxiden  $\text{NO}$  und  $\text{NO}_2$  gebildet, wobei flüchtige organische Verbindungen als Katalysatorsubstanzen zu einer Vielzahl von fotochemischen Reaktionen führen. Von diesen Ozon-Vorläufersubstanzen werden lediglich die Stickoxide routinemäßig und flächendeckend erfasst.



Nachdem das Stickstoffmonoxid, welches hauptsächlich vom Kfz-Verkehr emittiert wird, sehr rasch zu  $\text{NO}_2$  oxidiert, ist das Stickstoffdioxid die einzige Vorläufersubstanz, die zur Analyse der flächenhaften Primärschadstoffverteilung herangezogen werden kann.

Am Vormittag des 7.8.1992 wurden im Großraum Wien hohe  $\text{NO}_2$ -Konzentrationen erfasst (Abb. 4.8). Auffallend waren die deutlichen Belastungsspitzen an den Messstellen östlich der Bundeshauptstadt, welche bei östlicher Windrichtung einen Hinweis für einen Schadstofftransport aus dem Ballungsraum Bratislava liefern, wenn auch die Spitzenwerte in Hainburg nur relativ gering ausgefallen sind. Vermutlich haben sich an diesem Tag die Abgasfahnen von Bratislava und Wien überlagert. Resultierend aus der hohen Belastung der Luft mit Vorläufersubstanzen wurde in weiterer Folge bei starker Sonneneinstrahlung, hohen Lufttemperaturen und relativ schwachem Wind bereits am Vormittag beginnend Ozon regional gebildet und bei mäßigem Ostwind nach Westen verlagert.

⇒ Eine intensive regionale Ozonbildung in Nordostösterreich kann während sommerlicher Ozonepisoden zumeist in der Abgasfahne von Wien und Bratislava, bei zunächst relativ hohen Konzentrationen der Vorläufersubstanzen, beobachtet werden.

#### 4.2.3 Die meteorologischen Verhältnisse

Während im Osten Niederösterreichs sowie im Zentralraum bei ganztägig wolkenlosem, sommerlichen Hochdruckwetter Lufttemperaturen deutlich über  $30\text{ °C}$  registriert wurden, setzte im Alpenvorland sowie Waldviertel nachmittags unbedeutende Cumulusbildung ein. Trotz der "Schönwetterbewölkung" stieg die Lufttemperatur auch im Bergland knapp bis zur  $30\text{ °C}$  Marke.

In den Morgenstunden des 7.8. wurde an einigen Messstellen noch NW-Wind erfasst. Tagsüber herrschten in Niederösterreich östliche Windrichtungen vor. Die Windgeschwindigkeiten lagen zumeist unter  $4\text{ m/s}$ . In der Nacht zum 7.8.1992 bildete sich in weiten Teilen Niederösterreichs eine Strahlungsinversion aus (siehe Kap. 2.3), die sich am frühen Vormittag des 7.8. auflöste.

#### 4.2.4 Regionale Ozonbildung und Verlagerung

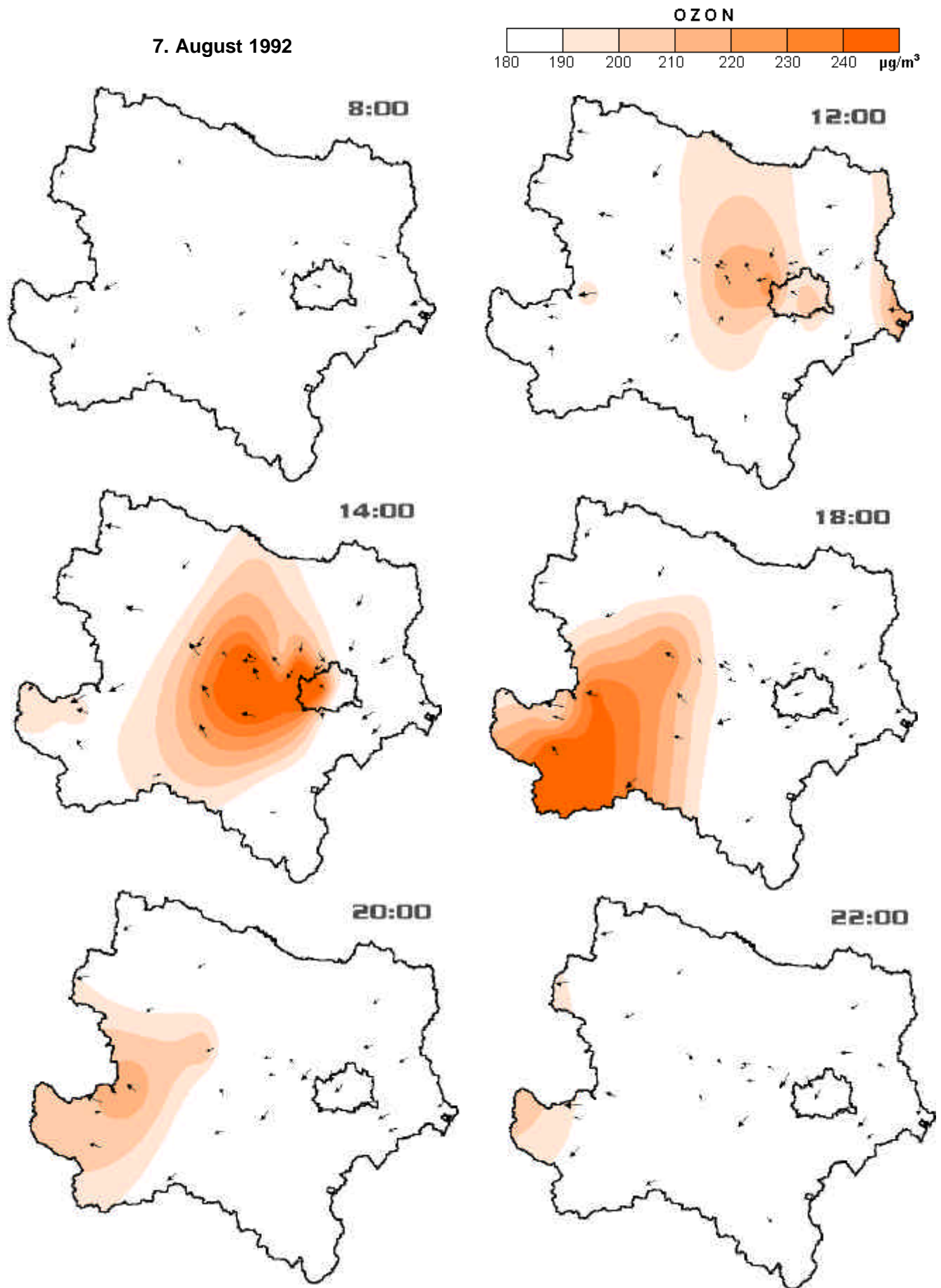
Im Großraum Wien wurde die bodennahe Atmosphäre bereits in den Nachtstunden und verstärkt während der Frühverkehrsspitze mit Luftschadstoffen angereichert. Am Vormittag führte der zusätzliche Schadstoffimport aus dem Raum Bratislava zu einer hohen Primärschadstoffbelastung der Wiener Stadtluft. Während der Auflösung bzw. Anhebung der nächtlichen Inversion am frühen Vormittag wurde ozonreiche Luft aus der sogenannten Reservoirschicht in die bodennahe Luftschicht gemischt. Aus der gleichzeitig zunehmend intensiveren Sonnenstrahlung sowie den rasch ansteigenden Lufttemperaturen und der folglich zunehmenden fotochemischen Aktivität resultierten bereits am Vormittag Spitzenwerte der Ozonkonzentration von knapp über  $200\text{ }\mu\text{g/m}^3$  (Messstelle Laaerberg im Süden von Wien).

In weiterer Folge wurde diese größtenteils über dem Stadtgebiet von Wien gelegene Luftmasse höchster Ozonbelastung bei mäßigem jedoch beständigem Ostwind nach Westen, ins Lee der Großstadt verlagert. Mit der Ankunft dieser Ozonwolke an der westlich der Stadt gelegenen Freilandmessstelle Streithofen stiegen die Ozonwerte innerhalb von 90 Minuten um nahezu  $100\text{ }\mu\text{g/m}^3$  an. Diesen markanten Anstieg verzeichneten im weiteren Tagesverlauf in zunehmend größerer Entfernung zu Wien u.a. die Messstellen St. Pölten, Ostrong und schließlich die Hintergrundmessstelle Nebelstein (Abb. 4.7). Letztere erst um 20 Uhr, also zu einer Tageszeit, zu welcher die fotochemische Ozonbildung mit Sicherheit vernachlässigbar ist. Dieser Anstieg sowie die anschließende ca. 3 Stunden andauernde Ozonspitze war folglich das Resultat des Zustroms ozonreicher Luft, welche 14 Stunden zuvor im Großraum Wien mit Vorläufersubstanzen angereichert worden war und sich während des Tages, mittlerweile als "Ozonwolke", nach Westen verlagerte.

Die flächenhafte Ozonverteilung in Niederösterreich und Wien wurde zur übersichtlichen Darstellung für verschiedene Tageszeiten berechnet<sup>1</sup>. Abgesehen von den zum Teil fragwürdigen Ozonkonzentrationen

---

<sup>1</sup> Interpolation der Halbstundenmittelwerte aller verfügbaren Ozonmessstellen Nordostösterreichs



**Abbildung 4.9**

Zeitliche Entwicklung der Ozon-Konzentrationsverteilung in Wien und Niederösterreich am 7.8.1992

nen, die für Gebiete mit besonders geringer Messstellendichte berechnet wurden, bietet Abbildung 4.9 einen Überblick über die interessante und regelmäßig anzutreffende zeitliche Entwicklung der Ozonbelastung in Nordostösterreich während sommerlicher Schönwettertage.

- ⇒ Spitzenbelastungen der Ozonkonzentration in Nordostösterreich sind üblicherweise auf wenige Messstellen bzw. einzelne Regionen sowie auf einige Stunden des Tages beschränkt.

### 4.3 Folgerungen aus der Analyse aller Ozonepisoden im Großraum Wien

Während die Einzelfallstudie in Kapitel 4.2 die Interpretation eines typischen Ablaufmusters zur Ausbildung von Spitzenbelastungen der Ozonkonzentration in Nordostösterreich beinhaltet hat, sollen im folgenden die Ergebnisse entsprechender Analysen von insgesamt 115 Tagen mit Höchstwerten der Ozonkonzentration  $\geq 200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Halbstundenmittelwert) zusammengefasst werden (Untersuchungszeitraum 1990 - 1998). Anhand dieser Fallstudien wurden Möglichkeiten zur Erfassung der Hintergrundbelastung sowie zur Abschätzung des regionalen Ozonbildungspotentials untersucht. Die Messungen aller Ozonmessstellen Nordostösterreichs wurden herangezogen. Vertiefende Analysen folgen in den Kapiteln 5.1 und 5.2.

#### 4.3.1 Ergebnisse

- ⇒ An den analysierten Ozon-Episodentagen herrschten fast ausnahmslos sommerliche Schönwetterverhältnisse mit geringer Bewölkung, Tageshöchstwerten der Lufttemperatur von über  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  sowie geringen Windgeschwindigkeiten von zumeist 1 bis 5 m/s.
- ⇒ Häufig traten die höchsten Ozonkonzentrationen in den Abgasfahnen von Wien und Bratislava auf. Mitunter wurden auch in der Abgasfahne von Linz erhöhte Ozonkonzentrationen erfasst. Betroffen waren zumeist einzelne Regionen Niederösterreichs, d.h. bei östlicher Windrichtung das Alpenvorland und das Waldviertel, bei südöstlicher bis südlicher Windrichtung das Weinviertel, bei westlicher Windrichtung das östliche Weinviertel bzw. nördliche Wr. Becken und bei westlicher bis nördlicher Windrichtung das Wr. Becken sowie das Alpenvorland. Häufig wurden Belastungsspitzen ausschließlich im Großraum Wien erfasst.
- ⇒ Überschreitungen der Grenzwerte für die Vorwarnstufe gemäß Ozongesetz sind von relativ kurzer Dauer. Zumeist wird der Grenzwert von  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  nur für wenige Halbstundenmittelwerte überschritten, wobei diese Ozonspitzen an den betroffenen Messstellen häufig nicht zur gleichen Tageszeit auftreten und erste Belastungsspitzen zumeist bereits am Vormittag registriert werden.
- ⇒ Die Vorwarnstufe ist naturgemäß länger ausgelöst als eine Überschreitung des entsprechenden Grenzwertes gegeben ist, da seitens der Messnetzbetreiber üblicherweise erst nach einiger Zeit weitere Überschreitungen ausgeschlossen werden können
- ⇒ Von entscheidender Bedeutung für die während Ozonepisoden häufig zu beobachtende Verlagerung von Luftmassen besonders hoher Ozonkonzentrationen („Ozonwolken“, Kap. 4.2), sind die Windverhältnisse. Bei drehendem Wind werden üblicherweise die Ozon-Spitzenbelastungen Österreichs im Großraum Wien registriert. Bei gleichbleibenden Windverhältnissen werden diese Luftmassen von den Großstädten ausgehend ins Lee der Ballungszentren verlagert.
- ⇒ Bemerkenswert sind die raschen Anstiege von einigen  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pro Minute, die mitunter an den Luftgütemessstellen registriert werden, wenn eine Luftmasse mit hohen Ozonkonzentrationen über die Messstelle verlagert wird. Auch der Rückgang der Ozonkonzentrationen nach einer Belastungsspitze erfolgt häufig innerhalb sehr kurzer Zeit.
- ⇒ Die Emissionen von Ozon-Vorläufersubstanzen in der slowakischen Großstadt Bratislava, ca. 50 km östlich von Wien, dürften bei östlicher Windrichtung von relativ großer Bedeutung für die re-

gionale Ozonbildung in Niederösterreich bzw. Wien sein. Offensichtlich kommt es mitunter zu einer Überlagerung der Abgasfahnen der Ballungszentren Wien und Bratislava. Die resultierenden hohen Konzentrationen an Ozon-Präkursoren führen während sommerlicher Ozonepisoden mit östlichen Windrichtungen häufig zu hohen Ozonbelastungen in Nordostösterreich. Insbesondere bezüglich des Einflusses von Bratislava auf die Ozonsituation im Großraum Wien sind weitere Untersuchungen erforderlich. Aufgrund der geringen Anzahl von Ozonmessstellen östlich von Wien wäre die Berücksichtigung von Messwerten slowakischer Messstellen erforderlich.

- ⇒ Die Hintergrundbelastung zeigte keine deutliche Abhängigkeit von der Strömungssituation und lag an den eingehend analysierten Episodentagen zwischen 120 und 180  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (zumeist 140 bis 170  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).
- ⇒ Die Differenz zwischen dem Höchstwert der Ozonkonzentration und der Hintergrundbelastung des Tages stellt jeweils den maximalen, durch Messungen erfassten regionalen Ozonbeitrag dar. Vergleichbare Auswertungen auf Basis von Dreistundenmittelwerten ergaben einen im Mittel etwas geringeren regionalen Ozonbeitrag (Kap. 5.2).

#### 4.3.2 Abschätzungen zum Ozonbildungspotential im Großraum Wien

Die Differenz zwischen den Spitzenwerten der Ozonkonzentration eines Tages und der Hintergrundbelastung bzw. Ozon-Vorbelastung liefert Hinweise zum regionalen Ozonbildungspotential in Nordostösterreich. Eine Häufigkeitsauszählung – zunächst auf Basis der Halbstundenmittelwerte - der im Zuge der Fallstudien ermittelten regionalen Ozonbeiträge zeigte, dass Konzentrationserhöhungen zwischen 50 und 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  mit Abstand am häufigsten zu beobachten waren. Nur in seltenen Fällen wurden regionale Beiträge von über 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  erfasst. Während der ausgewerteten Episodentage lag der Beitrag des in Wien und /oder Niederösterreich gebildeten Ozons selten unter 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Bei einer durchschnittlichen Hintergrundbelastung von 140  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  wurde die Vorwarnstufe gemäß Ozongesetz folglich ausschließlich in Folge regionaler Ozonbildung in Wien und Niederösterreich überschritten.

#### 4.3.3 Wochentagsabhängigkeit der Ozonbelastung in Nordostösterreich

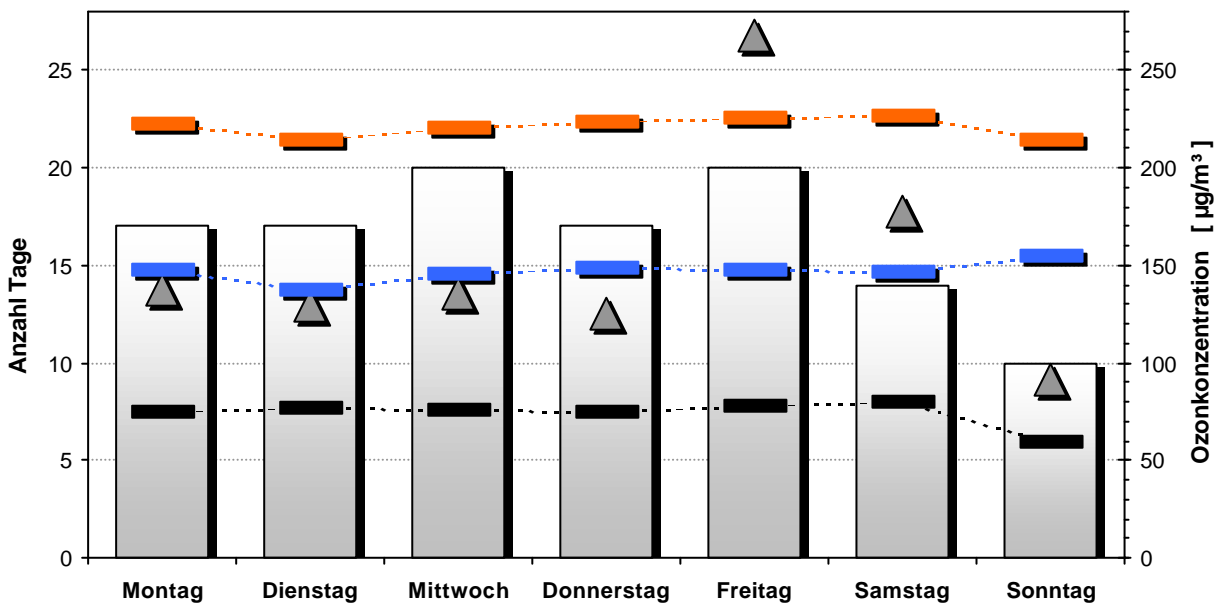
Um zu beurteilen, ob die reduzierten Schadstoffemissionen am Wochenende (siehe Kap. 2.1.2 sowie 3.5.1) die mittlere Ozonbelastung in Nordostösterreich beeinflussen oder zu abgeschwächten Spitzenwerten der Ozonkonzentration führen, wurden die 115 Episodentage auch bezüglich dieser Fragestellung ausgewertet. Abbildung 4.10 enthält eine Häufigkeitsauszählung von Tagen, welche innerhalb des Betrachtungszeitraumes (1990-1997) einen Tageshöchstwert der Ozonkonzentration von  $\geq 200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  aufgewiesen haben (gesamtes Messnetz in Nordostösterreich).

Während an den Werktagen jeweils an 17 bis 20 Tagen Tageshöchstwerte der Ozonkonzentration von  $\geq 200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  registriert wurden, nimmt die Anzahl solcher Tage am Wochenende merklich ab. Die Anzahl an Fallstudien war allerdings mit Sicherheit zu gering, um hier ein wissenschaftlich abgesichertes Ergebnis zu erhalten.

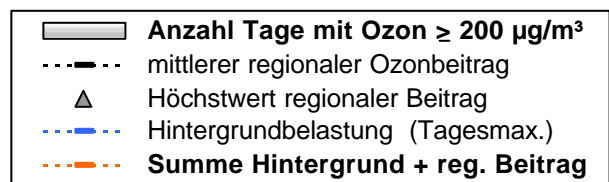
Interessant ist der mittlere Wochenverlauf der jeweiligen Ozon-Hintergrundbelastung. Es zeigt sich nahezu keinerlei Trend. Unabhängig vom Wochentag lag die großräumige Vorbelastung im Mittel bei 170  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , ein Wert, welcher der mitteleuropäischen Hintergrundbelastung während sommerlicher Ozonepisoden entspricht. Der leichte Ozonanstieg an den Sonntagen ist vermutlich die Folge der allgemein deutlich verringerten NO-Emissionen am Wochenende. Denn bei der Ermittlung der Hintergrundbelastung wurden aufgrund der relativ geringen Anzahl an Hintergrundmessstellen auch stadtnahe Messstellen einbezogen, welche am betreffenden Tag zwar keinen deutlichen Stadteinfluss gezeigt haben, allerdings nicht vollständig frei von diesem sind.

Regionale Ozonbildung

Die Differenz aus dem Höchstwert der Ozonkonzentration und der Hintergrundbelastung des Tages stellt jeweils die maximale, durch Messungen erfassbare regionale Ozonbildung dar. An den Werktagen lag dieser Wert zwischen 70 und 80 µg/m³, an den Sonntagen hingegen im Mittel unter 60 µg/m³. Dieses Absinken ist gemeinsam mit der Tatsache, dass der maximale regionale Beitrag zur Ozonbelastung (Höchstwert) an Sonntagen deutlich unter 100 µg/m³ und an den Werktagen jeweils deutlich über diesem Wert lag (Dreiecke in Abbildung 4.10), ein Hinweis, dass emissionsmindernde Maßnahmen im Ausmaß der Verkehrsabnahme am Wochenende und der gleichzeitig reduzierten Emissionen der Industrie, etc. sich auf die Ozonbelastung nachweislich auswirken. Um die Intensität von Ozon-Spitzenbelastungen gezielt abzuschwächen, müssten die emissionsmindernden Maßnahmen allerdings bereits am Vortag verordnet werden, da jede Verminderung der Ozonkonzentrationen erst mit einer Verzögerung von etwa einem Tag zu erwarten ist. Denn Samstage verhalten sich bezüglich der Ozon-Spitzenbelastungen sehr ähnlich zu Werktagen, erst an den Sonntagen kommt es offensichtlich zu einer Verringerung des regionalen Ozonbildungspotentials in Nordostösterreich. Diese Erkenntnis steht im wesentlichen im Einklang mit den Ergebnissen früherer Studien (Baumann et al. (1996), Stohl und Kromp-Kolb (1994), Pannonisches Ozon-Projekt (1997)), basiert hingegen nicht auf Schätzungen bzw. Modellrechnungen, sondern auf den Datenauswertungen des vorliegenden Berichts.



**Abbildung 4.10**  
 Ozonepisoden in Wien & Niederösterreich  
 (Anzahl Tage = 115; HMW der Jahre 1990 - 1997)  
 Abschätzungen zum regional gebildeten Ozon  
 Abhängigkeit vom Wochentag



#### 4.4 Analyse einer winterlichen Belastungsepisode vom 26. November bis 1. Dezember 1993

Bereits die Auswertungen in Kap. 4.1 haben gezeigt, dass winterliche Belastungsepisoden in Wien keineswegs nur hausgemacht sind. Luftschadstoffe, die aufgrund einer geringen chemischen Reaktivität bzw. geringen Depositionsrate eine lange Lebensdauer in der Atmosphäre besitzen (siehe Kap. 2.2.3), können entsprechend den Windverhältnissen über größere Entfernungen verfrachtet werden. Schwefeldioxid-Emissionen in den Nachbarstaaten Österreichs können sich auf die Immissionsituation im Stadtgebiet von Wien entscheidend auswirken. Eine Episode im Spätherbst 1993, während der in Wien die höchsten  $\text{SO}_2$ -Immissionen der vergangenen Jahre registriert wurden, soll diese Problematik beleuchten, wobei die Luftgütemessungen in Niederösterreich wertvolle Hinweise liefern konnten.

##### 4.4.1 Zeitliche Entwicklung der Immissionsituation

An den ersten Tagen der Schadstoffepisode wurden bei mäßigem Südostwind in Hainburg, ca. 45 km östlich von Wien, wiederholt markante  $\text{SO}_2$ -Belastungsspitzen erfasst (Abb. 4.11). Vermutlich gelangten aus dem Ballungsraum Bratislava relativ stark mit Schwefeldioxid vorbelastete Luftmassen nach Österreich. Darüberhinaus wurden zu Beginn der Episode im gesamten Weinviertel deutlich höhere  $\text{SO}_2$ -Konzentrationen erfasst als an sämtlichen Wiener Messstellen. Am Nachmittag des 28.11. kam es zu einer Winddrehung auf Nord. Umgehend stiegen zunächst die  $\text{SO}_2$ -Konzentrationen an den nördlichen und schließlich an den südlichen Messstellen des Waldviertels an. Auch in dieser Region Nordostösterreichs führte offensichtlich der Schadstoffimport von Luftmassen, die vermutlich über Polen und Tschechien stark mit Luftschadstoffen angereichert worden sind, zu markant erhöhten  $\text{SO}_2$ -Immissionen. Schließlich erfolgte mit einer Winddrehung auf Nordwest (29. bis 30.11.1993) in weiten Teilen Niederösterreichs ein kontinuierlicher Anstieg der Konzentrationen und schließlich im Stadtgebiet von Wien (Abb. 4.11). Mit der Drehung des gleichzeitig auffrischenden Windes auf Südost in der Nacht vom 30.11. zum 1.12. sanken die  $\text{SO}_2$ -Konzentrationen, infolge des Zustroms nur schwach vorbelasteter Luftmassen sowie der verstärkten Durchmischung der bodennahen Atmosphäre, in Nordostösterreich rasch wieder ab.

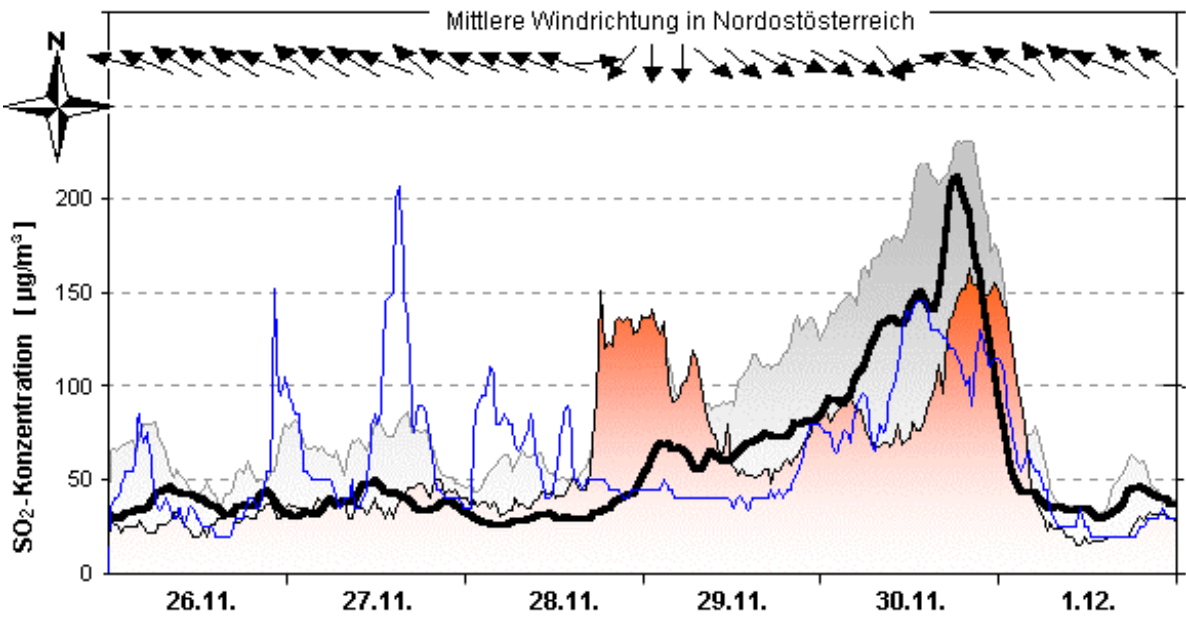
⇒ Bei Zustrom von Luftmassen aus dem benachbarten Ausland steigen die  $\text{SO}_2$ -Konzentrationen in Nordostösterreich mitunter um ein Vielfaches an. Selbst an den verkehrsexponierten Messstellen im Stadtgebiet von Wien werden mitunter deutlich geringere  $\text{SO}_2$ -Immissionen erfasst als bei entsprechenden Strömungslagen an den grenznahen Messstellen in Niederösterreich.

##### 4.4.2 Schadstoffimport

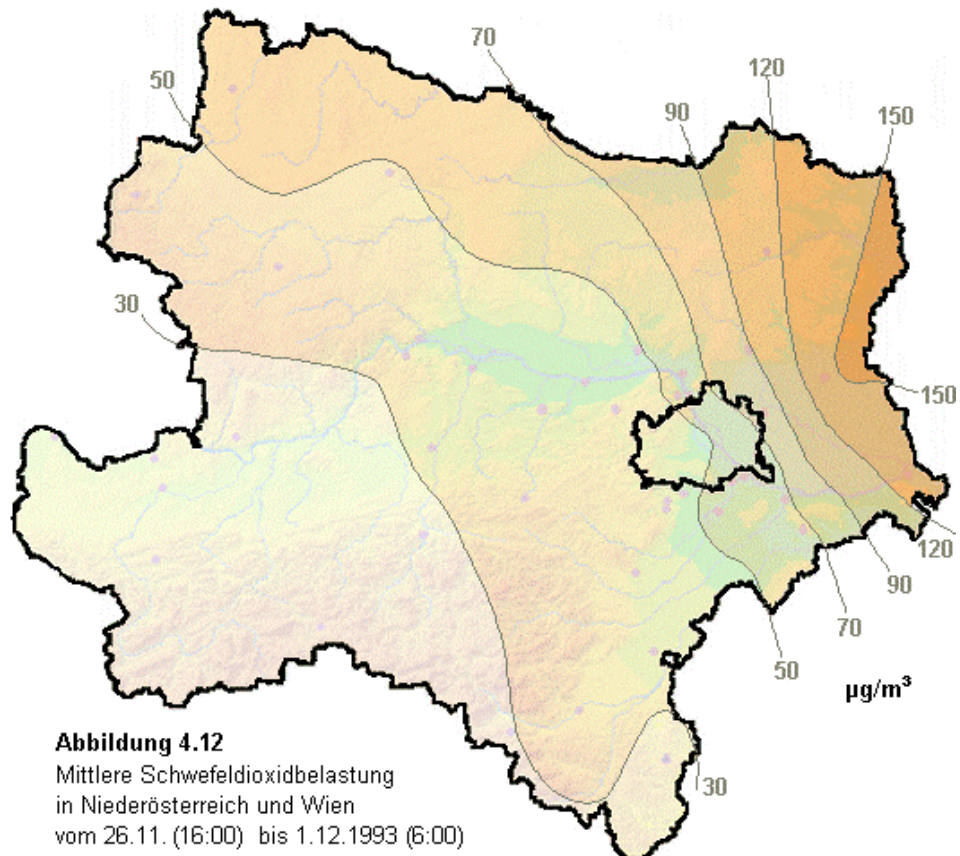
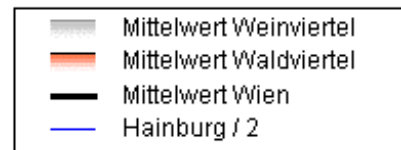
Zu Beginn der Episode lagen die  $\text{SO}_2$ -Konzentrationen in Nordostösterreich im Bereich von 30 bis 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Bis zum Nachmittag des 28.11. wurden ausschließlich an der Luftgütemessstelle in Hainburg deutlich höhere Konzentrationen erfasst. Mit der Winddrehung auf zunächst Nord und schließlich Nordwest führte der über 2 Tage andauernde Schadstoffimport aus dem benachbarten Ausland zu einem kontinuierlichen Anstieg der  $\text{SO}_2$ -Belastung in Nordostösterreich, wobei das nördliche Waldviertel sowie das Weinviertel am stärksten betroffen waren. Über viele Stunden hinweg wurden Konzentrationen deutlich über dem Immissionschutz-Grenzwert von 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  registriert. Gemittelt über diese Episode war die  $\text{SO}_2$ -Belastung im Weinviertel wesentlich höher als im Stadtgebiet von Wien (Abb. 4.12). Wie bereits zu Beginn dieses Kapitels erwähnt, ist die Schwefeldioxidbelastung während winterlicher Belastungsepisoden keineswegs nur ein Resultat der Wiener Emissionen. Vielmehr ist die Vorbelastung der nach Österreich und in weiterer Folge nach Wien gelangenden Luftmassen von großer Bedeutung.

⇒ Bereits relativ geringfügige Schwankungen der Windrichtung können sich entscheidend auf die tatsächlichen Auswirkungen des Schadstoffimports aus dem benachbarten Ausland auf die Immissionsituation in Wien auswirken.

Die flächenhafte  $\text{SO}_2$ -Konzentrationsverteilung in Nordostösterreich wurde zur übersichtlichen Darstellung für verschiedene Tageszeiten berechnet<sup>1</sup>. Abbildung 4.13 bietet einen Überblick über die interessante und regelmäßig anzutreffende zeitliche Entwicklung der  $\text{SO}_2$ -Belastung in Nordostösterreich während Strömungslagen, die einen Zustrom relativ stark vorbelasteter Luftmassen mit sich bringen.

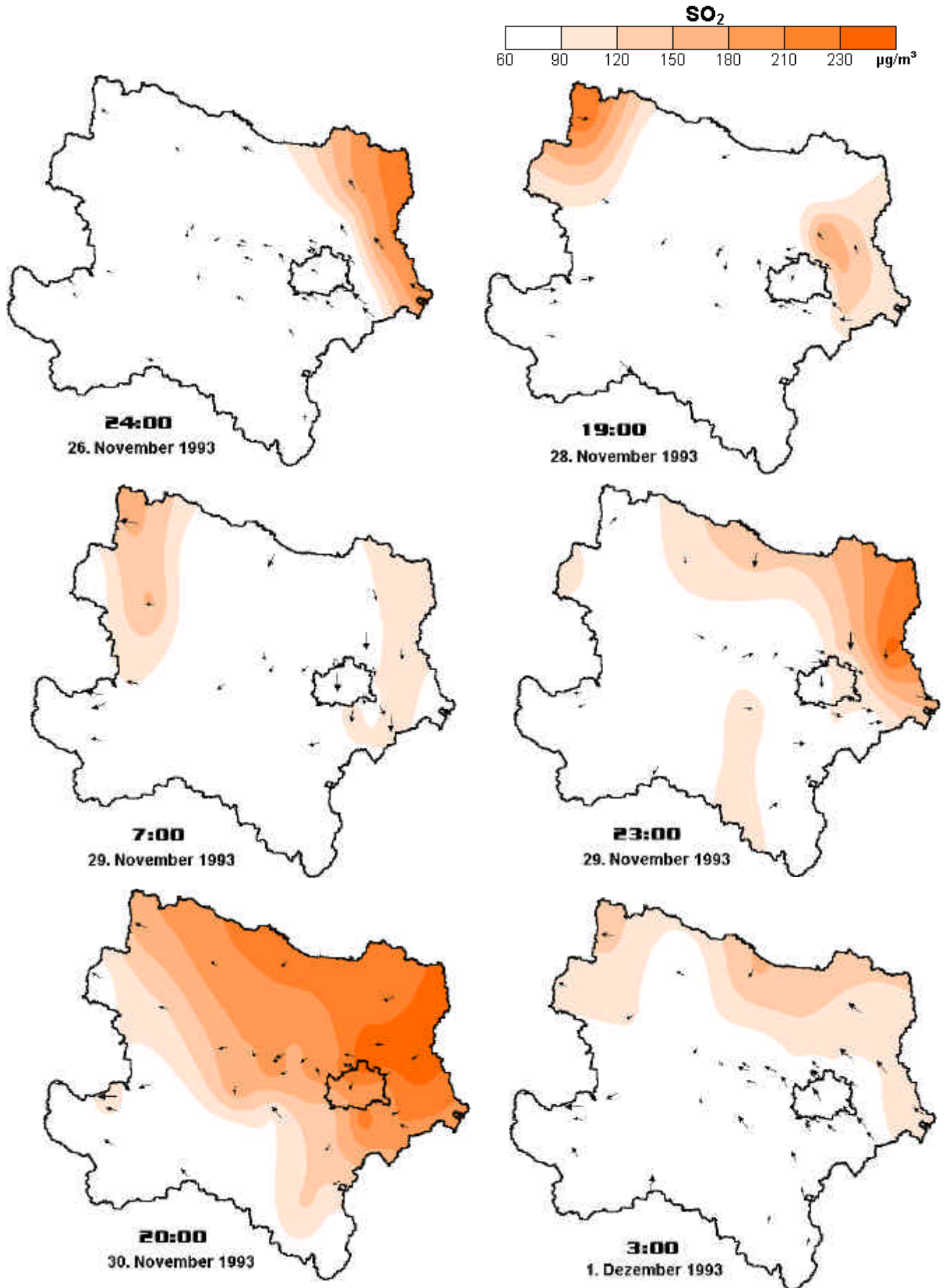


**Abbildung 4.11**  
Mittlere Schwefeldioxidbelastung in Nieder-  
österreich und Wien vom 26.11. bis 1.12.1993



**Abbildung 4.12**  
Mittlere Schwefeldioxidbelastung  
in Niederösterreich und Wien  
vom 26.11. (16:00) bis 1.12.1993 (6:00)

<sup>1</sup> Interpolation der Halbstundenmittelwerte aller verfügbaren  $\text{SO}_2$ -Messstellen Nordostösterreichs

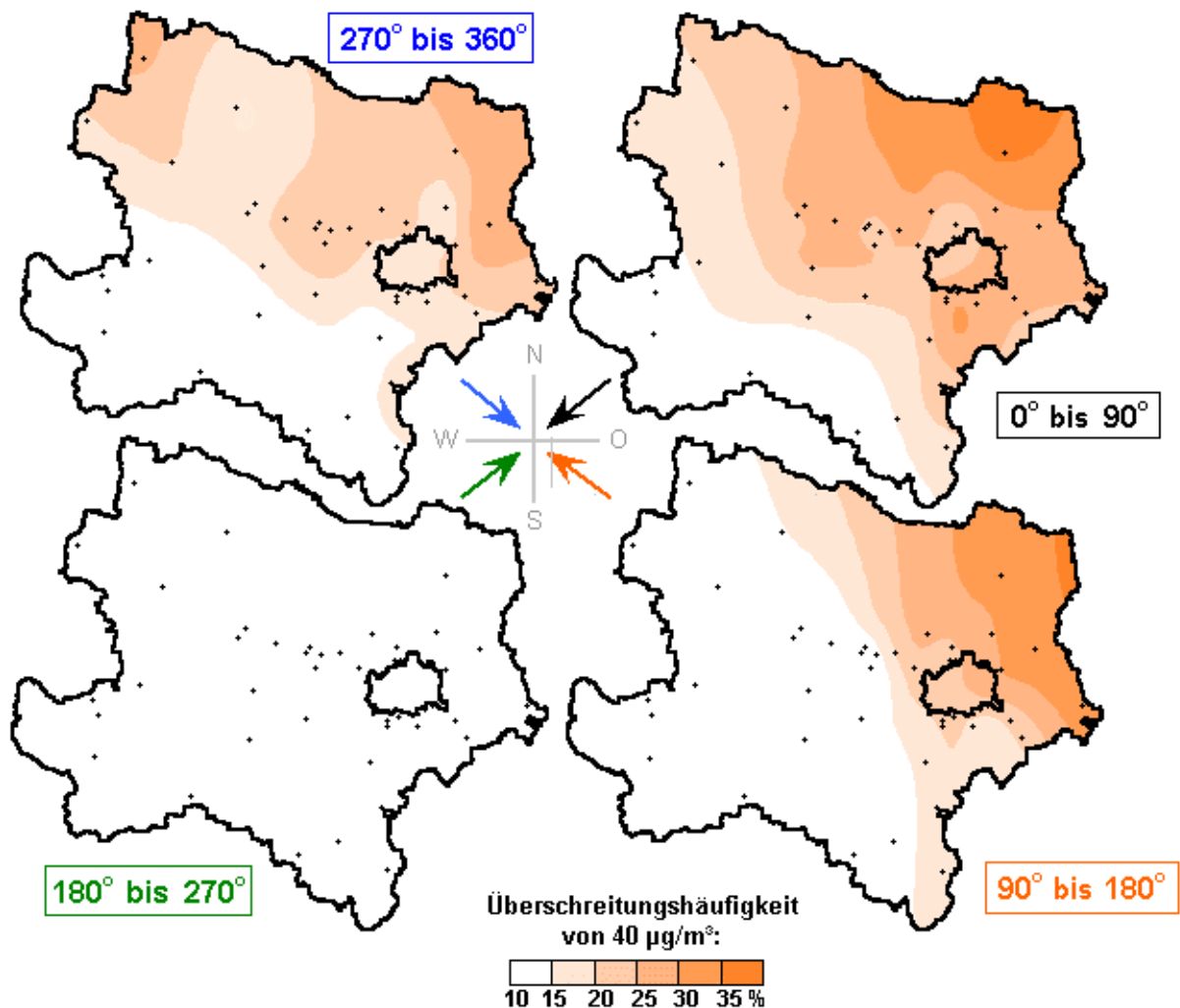


**Abbildung 4.13**  
 Zeitliche Entwicklung der Schwefeldioxid-Konzentrationen in Niederösterreich und Wien vom 26.11. bis 1.12.1993

#### 4.5 Schadstoffimport aus dem benachbarten Ausland

In Anbetracht der Fallstudie im vorangegangenen Kapitel stellt sich die Frage, wie häufig der Schadstoffimport aus dem benachbarten Ausland zu merklich erhöhten  $\text{SO}_2$ -Konzentrationen im Stadtgebiet von Wien führt. Zur Beantwortung dieser Fragestellung wurden die Schadstoffmessungen in Nordostösterreich an insgesamt 71 Tage mit erhöhten Schwefeldioxidkonzentrationen im Stadtgebiet von Wien entsprechend ausgewertet. Hinweise für die jeweilige Schadstoffvorbelastung lieferten die Messungen an den Luftgütemessstellen Niederösterreichs in der Grenznähe zu den Nachbarländern Tschechien und Slowakei.

Zuvor noch eine Auswertung zur Windrichtungsabhängigkeit der Schwefeldioxidbelastung in Nordostösterreich (Abb. 4.14). Unter Berücksichtigung aller Messwerte der Jahre 1988 bis 1997 zeigt sich, dass bei nördlicher bis südöstlicher Anströmung relativ häufig höhere  $\text{SO}_2$ -Konzentrationen in weiten Teilen des Wald- und Weinviertels bzw. im Großraum Wien sowie im nördlichen Wr. Becken erfaßt werden. Bei Windrichtungen aus Süd bis West, also Zustrom von Luftmassen die aus dem Alpenraum nach Niederösterreich gelangen, werden hingegen nur äußerst selten Konzentrationen über  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  erfaßt. Die Ablaufmuster, die im Zuge der einschlägigen Fallstudie in Kap. 4.4 herausgearbeitet wurden, führen offensichtlich mehr oder weniger regelmäßig zu einer erhöhten  $\text{SO}_2$ -Belastung im Stadtgebiet von Wien in Folge des Schadstoffimports nach Nordostösterreich.



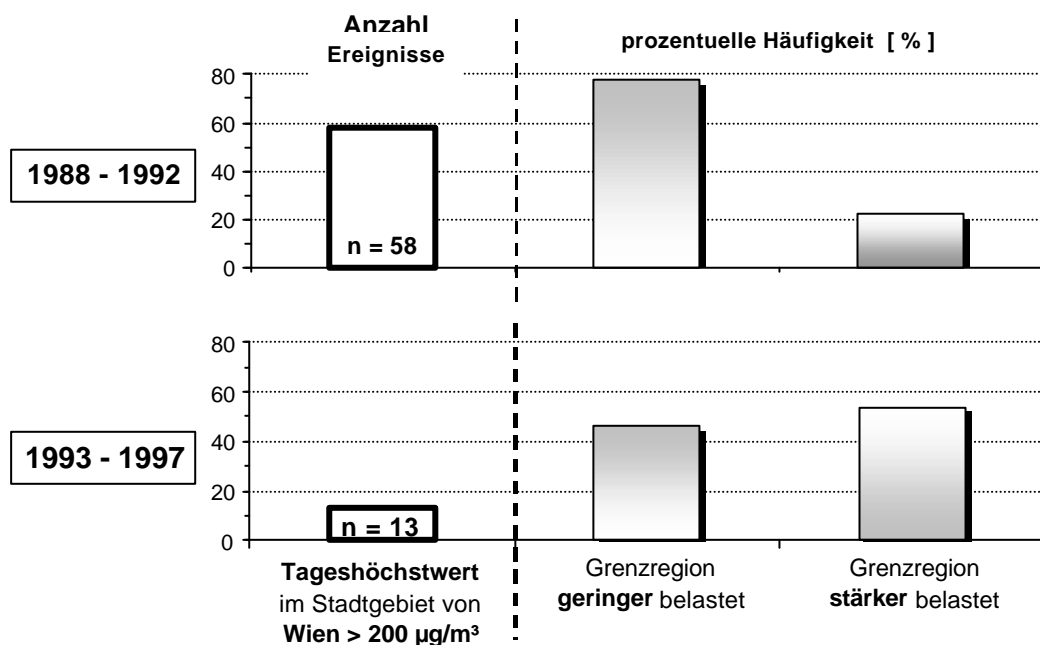
**Abbildung 4.14**

Überschreitungshäufigkeiten von  $\text{SO}_2$ -Konzentrationen über  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  bei Anströmung aus jeweils einem der vier Windrichtungssektoren; Halbstundenmittelwerte aller Luftgütemessstellen in Wien und Niederösterreich der Jahre 1988 – 1997

Zur Ermittlung der Schadstoff-Vorbelastung können folgende Standorte herangezogen werden: Heidenreichstein, Irnfritz, Pillersdorf, Mistelbach, Gänserndorf und Hainburg. Die SO<sub>2</sub>-Immissionen dieser Messstellen stellen bei nördlichem oder östlichem Wind, wenn sie sich also mit Sicherheit nicht in der Abgasfahne von Wien befinden, etwa die Schadstoffvorbelastung von Luftmassen aus dem Ausland dar. An Tagen mit höheren Konzentrationen in Grenznähe als im Stadtgebiet von Wien ist ein Schadstoffimport mit deutlichen Auswirkungen auf die Luftgüte in Niederösterreich bzw. Wien anzunehmen. Im umgekehrten Fall, wenn die SO<sub>2</sub>-Belastung in Wien höher liegt, kann davon ausgegangen werden, daß die Überschreitung des vorsorglichen Gesundheitsschutz-Grenzwertes (200 µg/m<sup>3</sup>) nicht ausschließlich eine Folge von Ferntransportprozessen gewesen ist, sondern dass auch hausgemachte Emissionen deutlich zur Belastungssituation beigetragen haben. Diese Überlegungen gestatten allerdings keine quantitativen Aussagen.

Das Ergebnis ist trotzdem sehr interessant. In den Jahren 1988 bis 1992 wurden in Wien wesentlich häufiger höhere SO<sub>2</sub>-Konzentrationen erfaßt als an den grenznahen Messstellen (Abb. 4.15). Nur an jedem fünften Tag lagen die Messwerte in den Grenzregionen höher als im Stadtgebiet von Wien. Die Grenzwertüberschreitungen waren damals offensichtlich noch zu einem wesentlich größeren Anteil hausgemacht, denn im Zeitraum 1993 bis 1997 waren die Immissionen in der Grenzregion bereits an gut jedem 2. der betrachteten Tage höher als in der Großstadt Wien.

⇒ Dem Schadstoffimport aus dem benachbarten Ausland kam hinsichtlich der SO<sub>2</sub>-Immissionen im Stadtgebiet von Wien im Zeitraum 1987 bis 1997 eine zunehmend größere Bedeutung zu. Während in den späten 80-iger Jahren der hausgemachte Anteil der Schwefeldioxidbelastung noch relativ hoch gewesen ist, waren die selten gewordenen Grenzwertüberschreitungen in den letzten Jahren häufig in erster Linie ein Resultat von Schadstoffimportprozessen aus den Nachbarländern.



**Abbildung 4.15**

Zeitliche Entwicklung der Häufigkeit von Spitzenbelastungen der SO<sub>2</sub>-Konzentration in Wien und der jeweiligen Belastungssituation im östl. bzw. nördl. NÖ (Grenzregion)

## 5 SCHADSTOFFEPISODEN IM GROSSRAUM WIEN

Die Luftmassen, die aus den Nachbarländern nach Nordostösterreich gelangen, weisen je nach Wetterlage, Temperatur- und Windverhältnissen etc. eine Schadstoffvorbelastung auf. Zusätzlich im Großraum Wien emittierte bzw. im Fall von Ozon gebildete Luftschadstoffe können zu Überschreitungen von vorsorglichen Grenzwerten zum Schutz der Vegetation oder der Gesundheit führen.

Die überregionalen bzw. regionalen Schadstoffanteile, aus welchen in Summe eine Beeinträchtigung der Luftqualität im Stadtgebiet von Wien resultiert, sollen in diesem abschließenden Kapitel getrennt für die klassischen Winter- und Sommerschadstoffe ermittelt und bezüglich ihrer Bedeutung für die Luftqualität in Wien statistisch ausgewertet werden.

### 5.1 Die Ozon-Hintergrundbelastung in Nordostösterreich

Während einer sommerlichen Ozonepisode setzt sich die Ozonbelastung in Nordostösterreich aus der Ozon-Vorbelastung (Hintergrundbelastung) und dem regional gebildeten Ozon zusammen. In Kapitel 4.2 wurde die Ozon-Hintergrundbelastung auf Basis der eingehenden Analyse der Ozonmessungen in Nordostösterreich ermittelt. Für eine Erfassung der jeweiligen Hintergrundbelastung für den gesamten Betrachtungszeitraum (Sommerhalbjahre 1990-1998) wäre der erforderliche Arbeitsaufwand allerdings enorm groß. Deshalb wurde eine rein statistische Methode zur Berechnung der täglichen Ozon-Hintergrundbelastung untersucht. Von den Tageshöchstwerten der Dreistundenmittelwerte des gesamten Messnetzes in Nordostösterreich wurde jeweils das 75-Perzentil ( $P_{75\%}$ ) berechnet. Verschiedene Analysen haben ergeben, dass dieser Wert eine gute Näherung für den jeweiligen Tageshöchstwert der landesweit vorhandenen Grund- bzw. Vorbelastung darstellt. Die Abschätzung der Hintergrundbelastung auf Basis dieses 75-Perzentils aller Höchstwerte eines Tages (Messstellen in Nordostösterreich) weist allerdings folgende Fehler auf, die im Normalfall allerdings vernachlässigbar sind:

1. An Tagen, an denen eine größere Anzahl von Messstellen eine deutliche regionale Ozonbildung erfassen (zumeist Tage mit Belastungsschwerpunkt Wien – siehe Kap. 4.2), wird die Hintergrundbelastung über- und damit der regional gebildete Ozonanteil unterschätzt (im Mittel um  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 64 Fallstudien, max. Abweichung  $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).
2. An Tagen, an welchen nur vereinzelte Messstellen Hinweise zu einer regionalen Ozonbildung liefern (zumeist Tage mit westlichen Windrichtungen), wird die Hintergrundbelastung unter- und damit der regional gebildete Ozonanteil überschätzt (im Mittel um  $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 16 Fallstudien, max. Abweichung  $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Im Vergleich zu den Werten der Fallstudien ergab die  $P_{75\%}$ -Methode eine im Mittel um knapp über  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  höhere Hintergrundbelastung (Kap. 4.3). Für die folgenden Analysen zur Abschätzung des regionalen Ozonbildungspotentials in Nordostösterreich, welche auf die ermittelten Hintergrundbelastungen aufbauen, ist diese Methode damit von ausreichender Genauigkeit.

Um zu überprüfen, ob die Berücksichtigung der städtischen Messstellen, die aufgrund der ständig vorhandenen NO-Emissionen im Mittel deutlich verringerte Ozonkonzentrationen erfassen (siehe Kap. 2.2.1), nicht zu einer Unterschätzung der tatsächlichen Hintergrundkonzentrationen führt, wurden die 75-Perzentile der Ozon-Tageshöchstwerte (MW3) ausschließlich mit den Daten der Freilandmessstellen in Nordostösterreich berechnet. Die außerordentlich gute Übereinstimmung zu den 75-Perzentilen der Ozon-Tageshöchstwerte auf Basis aller Messstellen bestätigte ebenfalls diese Methode zur Berechnung der sommerlichen Ozon-Vorbelastung in Nordostösterreich.

⇒ Anhand der Luftgütemessungen in Nordostösterreich sind Abschätzungen zur Ozon-Hintergrundbelastung in Mitteleuropa bzw. zur Vorbelastung von Luftmassen, die nach Wien gelangen, möglich. Der regionale Beitrag zur Gesamt-Ozonbelastung kann durch Bildung der Differenz zwischen

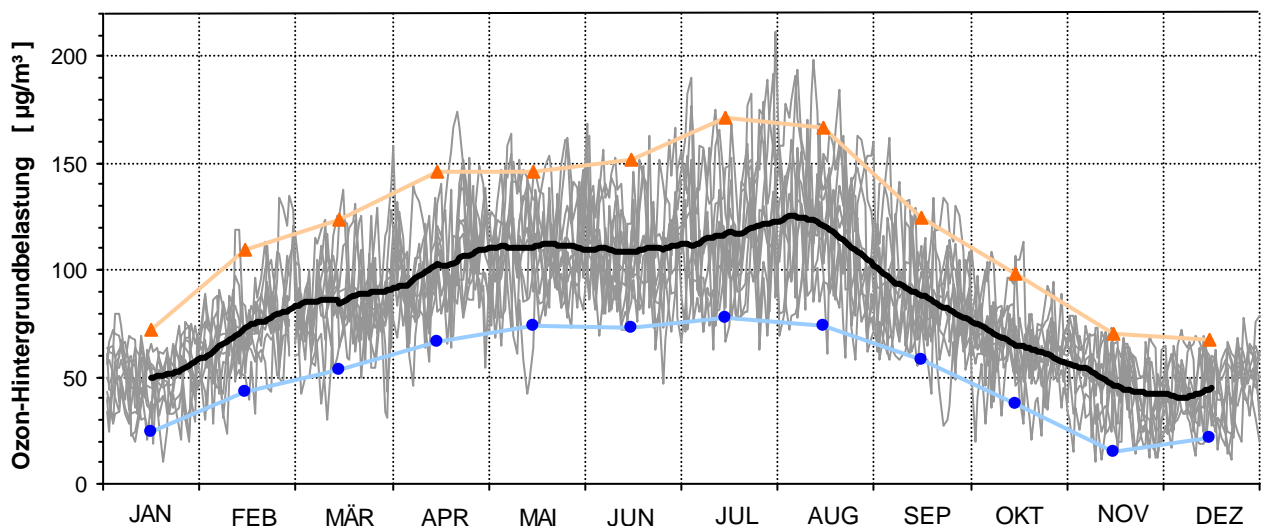
Tageshöchstwert in Nordostösterreich und der abgeschätzten Hintergrundbelastung näherungsweise bestimmt werden.

### 5.1.1 Jahresgang der Hintergrundbelastung

In Abbildung 5.1 wurden die Zeitreihen der berechneten Ozon-Hintergrundkonzentrationen für die Jahre 1990 bis 1998 eingezeichnet (graue Linien). Während in der ersten Jahreshälfte, beginnend im Februar, die Hintergrundbelastung jeweils kontinuierlich bis in den Mai anstieg, sank dieses großflächig vorhandene Hintergrundozon jeweils bereits ab September rasch ab. Interessant ist die relativ hohe Belastung bereits im Mai, während die Hintergrundkonzentrationen im Juni im Mittel über die 9 Jahre etwas tiefer lagen.

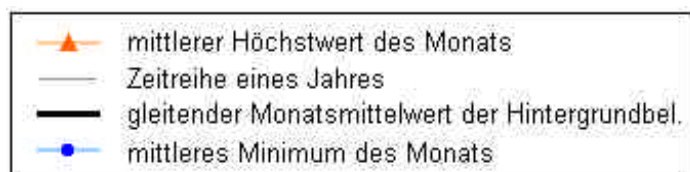
Während im Frühjahr und Frühsommer das Hintergrundozon nur sehr selten Werte über  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  annahm, wurde während hochsommerlicher Ozonepisoden mitunter eine deutlich höhere Vorbelastung registriert. Im Mittel lag sie in den Monaten Juli und August deutlich über den Monatsmittelwerten in den Monaten zuvor. Gleichzeitig wurden im Hochsommer nur selten Vorbelastungen unter  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$  erfasst. Die Berechnungen ergaben hingegen für die Wintermonate praktisch nie Hintergrundwerte über  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

In Abbildung 5.1 werden einige Ereignisse mit Hintergrundbelastungen über dem Vorwarnstufengrenzwert gemäß Ozongesetz von  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ausgewiesen. Tatsächlich wurde dieser Grenzwert allein aufgrund des Zustroms entstprechend vorbelasteter Luftmassen nie überschritten, wie in Kapitel 4.3 für die markantesten Ozonepisoden der vergangenen Jahre gezeigt werden konnte. Die hier aufscheinenden vereinzelt besonders hohen Hintergrundbelastungen zeigen die zuvor angedeuteten Fehler der Methode zur Berechnung der Ozonvorbelastung. Während dieser Episoden wurden nämlich an ungewöhnlich vielen Messstellen Ozonkonzentrationen deutlich über  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  erfasst, woraus  $P_{75\%}$ -Werte resultieren, die eine Hintergrundbelastung - fallweise 10 bis  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  über der tatsächlichen - vortäuschen.



**Abbildung 5.1**

Zeitreihen der Ozon-Hintergrundbelastung bzw. des 75 %- Perzentils der Ozon-Tageshöchstwerte (MW3) in Nordostösterreich in den Jahren 1990 bis 1998



Die Hintergrundbelastung zeigte stets eine ausgeprägte Abhängigkeit von den jeweiligen Witterungsverhältnissen:

- Die Hintergrundbelastung stieg in der Regel insbesondere während mehrtägiger Schönwetterphasen mit Tageshöchstwerten von über 20 °C rasch an. Bei tieferen Lufttemperaturen blieb auch das Hintergrundozon auf einem relativ tiefem Niveau.
  - Bei geringer Bewölkung während sommerlicher Hochdruckwetterlagen und damit intensiver Sonneneinstrahlung steigt die Ozonbelastung in Mitteleuropa kontinuierlich an, daraus resultiert eine hohe Ozon-Vorbelastung im Bereich von 150 bis 180 µg/m<sup>3</sup> für Nordostösterreich bzw. Wien.
  - Diese meteorologischen Verhältnisse führen während der Nachtstunden häufig zur Ausbildung einer Strahlungsinversion (siehe Kap. 2.3.1). Daraus resultiert vor allem über dem Stadtgebiet eine Anreicherung der bodennahen Atmosphäre mit Primärschadstoffen, u.a. Stickoxiden. Die daraus resultierende Ozonzerstörung hat keinen Einfluss auf die sogenannte Hintergrundbelastung, welche ja auch als Reservoir Ozon bezeichnet wird (siehe Kap. 2.3) und unbeeinflusst von dem auf bodennahe Luftschichten beschränkten, nächtlichen Ozonabbau ist (siehe Kap. 4.1.1).
  - Bei windschwachen Wetterlagen liegt die Hintergrundbelastung im Mittel deutlich über den Werten, die bei Strömungssituationen mit höheren Windgeschwindigkeiten auftreten.
- ⇒ Aufgrund der für die Ozonbildung günstigen Witterungsbedingungen steigt in Mitteleuropa die Ozon-Hintergrundbelastung im Frühling und Frühsommer kontinuierlich an. Während sommerlicher Ozonepisoden liegt die Vorbelastung der nach Nordostösterreich gelangenden Luftmassen zumeist über 120 µg/m<sup>3</sup>.

5.1.2 Zeitliche Entwicklung und Häufigkeitsstatistik der Hintergrundbelastung

Geänderte meteorologische Verhältnisse führen zumeist zu ausgeprägten Änderungen der Ozon-Hintergrundbelastung. In der folgenden Abbildung 5.2 ist der ausgeprägte Zusammenhang zwischen zeitlicher Entwicklung der Vorbelastung von Tag zu Tag und gleichzeitig beobachtetem Trend der Lufttemperatur bzw. der täglichen Globalstrahlungssumme dargestellt. Bei einem Temperaturanstieg gegenüber dem Vortag (jeweils Differenz Tageshöchstwert aktueller Tag minus Tageshöchstwert Vortag) steigt üblicherweise auch die Hintergrundbelastung merklich an. Ist hingegen ein Absinken der Temperaturen, welches zumeist im Zusammenhang mit einer Wetterverschlechterung (u.a. Bewölkungszunahme und auffrischender Wind) steht, zu beobachten, sinken auch die Ozonwerte.

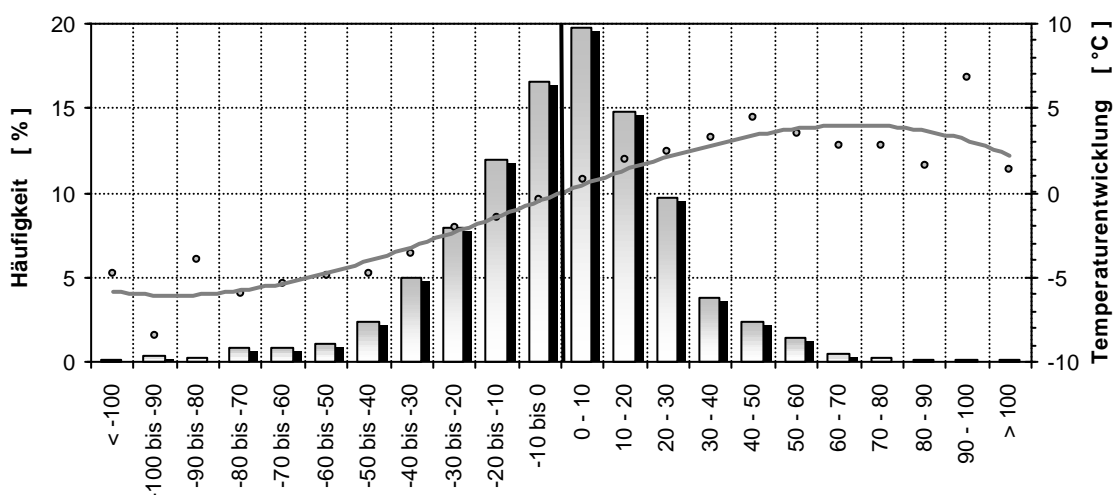
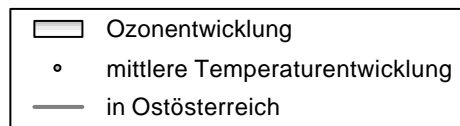
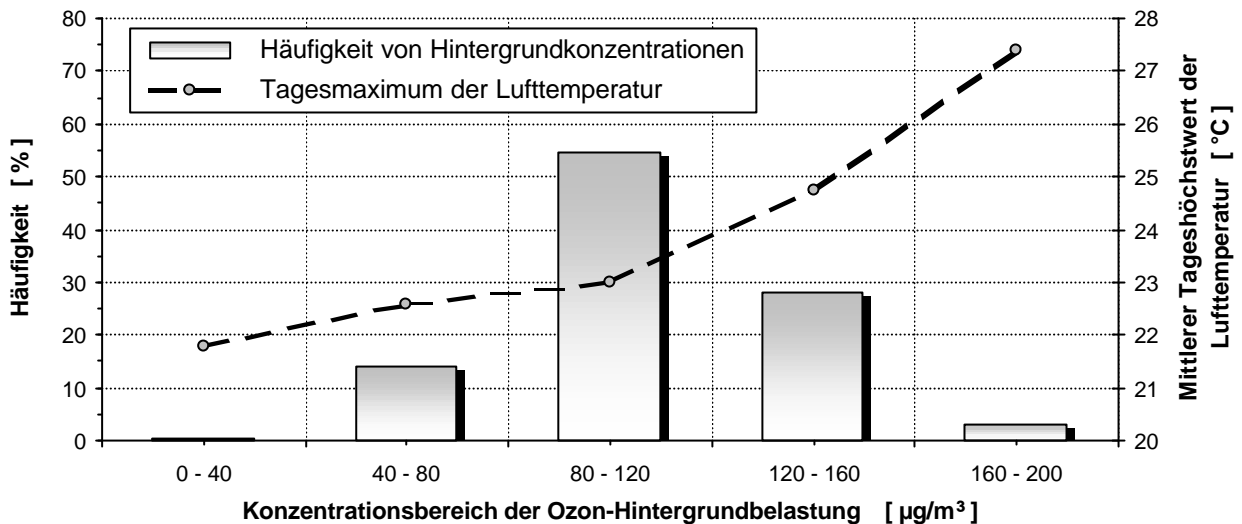


Abbildung 5.2 Zeitliche Entwicklung der Hintergrund-Ozonkonzentration [µg/m<sup>3</sup>]

Zeitliche Entwicklung der Hintergrund-Ozonkonzentration sowie Temperaturentwicklung (aktueller Tageshöchstwert minus Maximum vom Vortag); Sommerhalbjahre 1990 - 1998



Mit Abstand am häufigsten traten in Nordostösterreich während der Sommerhalbjahre Hintergrundbelastungen im Bereich von 80 bis 120  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  auf. Während sommerlicher Ozonepisoden wurden hingegen Hintergrundbelastungen über 120  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ermittelt. Die höchsten des Hintergrundwerte traten nur bei Tageshöchstwerten der Lufttemperatur deutlich über 25 °C auf (Abb. 5.3).



**Abbildung 5.3**

Häufigkeitsverteilung berechneter Ozon-Hintergrundkonzentrationen in Nordostösterreich (75 %-Perzentil der Tageshöchstwerte (MW3) des gesamten Messnetzes); 1990 - 1997

Die Auswertungen in Kapitel 3.3 zur Überschreitungshäufigkeit des Vegetationsschutz-Grenzwertes haben ergeben, dass an der Hügelmessstelle Hermannskogel (Wienerwald) durchschnittlich über die Hälfte aller Messwerte eines Jahres über dem Vegetationsschutz-Grenzwert 7MW bzw. MW8 über 60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (siehe Kap. 2.2.3.3) liegen. Die in Abb. 5.3 abgebildete Häufigkeitsauszählung zur Hintergrundbelastung zeigt sehr deutlich, daß eine Überschreitung dieses Grenzwertes häufig bereits aus der Vorbelastung von Luftmassen, die nach Wien gelangen, resultieren kann. Für eine Überschreitung der Vegetationsschutz-Grenzwertes bedarf es folglich zumeist nicht einer zusätzlichen regionalen Ozonbildung im Großraum Wien. Wie im folgenden Kapitel gezeigt wird, gilt dies keinesfalls für Ozonepisoden mit Überschreitungen der Vorwarnstufe gemäß Ozongesetz.

⇒ Die Hintergrundbelastung liegt praktisch während des gesamten Sommerhalbjahres über dem vorsorglichen Grenzwert zum Schutz der Vegetation. Lediglich im Stadtgebiet wird das Ozon während der Nachtstunden wegen der Oxidation von NO zu NO<sub>2</sub> mitunter bis zur Nachweisgrenze abgebaut.

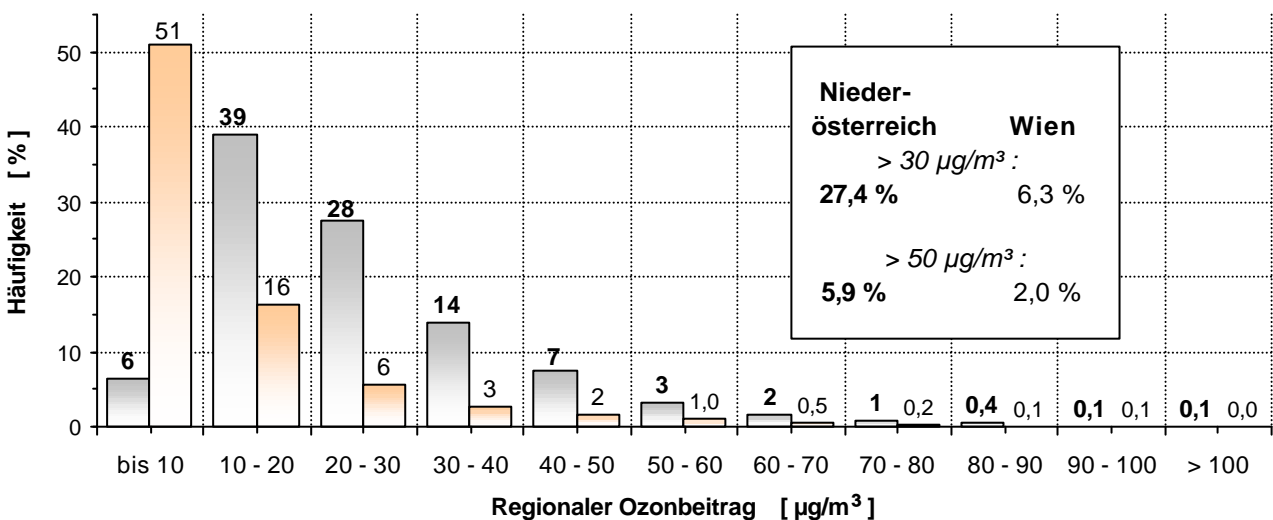
### 5.2 Das regionale Ozonbildungspotential in Nordostösterreich bzw. Wien

Aufgrund der Erkenntnisse umfangreicher Studien (z.B. POP, 1997) sind Spitzenbelastungen der Ozonkonzentration in Nordostösterreich, wobei Werte deutlich über denen der Vorbelastung beobachtet wurden, nahezu ausschließlich in der Abgasfahne der Ballungszentren Wien, Bratislava sowie fallweise Linz aufgetreten. An Episodentagen kommt mit Sicherheit der regionalen Ozonbildung eine große Bedeutung zu, und folglich primär den Emissionen von Vorläufersubstanzen in den Ballungszentren.

Zur Abschätzung der jeweiligen Intensität der regionalen Ozonbildung wurden von den in Wien bzw. Niederösterreich gemessenen Tageshöchstwerten der Ozonkonzentration die berechneten Hintergrundkonzentrationen abgezogen:

$$\text{Regionaler Ozonbeitrag} = \text{Tageshöchstwert in Wien bzw. NÖ} \text{ minus Hintergrundbelastung}$$

In Abbildung 5.4 ist eine Häufigkeitsverteilung der mittels dieser einfachen Methode berechneten regionalen Ozonbeiträge dargestellt. Sehr häufig wurden in den Sommerhalbjahren Beiträge bis  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ermittelt, ein Bereich, der aufgrund der verschiedenen Unsicherheiten, mit welchen diese Abschätzung behaftet ist (siehe Kap. 5.1), keine konkreten Rückschlüsse zulässt.



**Abbildung 5.4**

Häufigkeit von Tagen mit maximalen regionalen Beiträgen zur Ozonbelastung in Niederösterreich bzw. Wien; Sommerhalbjahre ( April - September ) 1990 - 1998

Höhere Beiträge von über  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sind hingegen verlässliche Indikatoren des Ozonbildungspotentials in Nordostösterreich. Diese höheren Werte resultieren zumeist aus der verstärkten regionalen Ozonbildung im Lee der Ballungszentren Wien oder Bratislava, welche im Stadtgebiet der Bundeshauptstadt wesentlich seltener zu hohen Ozonwerten führen als in Niederösterreich (Abb. 5.4). Während des Sommerhalbjahres sind an ca. einem Viertel der Tage regionale Ozonbeiträge von über  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und schließlich im Schnitt an 10 Tagen des Jahres Beiträge von über  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  zu beobachten. Die Zahl von Tagen mit Überschreitung der Vorwarnstufe gemäß Ozongesetz im Ozonüberwachungsgebiet 1 ist allerdings etwas geringer: Denn aufgrund der je nach Windverhältnissen mitunter relativ kleinräumigen Ausbreitung ozonreicher Luftmassen im Großraum Wien werden die Spitzenwerte der Ozonkonzentration mitunter nur an einzelnen Messstellen erfasst. Für eine offizielle Vorwarnung bedarf es jedenfalls der Überschreitung an zumindest 2 Luftgütemessstellen.

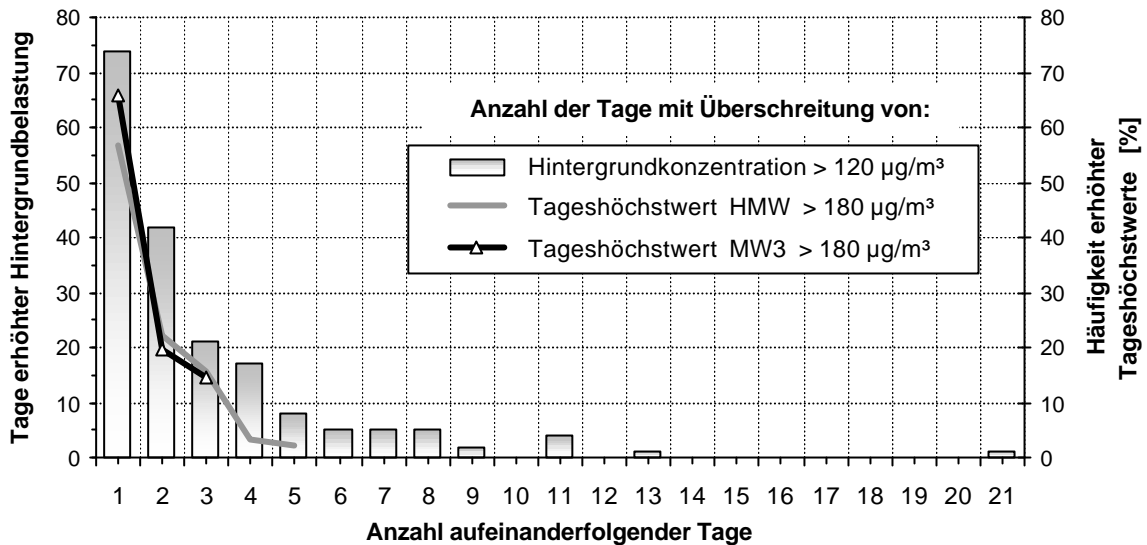


Abbildung 5.5

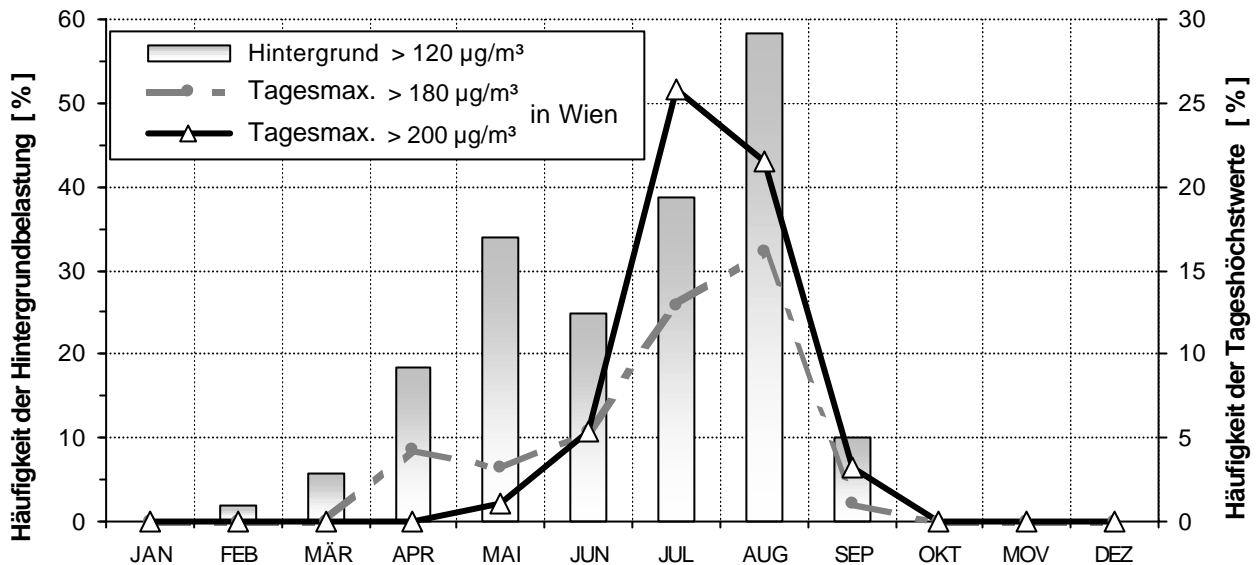
"Dauer von Ozonepisoden in Nordostösterreich"

Häufigkeit des Auftretens erhöhter Hintergrundbelastungen ( $P_{75\%} > 120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) sowie von erhöhten Tageshöchstwerten [%] in Abhängigkeit von der Dauer des Ereignisses

Nicht nur die Anzahl, sondern auch Informationen zur durchschnittlichen Dauer von Episoden mit hohen Hintergrundbelastungen bzw. hohen Tageshöchstwerten der Ozonkonzentration ( $\text{MW3} > 180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) sind von Interesse. Abbildung 5.5 zeigt daher eine Häufigkeitsverteilung zur durchschnittlichen Dauer (in Tagen) von Episoden hoher Hintergrundbelastung bzw. hoher Ozonspitzenbelastungen. Meist dauerten Ozonepisoden nur wenige Tage an, bereits Episoden von 5 aufeinanderfolgenden Tagen mit Hintergrundbelastungen über  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  wurden sehr selten beobachtet. Lediglich im Sommer 1992 traten über 3 Wochen hinweg Hintergrundkonzentrationen über diesem Wert auf. Hohe Kurzzeitmittelwerte (HMW bzw.  $\text{MW3} > 180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) werden außerordentlich selten an mehreren aufeinanderfolgenden Tagen überschritten. Ozonepisoden mit Spitzenkonzentrationen sind von kurzer Dauer.

Zuletzt noch eine Darstellung zum Jahrgang der Hintergrund- sowie Spitzenbelastungen der Ozonkonzentrationen in Wien. Im Gegensatz zu Abb. 5.1 ist in Abb. 5.6 das frühe Auftreten des Maximums hoher Hintergrundkonzentrationen im Mai noch ausgeprägter zu erkennen. Im Stadtgebiet von Wien werden bereits im April relativ häufig höhere Konzentrationen erfasst. Während also Spitzenwerte (MW3) der Ozonkonzentration von  $> 180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in Nordostösterreich ebenfalls unerwartet häufig bereits im späten Frühling auftreten, treten Höchstwerte (MW3) von  $> 200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  praktisch nur in den Monaten Juni bis August auf. Die Gründe für die hohe Hintergrundbelastung, bei gleichzeitig wesentlich selteneren absoluten Spitzenbelastungen in den Monaten April und Mai, sind noch nicht bekannt.

⇒ Ozonepisoden, bei welchen Überschreitungen der Vorwarnstufe gemäß Ozongesetz registriert werden, sind in Nordostösterreich bisher nahezu ausschließlich in den Monaten Juli und August aufgetreten. Dabei konnte stets eine regionale Ozonbildung beobachtet werden.



**Abbildung 5.6**

Mittlere Häufigkeit von Tagen mit einer Ozon - Hintergrundkonzentration MW3 > 120 µg/m³ in Nordostösterreich. Vergleich zur Häufigkeit von Tageshöchstwerten der Ozonkonzentration in Wien von MW3 > 180 bzw. > 200 µg/m³ an diesen Tagen. Datengrundlage: 1990 - 1998

Das relativ seltene Auftreten von Ozonkonzentrationen über 200 µg/m³ an gleichzeitig mehreren Messstellen in Nordostösterreich wird durch Tabelle 5.1 verdeutlicht. In den Jahren 1990 bis 1998 wurden an insgesamt 60 Tagen Ozonwerte > 200 µg/m³ erfasst. Häufig wurden diese Spitzenbelastungen nur an einer einzelnen Messstelle registriert (30 Tage).

⇒ Der Grenzwert der Vorwarnstufe gemäß Ozongesetz wurde im Ozonüberwachungsgebiet 1 (Wien, Niederösterreich und nördliches Burgenland) nur sehr selten an einer größeren Anzahl von Messstellen gleichzeitig erfasst.

Zwischen 1990 und 1998 sind an lediglich 5 Tagen im Untersuchungsgebiet Ozonkonzentrationen MW3 > 200 µg/m³ aufgetreten, die Wien und Umgebung nicht betrafen. Häufig wurden in Wien und am Stadtrand gleich an mehreren Standorten die höchsten Ozonkonzentrationen Nordostösterreichs registriert.

⇒ Der Belastungsschwerpunkt lag im Ozonüberwachungsgebiet 1 während sommerlicher Ozonepisoden häufig im Großraum Wien. Außerdem wurden hohe Ozonkonzentrationen wiederholt in der Abgasfahne von Bratislava und fallweise von Linz erfasst.

Zumeist waren nur eine oder zwei der vier Regionen (Wien und Umgebung, Weinviertel, Waldviertel und Voralpengebiet, Wiener Becken und nördliches Burgenland) von Spitzenbelastungen betroffen (53 Tage). Großräumige Ozonepisoden mit einem Ansteigen der Ozonkonzentrationen (MW3) über die 200 µg/m³ - Schwelle in insgesamt drei Regionen konnten nur an 7 Tagen beobachtet werden, in allen 4 Regionen gleichzeitig trat bisher kein derartiger Vorfall auf..

⇒ Überschreitungen der Vorwarnstufe gemäß Ozongesetz sind zumeist in Wien und / oder der Abgasfahne der Stadt anzutreffen. Gleichzeitige Überschreitungen in weiten Teilen des Ozonüberwachungsgebietes 1 sind äußerst selten.

Bei den Messstellen im Stadtgebiet von Wien wurden Spitzenbelastungen häufig an der Messstelle Hermannskogel registriert. Eine gleichzeitige Überschreitung an den Messstellen Hermannskogel am nordwestlichen Stadtrand von Wien und an der Messstelle Lobau am südöstlichen Stadtrand wurde nur

ein einziges Mal beobachtet. Daran zeigt sich wiederum, dass Spitzenbelastungen der Ozonkonzentration räumlich stark begrenzte Ereignisse sind, bzw. im Zusammenhang mit den eingehenden Analysen in Kapitel 4, dass die jeweiligen Windverhältnisse von größter Bedeutung sind. Überschreitungsergebnisse im Nordwesten der Stadt (relativ häufig Hermannskogel und Hohe Warte) treten üblicherweise bei Südostwind, Spitzenbelastungen in der Lobau bei Nordwestwind bis Nordwind auf. Die seltenen Ereignisse mit Ozonwerten  $MW3 > 200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  an zumindest 3 Messstellen Wiens waren ausschließlich an Tagen mit drehendem Wind, und der Verlagerung einer Ozonwolke (Kap. 4.2.4) über das Stadtgebiet von Wien hinweg, zu beobachten.

⇒ Hohe Ozonkonzentrationen im gesamten Stadtgebiet von Wien treten üblicherweise auf, wenn sich in Folge drehender Windverhältnisse keine Ozonfahne im Lee des Ballungszentrums ausbildet, sondern eine im Großraum Wien entstandene, besonders ozonreiche Luftmasse über das Stadtgebiet hinweg verlagert wird.

**Tabelle 5.1**

Anzahl von Tagen mit Tageshöchstwerten der Ozonkonzentration  $MW3 > 200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , jeweils registriert gleichzeitig an 1 bis 11 Messstellen bzw. in vier Regionen Nordostösterreichs; 1990 - 1998

Anzahl Messstellen:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Summ
<b>Wien &amp; Umgebung</b>		2 2 1 1 1 1	2 3 1 2	4 3 1 3	1 2 4 6 1 4 2 5				4	6	5	<b>67</b>
<b>Waldviertel &amp; Voralpen</b>		1 1	1 2 1 1	1	1 4 4 1		5 4		5		1	<b>32</b>
<b>Weinviertel</b>		1 1 1		1 1	2		2 1 1			3	5	<b>19</b>
<b>Wr. Becken &amp; nördl. Burgenland</b>		1 1	1 1 3	2		1		1		1		<b>12</b>
<b>Exelberg</b>	4		1 1	1	1 1	1	1	1	1	1	1	<b>15</b>
<b>Hermannskogel</b>	8	1 1 1 1	1	1 1	1 1 1 1	1	1	1 1	1 1	1 1	1	<b>24</b>
<b>Klosterneuburg</b>	2	1			1 1 1	1	1 1	1 1	1	1	1	<b>14</b>
<b>Laaerberg</b>							1			1		<b>2</b>
<b>Lobau</b>	1	1 1					1 1				1	<b>6</b>
<b>Schwechat</b>			1				1 1	1				<b>4</b>
<b>Stephansplatz</b>			1				1	1	1	1	1	<b>6</b>
<b>Zentralanstalt</b>	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	<b>11</b>
<b>Amstetten</b>					1 1		1					<b>3</b>
<b>Annaberg</b>			1									<b>1</b>
<b>Dunkelsteinerwald</b>	4	1	1 1		1		1	1	1	1		<b>11</b>
<b>Forsthof</b>					1							<b>1</b>
<b>Kollmitzberg</b>			1			1						<b>2</b>
<b>Krems</b>			1						1			<b>2</b>
<b>Ostrong</b>						1		1		1		<b>3</b>
<b>St. Leonhard</b>	1					1 1		1		1		<b>5</b>
<b>St. Pölten</b>	1	1					1 1		1	1		<b>5</b>
<b>St. Valentin</b>							1 1					<b>2</b>
<b>Streithofen</b>								1		1	1	<b>3</b>
<b>Gänsersdorf</b>	3	1						1		1	1	<b>7</b>
<b>Mistelbach</b>			1			1		1			1	<b>5</b>
<b>Pillersdorf</b>			1									<b>1</b>
<b>Stockerau</b>											1	<b>1</b>
<b>Tulln</b>	1							1		1	1	<b>4</b>
<b>Wolkersdorf</b>				1		1		1		1	1	<b>5</b>
<b>Eisenstadt</b>	1				1							<b>2</b>
<b>Hainburg</b>	1				1					1		<b>5</b>
<b>Illmitz</b>	1			1	1							<b>3</b>
<b>Mödling</b>	1			1								<b>2</b>
<b>Stixneusiedl</b>		1 1		1				1				<b>4</b>
<b>Wiesmath</b>	1											<b>1</b>
<b>Gesamt:</b>	<b>30</b>	<b>9</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>60</b>
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	

Keine Überschreitungen in:

Großgöttfritz, Heidenreichstein, Irnfritz, Nebelstein, Payerbach, Bad Vöslau, Ternitz, Wr. Neustadt

### 5.3 Luftschadstoff-Belastungsepisoden

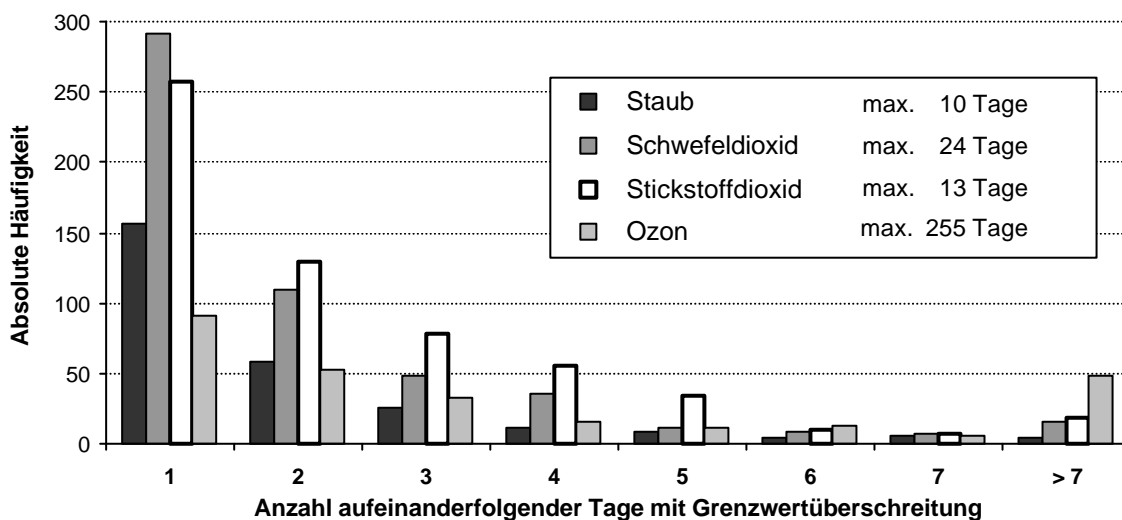
In Anbetracht der in den Kapiteln 4 und 5.1 durchgeführten Analysen zur Ausbildung von Schadstoffepisoden stellen sich noch folgende Fragen:

- Wie lange dauern Schadstoffepisoden an bzw. werden Grenzwerte über längere Zeiträume oder nur kurze Zeit überschritten?
- Zu welcher Jahreszeit werden besonders häufig Überschreitungen registriert?
- In welchen Stadtteilen oder Siedlungsräumen ist häufig mit hohen Schadstoffkonzentrationen bzw. Grenzwertüberschreitungen zu rechnen?
- Zeigen die durchschnittlichen Überschreitungshäufigkeiten in den vergangenen Jahren einen steigenden oder fallenden Trend?

Der Beantwortung dieser Fragen ist jeweils ein Kapitel gewidmet.

#### 5.3.1 Andauer von Luftschadstoff-Belastungsepisoden

In Abbildung 5.7 ist die Häufigkeit von Schadstoffepisoden mit Überschreitungen der Vegetationsschutz-Grenzwerte (Kapitel 2.3) im Stadtgebiet von Wien an aufeinanderfolgenden Tagen dargestellt, und zwar getrennt für die Luftschadstoffe: Schwebstaub, Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Ozon. Für Stickstoffmonoxid ist in Österreich kein Grenzwert festgelegt und beim Kohlenmonoxid werden in Wien seit Jahren keine Überschreitungen mehr festgestellt, deshalb sind diese Schadstoffe weder in dieser noch in den folgenden Abbildungen enthalten.



**Abbildung 5.7**

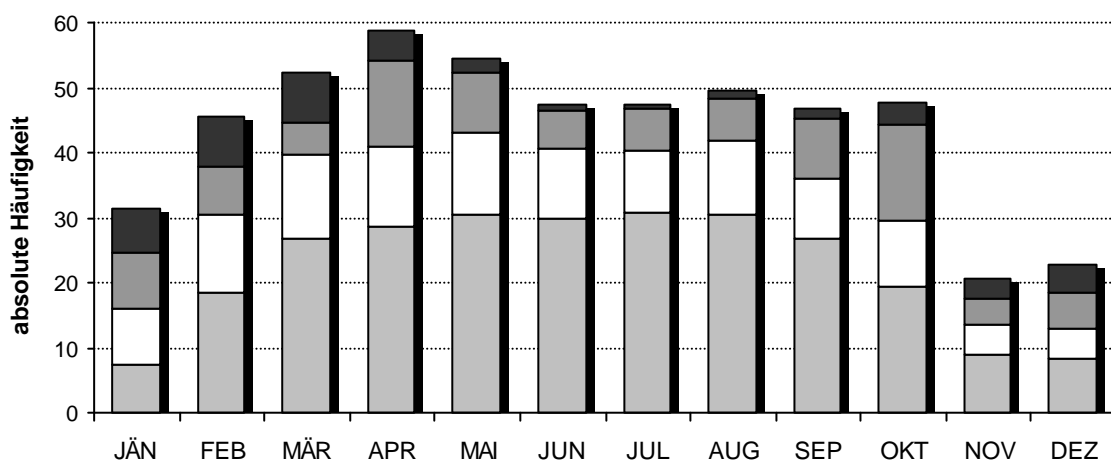
Absolute Häufigkeit von Episoden mit Überschreitung des Vegetationsschutz-Grenzwertes an zumindest einer Luftgütemessstelle Wiens an aufeinanderfolgenden Tagen; Messwerte der Jahre 1986 – 1998

- ⇒ Episoden mit Überschreitung der vorsorglichen Vegetationsschutz-Grenzwerte sind für die Schadstoffe Schwebstaub, Stickstoffdioxid sowie Schwefeldioxid zumeist von kurzer Dauer. Nur selten werden Überschreitungen kontinuierlich über Tage hinweg beobachtet. Klassische winterliche Belastungsepisoden mit hohen Schadstoffbelastungen über Tage und Wochen sind in Wien offensichtlich sehr selten.
- ⇒ Die Ozonkonzentration im Stadtgebiet von Wien überschreitet häufig über Monate hinweg Tag für Tag die für die Vegetation unbedenklichen Werte. Hier macht sich die hohe sommerliche Hintergrundbelastung in Mitteleuropa bemerkbar.

### 5.3.2 Belastungsepisoden im Jahresverlauf

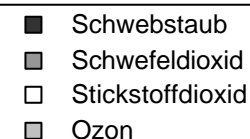
Die mittlere Häufigkeit von Überschreitungen der Vegetationsschutz-Grenzwerte im Laufe des Jahres zeigt einige interessante Gesetzmäßigkeiten (Abb. 5.8):

- ⇒ Überschreitungen des Vegetationsschutzgrenzwertes für Schwebstaub treten häufig im Winter und nur relativ selten während des Sommerhalbjahres auf.
- ⇒ Die Schwefeldioxidbelastung ist während des Winters im Mittel am höchsten. Da außerhalb der Vegetationsperiode allerdings auch ein etwas höherer Vegetationsschutz-Grenzwert festgelegt ist als im Sommerhalbjahr, kommt es im April und Oktober, wenn die mittlere  $\text{SO}_2$ -Belastung noch relativ hoch bzw. bereits wieder ansteigend ist und bereits bzw. noch der tiefere Sommergrenzwert Gültigkeit hat, am häufigsten zu Grenzwertüberschreitungen.
- ⇒ Die Überschreitungshäufigkeit des Vegetationsschutzgrenzwertes für Stickstoffdioxid zeigt nur einen geringen Jahresgang. Die Oxidation von  $\text{NO}$  zu  $\text{NO}_2$  ist allerdings stark temperaturabhängig, sodass zwar die höchsten  $\text{NO}$ -Konzentrationen im Winter, aufgrund der verringerten chemischen Reaktivität die höchsten  $\text{NO}_2$ -Konzentrationen hingegen im Sommer erfasst werden.
- ⇒ Bezüglich Ozon ist im Stadtgebiet von Wien üblicherweise über das gesamte Sommerhalbjahr der Vegetationsschutz nicht gewährleistet.



**Abbildung 5.8**

Mittlere Häufigkeiten von Tagen mit Vegetationsschutz-Grenzwertüberschreitungen im Stadtgebiet von Wien; Datengrundlage 1987 bis 1998, kumulative Darstellung



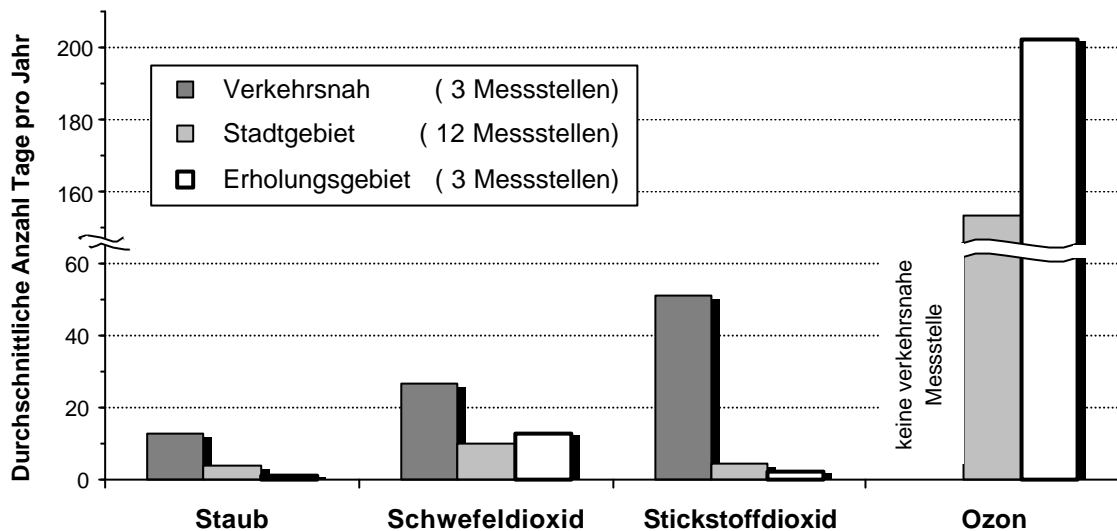
### 5.3.3 Grenzwertüberschreitungen in der Stadt

In Kapitel 3.1 wurden die Wiener Luftgütemessstellen charakteristischen Standorten zugeordnet. Abbildung 5.9 zeigt die mittleren Überschreitungshäufigkeiten des Vegetationsschutz-Grenzwertes getrennt für verkehrsnah und städtische Standorte sowie für Messstellen am Stadtrand in den Erholungsgebieten von Wien.

- ⇒ Überschreitungen des Vegetationsschutz-Grenzwertes für Schwebstaub und Stickstoffdioxid werden hauptsächlich an verkehrsnahen Messstellen beobachtet. Hier zeigt sich sehr deutlich der große Einfluss des Kfz-Verkehrs auf die Luftqualität im Stadtgebiet von Wien. In den Wohngebieten und am Stadtrand werden nur relativ selten Überschreitungen registriert.
- ⇒ Der Vegetationsschutz-Grenzwert für Schwefeldioxid wurde in den vergangenen Jahren sehr selten überschritten. Während Schadstoffepisoden treten allerdings auch an den städtischen und Stadtrand-Messstellen relativ hohe Konzentrationen auf. Hier zeigen sich recht deutlich die Auswirkungen

gen des grenzüberschreitenden Schadstoffentransports, welcher sich zumeist auf sämtliche Messstellen gleichermaßen auswirkt.

- ⇒ Im Gegensatz zu den Primärschadstoffen wird der Vegetationsschutz-Grenzwert für den Sekundärschadstoff Ozon am häufigsten in den Erholungsgebieten am Stadtrand überschritten und zeigt damit ein signifikant gegensätzliches Verhalten zu  $\text{NO}_x$ . Die Stickoxidemissionen des Kfz-Verkehrs führen zunächst zu einer Ozonverringerung in unmittelbarer Straßennähe, erst in größerer Entfernung, häufig am Stadtrand, führen die Emissionen von Vorläufersubstanzen vor allem während des Sommers zu einer regionalen Ozonbildung.



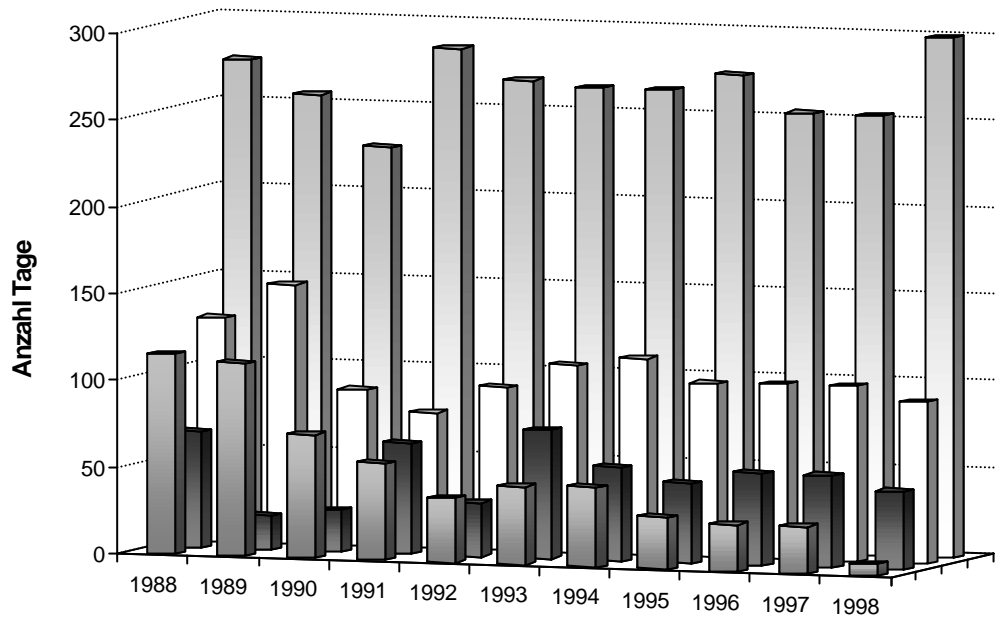
**Abbildung 5.9**

Durchschnittliche Anzahl von Tagen mit Überschreitungen der Vegetationsschutz-Grenzwerte an charakteristischen Standorten im Stadtgebiet von Wien; Datengrundlage 1987 - 1998

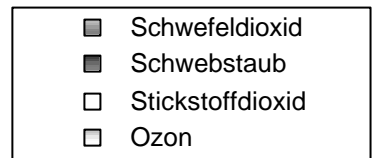
#### 5.3.4 Trends bei den Grenzwertüberschreitungen in den Jahren 1987 bis 1998

Zuletzt noch ein direkter Vergleich hinsichtlich der zeitlichen Entwicklung der Überschreitungshäufigkeiten der vorsorglichen Vegetationsschutz-Grenzwerte bezüglich Schwefeldioxid, Schwebstaub, Stickstoffdioxid sowie Ozon (Abb. 5.10)<sup>1</sup>. Beim  $\text{SO}_2$  zeigt sich auch bei den Überschreitungshäufigkeiten ein durchwegs abnehmender Trend. Die ausgeprägten Schwankungen in den ersten Jahren der Messungen verhindern ähnlich klare Aussagen für die anderen Schadstoffe. Beim  $\text{NO}_2$  ist seit 1994 eine leichte Abnahme zu verzeichnen. Beim Schwebstaub und insbesondere Ozon verhindern zusätzlich die witterungsbedingten Schwankungen von Jahr zu Jahr konkrete Aussagen zur längerfristigen Entwicklung der Schadstoffbelastung. Einen signifikanten Anstieg oder eine Abnahme der Überschreitungshäufigkeiten bezüglich Vegetationsschutz-Grenzwert konnte beim Schwebstaub und Ozon jedenfalls nicht beobachtet werden,

- ⇒ Lediglich der Luftschadstoff Schwefeldioxid verzeichnete im Beobachtungszeitraum 1987 bis 1998 im Stadtgebiet von Wien eine deutliche Abnahme der Überschreitungshäufigkeit des Vegetationsschutz-Grenzwertes.



**Abbildung 5.10**  
Anzahl der Tage mit Übersreitungen des Vegetationsschutz-Grenzwertes in Wien in den Jahren 1988 bis 1998



<sup>1</sup> Dabei ist die unterschiedliche Anzahl erfassender Messstellen, und zwar sowohl im Vergleich zwischen den Schadstoffen wie auch im Verlauf der Jahre, zu beachten → siehe Tabelle 1.3.

## **Glossar**

### **Advektion & Konvektion**

Der Transport einer Luftmasse mit einer bestimmten Eigenschaft (z.B. Wärmeinhalt) durch horizontale Verlagerung. Die Konvektion bezieht sich hingegen auf vertikale Transportprozesse, insbesondere die Thermik (Aufsteigen von erhitzten Luftpaketen) und Ausbildung von Cumuluswolken.

### **Anthropogen**

Von menschlichen Aktivitäten stammend.

### **Atmosphäre**

Die Lufthülle der Erde. Anthropogene Emissionen können nicht nur die Zusammensetzung der Atmosphäre verändern, sondern sich auch negativ auf die Tier- und Pflanzenwelt (Biosphäre), die Wasser- und Eisgebiete der Erde (Hydro- bzw. Kryosphäre) und die Pedosphäre (fester Teil der Erdoberfläche) auswirken.

### **Deposition**

Der Übergang von Luftschadstoffen (gasförmig oder Partikel) aus der Atmosphäre auf Oberflächen. Bei der trockenen Deposition in Folge molekularer bzw. ungeordneter Bewegungen aller Luftpartikel oder in Form der schwerkraftbedingten Ablagerung. Bei der nassen Deposition durch Auswaschung aus der Atmosphäre.

### **Emission**

Die im Zuge menschlicher Aktivitäten in die Atmosphäre abgegebenen festen (z.B. Rußpartikel), flüssigen (z.B. Abwasser von Industrieanlagen) oder gasförmigen (z.B. Schwefeldioxid) Stoffe. Zusätzlich können u.a. Lärmemissionen oder Erschütterungen auftreten. Emissionskataster enthalten flächenbezogene Auflistungen von Emissionen in einem definiertem Gebiet.

### **Fossile Brennstoffe**

Brennbare geologische Ablagerungen von Kohlenstoff in organischer Form mit biologischem Ursprung (u.a. Kohle, Erdöl und -gas).

### **Fotodissoziation**

Die Aufspaltung eines Moleküls als Folge der Absorption von kurzwelliger Sonnenstrahlung und Zerstörung von chemischen Bindungen. So kann aus Ozon molekularer und atomarer Sauerstoff gebildet werden.

### **Immission**

Die Auswirkungen der in die Umwelt abgegebenen Stoffe auf die Rezeptoren (Bevölkerung bzw. Tier- und Pflanzenwelt). Beim Transport von luftgetragenen Schadstoffen von den Emittenten zu den Rezeptoren und den dabei ablaufenden Umwandlungs-, Durchmischungs-, Zerstörungs- und Depositionsprozessen in der bodennahen Atmosphäre fällt den jeweiligen meteorologischen Bedingungen eine entscheidende Rolle zu.

**Inversion**

Üblicherweise nimmt die Temperatur mit der Höhe um ca. 1°C / 100 Höhenmeter ab. Bei stabilen, austauscharmen Wetterlagen tritt der Effekt auf, dass im Bereich die Temperatur mit einem geringeren Gradienten ab- oder mit der Höhe sogar zunimmt.

**Klima, Witterung & Wetter**

Charakteristische meteorologische Verhältnisse (Sonnenstrahlung, Lufttemperatur und -feuchtigkeit, Wind, Niederschlag, etc.) eines Ortes über Zeiträume von Jahren bis Jahrtausenden (Klima), Monaten (Witterung) und Tagen (Wetter).

**Mittelwertbildung**

Von den Messgeräten bzw. der Datenerfassung werden alle 10 Sekunden Messwerte erfasst, aus welchen Minutenmittelwerte gebildet und abgespeichert werden. Der ÖNORM entsprechend werden bei einer Datenverfügbarkeit von zumindest 75 % Halbstundenmittelwerte, und daraus wiederum u.a. Tagesmittelwerte berechnet. Ein HMW um 14:30 Uhr wird aus den Minutenwerten zwischen 14:01 und 14:30 Uhr gebildet, beschreibt also die mittlere Immissionssituation während der vergangenen halben Stunde.

**Niederschlag**

In der Meteorologie im flüssigen oder festen Aggregatzustand, d.h. in Form von Regen oder Schnee.

**Oxidation, Oxidantien**

Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) ist z.B. die oxidierte Form des Stickstoffmonoxids (NO), im Zuge luftchemischer Reaktionen hat es ein zusätzliches Sauerstoffatom aufgenommen. Unter Oxidantien oder besser Fotooxidantien versteht man hingegen alle Produkte fotochemischer Reaktionen zwischen Stickoxiden und reaktiven Kohlenwasserstoffen. Die Leitsubstanz ist üblicherweise Ozon.

**Ozonloch**

Die sogenannte Ozonschicht in ca. 12 bis 22 km Höhe führt zu einer fast vollständigen Absorption der für das Leben auf der Erde gefährlichen, solaren UV-B-Strahlung. Die periodisch im südhemisphärischen Frühling etwa seit Ende der 70-iger Jahre auftretende Ausdünnung des stratosphärischen Ozons durch Chlor- und Bromverbindungen wird als Ozonloch bezeichnet. Das Phänomen beschränkte sich zunächst auf den Bereich des kalten polaren Wirbels, der sich üblicherweise südlich von 65 °S befindet, sich mitunter allerdings bis in mittlere Breiten ausdehnt. In jüngster Zeit wurde auch eine deutliche Abnahme des stratosphärischen Ozongehalts über dem Nordpol registriert.

**Plausibilitätskontrollen**

Mitunter werden von den Luftgütemessstellen markante Sprünge in den Zeitreihen oder Spitzenwerte erfasst, die einen Messfehler vermuten lassen. Durch langjährige Erfahrung bzw. Vergleich mit den üblicherweise zu beobachtenden Schadstoffkonzentrationen an diesem Standort (unter Beachtung von Verkehrsaufkommen, Wetterlage, Jahreszeit, etc.) und gleichzeitige Kontrolle der Schadstoffwerte an den benachbarten Messtellen kann kontrolliert werden, ob ein ungewöhnlich hoher oder tiefer Messwert plausibel erscheint. Sehr wertvolle Hinweise liefern dabei die von der Magistratsabteilung 22 vollständig abgespeicherten Einminutenwerte.

## **Smog**

Begriff aus dem Englischen, zusammengesetzt aus *smoke* „Rauch“ und *fog* „Nebel“. Entsteht im Winter überwiegend in Ballungsgebieten im Zusammenhang mit Inversionswetterlagen und im Sommer in der Abgasfahne von Großstädten u.a. bei intensiver Sonneneinstrahlung. Der klassische *Londoner Wintersmog* ist durch hohe  $\text{SO}_2$ -, Staub-,  $\text{NO}_x$ - und CO-Konzentrationen und deutlich wahrnehmbare Verunreinigungen der Atmosphäre gekennzeichnet (Hauptquelle: sämtliche Verbrennungsprozesse). In der Gegenwart hat Smog die allgemeinere Bedeutung für anthropogen verursachtem Dunst. Der klassische Los Angeles-Sommersmog resultiert aus einer intensiven Anreicherung von Stickoxiden und flüchtigen Kohlenwasserstoffverbindungen (Hauptverursacher: Kfz-Verkehr) in den Ballungszentren und der fotochemischen Bildung von Ozon (sowie einer Vielzahl anderer Fotooxidantien) in deren Abgasfahnen während der Sommermonate.

## **Turbulenz**

Der mittleren Luftströmung in der Atmosphäre sind ungeordnete, turbulente Bewegungen überlagert. Die mechanische Turbulenz, oder Reibungsturbulenz, ist ein Resultat der Bodenrauigkeit – ab einer bestimmten Windgeschwindigkeit kommt es zu einer Wirbelbildung auf der windabgewandten Seite von Hindernissen (z.B. Hügel, Häuser oder Bäume), die zu raschen, lokalen Schwankungen der Windrichtung und -geschwindigkeit führt (Windböen). Die thermische Turbulenz entsteht bei Sonneneinstrahlung durch die lokal sehr variable Erwärmung bodennaher Luftschichten durch den unterschiedlich beschaffenen Erdboden. Aufsteigende, relativ warme Luftpakete werden durch kühlere Luft aus höheren Schichten ersetzt. Die turbulenten Luftbewegungen führen wiederum zu einer Durchmischung der Atmosphäre.

## **Vorläufersubstanzen**

In der Atmosphäre kommt es in Folge anthropogener Schadstoffemissionen zu einer Vielzahl chemischer Reaktionen. Aus den Primärschadstoffen, die von den Emittenten in die Luft abgegeben werden (z.B. Stickoxide), entstehen Sekundärschadstoffe (z.B. Ozon). Die ursprünglichen Luftbeimengungen bezeichnet man als Vorläufersubstanzen der letztendlich in der Luft enthaltenen Sekundärschadstoffe.

## **Vorsorgliche Grenzwerte der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (ÖAW)**

Unterhalb der wirkungsbezogenen Grenzkonzentrationen, die von der ÖAW - Kommission zur Reinhaltung der Luft - insbesondere durch umfangreiche Literaturstudien erarbeitet wurden, sind nach dem Wissensstand von 1989 (aktualisiert 1994 im Rahmen der Umweltwissenschaftlichen Grundlagen für den Nationalen Umweltplan bzw. 1998 für Stickstoffoxid) keine wesentlichen Auswirkungen auf den Menschen bzw. auf die Vegetation nachweisbar, wobei die Realisierbarkeit der vorsorglichen Grenzwerte nicht berücksichtigt wurde. Hingegen können bei Überschreitung der wirkungsbezogenen Immissionsgrenzkonzentrationen Schädigungen nicht mehr ausgeschlossen werden.

## **Warnwerte**

Zum Schutz der Bevölkerung vor üblicherweise kurzzeitig auftretenden Luftschadstoff-Spitzenbelastungen sind neben den vorsorglichen Grenzwerten zusätzlich Alarm- und Warnwerte festgelegt, ab welchen mit gesundheitlichen Schäden zu rechnen ist und deshalb seitens der Behörden emissionsmindernde Maßnahmen verordnet werden können. Für diesen Fall wurde für Wien ein eigener Smogalarmplan gemäß Smogalarmgesetz (BGBl.Nr. 38/1989) ausgearbeitet.

## **Vorläufersubstanzen**

In der Atmosphäre kommt es in Folge anthropogener Schadstoffemissionen zu einer Vielzahl chemischer Reaktionen. Aus den Primärschadstoffen, die von den Emittenten in die Luft abgegeben werden

(z.B. Stickoxide), entstehen Sekundärschadstoffe (z.B. Ozon). Die ursprünglichen Luftbeimengungen bezeichnet man als Vorläufersubstanzen der letztendlich in der Luft enthaltenen Sekundärschadstoffe.

### Abkürzungsverzeichnis

$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Mikrogramm pro Kubikmeter Luft (entspricht $0,000\,001\text{ g}/\text{m}^3$ )
7MW	Siebenstundenmittelwert von 9-16 Uhr in der Vegetationsperiode April bis Oktober
CO	Kohlenmonoxid
HMW	Halbstundenmittelwert
JMW	Jahresmittelwert
$\text{mg}/\text{m}^3$	Milligramm pro Kubikmeter Luft (entspricht $0,001\text{ g}/\text{m}^3$ )
MW1	Gleitender Einstundenmittelwert
MW3	Gleitender Dreistundenmittelwert
MW8	Gleitender Achtstundenmittelwert
$\text{NO}_x$	Stickoxide; Summe der Luftschadstoffe Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid ( $\text{NO}_2$ )
$\text{O}_3$	Ozon
ÖAW	Österreichische Akademie der Wissenschaften
ppb	parts per billion, entspricht $10^{-9}$ Volumsteile oder $1\text{ mm}^3$ Luftbeimengung pro $\text{m}^3$ Luft
ppm	parts per million, entspricht $10^{-6}$ Volumsteile oder $1\text{ cm}^3$ Luftbeimengung pro $\text{m}^3$ Luft
$\text{SO}_2$	Schwefeldioxid
TMW	Tagesmittelwert

**Literaturverzeichnis**

AUER I. BÖHM R. MOHNL H.	1989	Klima von Wien - Eine anwendungsorientierte Klimatographie	Magistrat der Stadt Wien; Beiträge zur Stadtforschung, Stadtentwicklung und Stadt- gestaltung; Wien
BAUMANN et al.	1996	Bodennahes Ozon in Österreich - Be- standsaufnahme und Maßnahmen	Umweltbundesamt, Bericht - 063, Wien
BAUMBACH G.	1994	Luftreinhaltung - Entstehung, Ausbreitung und Wirkung von Luftverunreinigungen - Meßtechnik, Emissionsminderung und Vorschriften	Springer Verlag, 3. Aufl.
BMWA	1996	Automatische Straßenverkehrszählung – Jahresauswertung 1996, Band 1 und 2	Ziviltechniker Ges.m.b.H Nadler & Steierwald, Wien 1997
BMU	1996 1998	Umweltsituation in Österreich - 4. bzw. 5. Umweltkontrollbericht des Bundesministe- riums für Umwelt an den Nationalrat	Umweltbundesamt, Wien 1996, 1998
BMUJF	1997	Umweltbilanz Verkehr, Österreich 1950 - 1996	Bundesministerium für Um- welt, Jugend und Familie, Wien 1997
CRUTZEN P.J. GRAEDEL T.E.	1993	Chemie der Atmosphäre	Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg
LÖFFLER et al.	1994	Umweltbericht - Luft 1992/93	Magistrat der Stadt Wien - Beiträge zum Umweltschutz, Heft 32, Wien
Österreichische Akademie der Wissenschaften, Komm. zur Rein- haltung d. Luft	1989  1988, 1998	Photooxidantien in der Atmosphäre - Luft- qualitätskriterien Ozon  Stickstoffoxide in der Atmosphäre - Luft- qualitätskriterien NO <sub>2</sub> bzw. Wirkungen auf den Menschen, Neubearbeitung 1998	ÖAW; Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie, Wien
PIRINGER et al.	1995	Vertikalprofilstudie Wien - Untersuchung sommerlicher Ozonepisoden in Wien an- hand der Vertikalstruktur der planetaren Grenzschicht	Endbericht an die MA22 - 1937/94-U - ZAMG, Wien
POP	1997	Pannonisches Ozon-Projekt (POP) – Zu- sammenfassender Endbericht	FSZ, IMPO BOKU, UBA, Wien 1997
SCHMITTNER W.	1997a	Spitzenbelastungen der Ozonkonzentration im Großraum Wien - Analyse der me- teorologischen Einflußfaktoren	Diplomarbeit an der Formal- und Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Wien, Wien, 1997
SCHMITTNER W.	1997b	Untersuchung von morgendlichen Ozon- spitzen im Stadtgebiet von Wien	Wissenschaftliche Studie im Auftrag Umweltschutz- abteilung der Stadt Wien, MA22, Wien
SPANGL W.	1995	Luftgütemeßstellen in Österreich - Stand April 1995	Umweltbundesamt - Report - 95-117, Wien

STOHL A. KROMP-KOLB H.	1994	Analyse der Ozonsituation im Großraum Wien	Österreichische Beiträge zu Meteorologie und Geophysik, Wien;
STULL R.B.	1988	An introduction to Boundary Layer Meteorology	Kluwer Academic Publisher, Dordrecht
VISAS	1987	Vienna Summer Aerosol Study	Forschungsprojekt im Auftrag der MA22 Umweltschutz, Wien
WINIWARTER W. ZÜGER J.	1996	Pannonisches Ozonprojekt - Teilprojekt Emissionsn - Endbericht	Österreichisches Forschungs- zentrum Seibersdorf - Report 3817

**Abbildungs- und Tabellenverzeichnis**

<b>Abbildung 1.1</b>	Luftgütemessstellen im Stadtgebiet von Wien Wien sowie stadtnahe Messstellen der Niederösterreichischen Landesregierung (u.a. Spangl, 1995)	<b>6</b>
<b>Tabelle 1.1</b>	Lageinformationen zu den Luftgütemessstellen in Wien sowie Messziele gemäß gesetzlicher Verordnungen	<b>8</b>
<b>Tabelle 1.2</b>	Technische Daten der eingesetzten Messgeräte	<b>7</b>
<b>Tabelle 1.3</b>	Datenverfügbarkeit in den Jahren 1987-1998	<b>9</b>
<b>Tabelle 2.1</b>	Hauptverursacher von SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> - CO- sowie Staubemissionen, Hauptemissionsgebiete in Nordostösterreich, Anteil der Emittentengruppen an den Gesamtemissionen (Österreich), Auswahl an möglichen Gegenmaßnahmen:	<b>12</b>
<b>Abbildung 2.1</b>	a) Bilanz der Emissionen von Schwefeldioxid aus Verbrennungsvorgängen und Prozessen in Österreich für die Jahre 1980 bis 1997 (BMU, 1998) b) Entwicklung der NO <sub>x</sub> -Emissionen im Verkehr in Österreich von 1950 bis 1996 (BMUJF, 1997)	<b>13</b>
<b>Abbildung 2.2</b>	Flächenhafte Verteilung der NO <sub>x</sub> - und NMVOC-Emissionen in Nordostösterreich im Juli um 8 bzw. 14 Uhr an einem Sonntag (links) und einem Montag (rechts) (aus Winiwarter et al., 1996)	<b>15</b>
<b>Abbildung 2.3</b>	Schema zur Ozonbildung aus O <sub>2</sub> und NO <sub>2</sub> unter Mitwirkung verschiedener organischer Verbindungen (Darstellung stark vereinfacht)	<b>16</b>
<b>Abbildung 2.4</b>	Typische Ergebnisse eines Ozonbildungsexperiments in einer Smogkammer. Neben Ozon wurde die Synthese einer Vielzahl von Fotooxidantien beobachtet (z.B. PAN), die hier jedoch größtenteils nicht eingetragen sind.	<b>17</b>
<b>Abbildung 2.5</b>	Schema zur Bildung von Saurem Regen durch Oxidation bzw. Umwandlung von SO <sub>2</sub> und NO <sub>2</sub> zu Folgeprodukten unter Mitwirkung verschiedener Radikale bzw. Wassertröpfchen (Darstellung stark vereinfacht)	<b>18</b>
<b>Tabelle 2.2</b>	Umrechnungsfaktoren, Eigenschaften, Wirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Vegetation sowie anthropogene Quellen von Luftschadstoffen	<b>20</b>
<b>Tabelle 2.3</b>	Grenzwerte zum Schutz der Vegetation bzw. zum Gesundheitsschutz	<b>19</b>
<b>Abbildung 2.6</b>	Typischer Tagesgang der Schichtung der atmosphärischen Grenzschicht an einem sommerlichen Schönwettertag. Vertikalschnitte der potentiellen Temperatur verdeutlichen die entsprechende vertikale Schichtung der Atmosphäre am Vor- und Nachmittag sowie während der Abendstunden	<b>22</b>
<b>Abbildung 2.7</b>	Charakteristische Vertikalprofile der Primärschadstoff-Konzentrationen sowie der potentiellen Temperatur während einer winterlichen Inversionswetterlage	<b>25</b>
<b>Abbildung 3.1</b>	Häufigkeiten von NO-Konzentrationen an den Luftgütemessstellen in Wien, HMW der Jahre 1987 – 1998	<b>26</b>
<b>Abbildung 3.2</b>	Häufigkeiten von NO <sub>2</sub> -Konzentrationen an den Luftgütemessstellen in Wien, HMW der Jahre 1987 – 1998	<b>27</b>
<b>Abbildung 3.3</b>	Häufigkeiten von SO <sub>2</sub> -Konzentrationen an den Luftgütemessstellen in Wien, HMW der Jahre 1987 – 1998	<b>28</b>
<b>Abbildung 3.4</b>	Häufigkeiten von Schwebstaub-Konzentrationen an den Luftgütemessstellen in Wien, HMW der Jahre 1987 – 1998	<b>29</b>

<b>Abbildung 3.5</b>	Häufigkeiten von CO-Konzentrationen an den Luftgütemessstellen in Wien, HMW der Jahre 1987 – 1998	<b>30</b>
<b>Abbildung 3.6</b>	Zeitreihen der Ozon-, NO- sowie NO <sub>2</sub> -Konzentrationen in Wien, Tageshöchstwerte der Jahre 1987 – 1998	<b>32</b>
<b>Abbildung 3.7</b>	Zeitliche Entwicklung der Schwefeldioxidbelastung an der Wiener Luftgütemessstelle Hohe Warte in den Jahren 1968 bis 1998	<b>34</b>
<b>Abbildung 3.8</b>	Zeitliche Entwicklung der Schwefeldioxidbelastung an der Wiener Luftgütemessstelle Hohe Warte in den Jahren 1968 bis 1998	<b>34</b>
<b>Abbildung 3.9</b>	Häufigkeiten (kumulativ) von Grenzwertüberschreitungen (HMW, MW3 bzw. TMW) der Schwefeldioxidkonzentration an der Messstelle Hohe Warte, Daten: 1968 bis 1998	<b>33</b>
<b>Abbildung 3.10</b>	Zeitreihe der Staubkonzentration in Wien - Tageshöchstwerte sowie Jahresmittelwerte 1987 – 1998	<b>35</b>
<b>Abbildung 3.11</b>	Zeitreihe der CO-Konzentration in Wien - Tageshöchstwerte sowie Jahresmittelwerte 1987 – 1998	<b>35</b>
<b>Abbildung 3.12</b>	Überschreitungshäufigkeit des Vegetationsschutz - Vorsorgegrenzwertes gemäß ÖAW für NO <sub>2</sub> (Tagesmittelwert von 80 µg/m <sup>3</sup> ) an den Wiener Luftgütemessstellen in den Jahren 1987-1998	<b>36</b>
<b>Abbildung 3.13</b>	Überschreitungshäufigkeit verschiedener Ozon-Grenzwerte an den Wiener Ozonmessstellen in den Jahren 1987 - 1998	<b>37</b>
<b>Abbildung 3.14</b>	Überschreitungshäufigkeit des Vegetationsschutz-Vorsorgegrenzwertes gemäß ÖAW für Schwefeldioxid (Sommerhalbjahr: HMW > 70 µg/m <sup>3</sup> ; Winterhalbjahr: HMW > 150 µg/m <sup>3</sup> ) an den Wiener Luftgütemessstellen in den Jahren 1987 - 1998	<b>39</b>
<b>Abbildung 3.15</b>	Überschreitungshäufigkeit des Vegetationsschutz-Vorsorgegrenzwertes gemäß ÖAW für Schwebstaub (TMW > 120 µg/m <sup>3</sup> ) an den Wiener Luftgütemessstellen in den Jahren 1987 - 1998	<b>40</b>
<b>Abbildung 3.16</b>	Häufigkeiten von Ozonkonzentrationen an einer Stadtmessstelle in Wien (Laaerberg) und im Wienerwald (Hermannskogel), HMW der Jahre 1987 – 1998	<b>41</b>
<b>Abbildung 3.17</b>	Häufigkeiten von NO-Konzentrationen im Jahresverlauf an einer äußerst verkehrsnahen Messstelle in Wien (Hietzinger Kai) und im Stadtgebiet (Gaudenzdorf), HMW der Jahre 1987 – 1998	<b>42</b>
<b>Abbildung 3.18</b>	Häufigkeiten von SO <sub>2</sub> -Konzentrationen im Jahresverlauf an einer äußerst verkehrsnahen Messstelle im Stadtgebiet von Wien (Hietzinger Kai) und im Wienerwald (Hermannskogel), HMW der Jahre 1987 – 1998	<b>43</b>
<b>Abbildung 3.19</b>	Häufigkeiten von maximalen NO <sub>2</sub> - bzw. Ozonkonzentrationen an einer verkehrsnahen Messstelle (NO <sub>2</sub> : Hietzinger Kai) bzw. in Wien (Ozon) im Wochenverlauf, Tageshöchstwerte (HMW) in den Jahren 1987 bzw. 1990 bis 1998	<b>44</b>
<b>Abbildung 3.20</b>	Häufigkeiten von maximalen SO <sub>2</sub> - bzw. Staubkonzentrationen in Wien im Wochenverlauf, Tageshöchstwerte (HMW) in den Jahren 1987 bis 1998	<b>45</b>
<b>Abbildung 3.21</b>	Mittlerer Tagesgang der NO- sowie NO <sub>2</sub> - Konzentrationen an ausgewählten Standorten Wiens, HMW der Jahre 1987 – 1998	<b>46</b>
<b>Abbildung 3.22</b>	Mittlerer Tagesgang der Ozon - Konzentrationen an ausgewählten Standorten Wiens, HMW der Sommerhalbjahre 1987 - 1998	<b>47</b>

<b>Abbildung 3.23</b>	Mittlerer Tagesgang der Schwefeldioxid - Konzentrationen in ausgewählten Stadtgebieten von Wien, HMW der Jahre 1988 - 1998	<b>49</b>
<b>Abbildung 3.24</b>	Mittlere Tagesgänge der SO <sub>2</sub> -Konzentration an der Messstelle Hietzinger Kai an Werktagen sowie am Wochenende, HMW der Jahre 1987 - 1998	<b>49</b>
<b>Abbildung 3.25</b>	Mittlerer Tagesgang der Schwefeldioxid – Konzentration an der Messstelle Hohe Warte während jeweils eines Jahrzehnts	<b>50</b>
<b>Abbildung 3.26</b>	Mittlerer Tagesgang der Kohlenmonoxid – Konzentrationen an unterschiedlich verkehrsexponierten Messstellen Wiens, HMW der Jahre 1987 - 1998	<b>51</b>
<b>Abbildung 3.27</b>	Mittlerer Tagesgang der Staubkonzentrationen an ausgewählten Standorten Wiens, HMW der Jahre 1988 – 1998	<b>51</b>
<b>Abbildung 4.1</b>	Häufigkeit von Tageshöchstwerten der Ozonkonzentration (HMW) an den Wiener Luftgütemessstellen (1990 - 1998) in Abhängigkeit von: a) Tageshöchstwert der Lufttemperatur, b) Tageshöchstwert der Globalstrahlung, c) Tageshöchstwert der Windgeschwindigkeit	<b>53</b>
<b>Abbildung 4.2</b>	Häufigkeit des Auftretens von Tageshöchstwerten der Staub- bzw. SO <sub>2</sub> -Konzentration (HMW) an den Wiener Luftgütemessstellen in Abhängigkeit von: a) Tagesminimum der Lufttemperatur (Hermannskogel), b) Tageshöchstwert der Windgeschwindigkeit (AKH-D.), c) vertikale Temperaturschichtung (Minimum der T-differenz Klosterneuburg – Hermannskogel zwischen 10 und 18 Uhr)	<b>54</b>
<b>Abbildung 4.3</b>	Zeitliche Entwicklung des mittleren Tageshöchstwertes der Staubbelastung (HMW) in Wien nach Schneefällen (mittlere Neuschneehöhe = 6 cm, Hohe Warte), 1988 - 1998	<b>54</b>
<b>Abbildung 4.4</b>	Mittlere Häufigkeit von SO <sub>2</sub> -Konzentrationen in Abhängigkeit von der Windrichtung im Stadtgebiet von Wien, Halbstundenmittelwerte der Jahre 1988 - 1997	<b>56</b>
<b>Abbildung 4.5</b>	Mittlere Häufigkeit von Staubkonzentrationen in Abhängigkeit von der Windrichtung im Wiener Stadtgebiet, Halbstundenmittelwerte der Jahre 1988 - 1997	<b>57</b>
<b>Abbildung 4.6</b>	Mittlere Häufigkeit von NO <sub>2</sub> -Konzentrationen in Abhängigkeit von der Windrichtung im Stadtgebiet von Wien, HMW der Jahre 1988 - 1997	<b>58</b>
<b>Abbildung 4.7</b>	Zeitliche Entwicklung der Ozonkonzentrationen an ausgewählten Messstellen in Nordostösterreich am 7. August 1992	<b>59</b>
<b>Abbildung 4.8</b>	Höchstwerte der NO <sub>2</sub> -Konzentration am Vormittag des 7.8.1992	<b>60</b>
<b>Abbildung 4.9</b>	Zeitliche Entwicklung der Ozon-Konzentrationsverteilung in Wien und Niederösterreich am 7.8.1992	<b>62</b>
<b>Abbildung 4.10</b>	Ozonepisoden in Wien und Niederösterreich (Anzahl Tage = 115, HMW der Jahre 1990 bis 1997); Abschätzungen zum regional gebildeten Ozon; Abhängigkeit vom Wochentag	<b>65</b>
<b>Abbildung 4.11</b>	Mittlere Schwefeldioxidbelastung in Niederösterreich und Wien vom 26.11. bis 1.12.1993	<b>67</b>
<b>Abbildung 4.12</b>	Mittlere Schwefeldioxidbelastung in Niederösterreich und Wien vom 26.11. (16:00) bis 1.12.1993 (6:00)	<b>67</b>
<b>Abbildung 4.13</b>	Zeitliche Entwicklung der Schwefeldioxid - Konzentrationen in Niederösterreich und Wien vom 26.11. bis 1.12.1993	<b>68</b>
<b>Abbildung 4.14</b>	Überschreitungshäufigkeiten von SO <sub>2</sub> - Konzentrationen über 40 µg/m <sup>3</sup> bei	

	Anströmung aus jeweils einem der vier Windrichtungssektoren; Halbstundenmittelwerte aller Luftgütemessstellen in Wien und Niederösterreich der Jahre 1988 – 1997	<b>69</b>
<b>Abbildung 4.15</b>	Zeitliche Entwicklung der Häufigkeit von Spitzenbelastungen der SO <sub>2</sub> -Konzentration in Wien und der jeweiligen Belastungssituation im östlichen bzw. nördlichen Niederösterreich (Grenzregion)	<b>70</b>
<b>Abbildung 5.1</b>	Zeitreihen der Ozon - Hintergrundkonzentration bzw. des 75%-Perzentils der Ozon – Tageshöchstwerte (MW3) in Nordostösterreich in den Jahren 1990 bis 1996	<b>72</b>
<b>Abbildung 5.2</b>	Zeitliche Entwicklung der Hintergrund - Ozonkonzentration sowie Temperaturentwicklung (aktueller Tageshöchstwert minus Maximum vom Vortag); Sommerhalbjahre 1990 – 1998	<b>73</b>
<b>Abbildung 5.3</b>	Häufigkeitsverteilung berechneter Ozon-Hintergrundkonzentrationen in Nordostösterreich (75%-Perzentil der Tageshöchstwerte (MW3) des gesamten Messnetzes); 1990 – 1997	<b>74</b>
<b>Abbildung 5.4</b>	Häufigkeit von Tagen mit maximalen regionalen Beiträgen zur Ozonbelastung in Niederösterreich bzw. Wien; Sommerhalbjahre (April – September) 1990 – 1998	<b>75</b>
<b>Abbildung 5.5</b>	„Dauer von Ozonepisoden in Nordostösterreich“, Häufigkeit des Auftretens erhöhter Hintergrundbelastungen ( $P_{75\%} > 120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) sowie von erhöhten Tageshöchstwerten [%] in Abhängigkeit von der Dauer des Ereignisses	<b>76</b>
<b>Abbildung 5.6</b>	Mittlere Häufigkeit von Tagen mit einer Ozon - Hintergrundkonzentration $\text{MW3} > 120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ( $P_{75\%}$ ) in Nordostösterreich. Vergleich zur Häufigkeit von Tageshöchstwerten der Ozonkonzentration in Wien von $\text{MW3} > 180$ bzw. $> 200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ an diesen Tagen. Datengrundlage: 1990 – 1998	<b>77</b>
<b>Tabelle 5.1</b>	Anzahl von Tagen mit Tageshöchstwerten der Ozonkonzentration $\text{MW3} > 200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , jeweils registriert gleichzeitig an 1 bis 11 Messstellen bzw. in vier Regionen Nordostösterreichs; 1990 - 1998	<b>78</b>
<b>Abbildung 5.7</b>	Absolute Häufigkeit von Episoden mit Überschreitung des Vegetationsschutz-Grenzwertes an zumindest einer Luftgütemessstelle Wiens an aufeinanderfolgenden Tagen; Messwerte der Jahre 1986 – 1998	<b>79</b>
<b>Abbildung 5.8</b>	Mittlere Häufigkeiten von Tagen mit Vegetationsschutz-Grenzwertüberschreitungen im Stadtgebiet von Wien; Datengrundlage 1987 bis 1998	<b>80</b>
<b>Abbildung 5.9</b>	Durchschnittliche Anzahl von Tagen mit Überschreitungen der Vegetationsschutz-Grenzwerte an charakteristischen Standorten im Stadtgebiet von Wien; Datengrundlage 1987-1998	<b>81</b>
<b>Abbildung 5.10</b>	Anzahl der Tage mit Überschreitungen des Vegetationsschutz-Grenzwertes in Wien in den Jahren 1988 bis 1998	<b>82</b>