



Wiener Luftgütebericht 1987 - 1998

MAGISTRAT DER STADT WIEN

Magistratsabteilung 22 - Umweltschutz

1082 Wien, Ebendorferstraße 4



MA 22 - 2015/99

Mag. Wolfgang Schmittner

Wien, Dezember 1999

Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht analysiert eingehend die verfügbaren Daten des Wiener Luftgütemessnetzes der Jahre 1987 bis 1998. Im Mittelpunkt des Interesses stand die Erfassung wichtiger Einflussfaktoren auf die Luftgüte in Wien. Außerdem liefern statistische Auswertungen Aussagen zu längerfristigen Trends der Schadstoffbelastung im Stadtgebiet sowie zu charakteristischen Immissionstages-, Wochen- und Jahresgängen. Mitunter war dabei eine Ausweitung des Untersuchungsgebiets auf Nordostösterreich erforderlich.

Die wichtigsten Ergebnisse können wie folgt zusammengefaßt werden:

- Die Luftschadstoffe Kohlenmonoxid, Schwefeldioxid sowie die Stickoxide weisen in den Jahren 1987 bis 1998 einen Rückgang der mittleren wie auch der Spitzenbelastungen auf. Überschreitungen von Immissionsschutz-Grenzwerten wurden beim CO und SO₂ selbst an den stärker belasteten Messstellen nur mehr selten erfaßt.
- Die mittleren Ozon- sowie Staubkonzentrationen sind nicht gesunken, auch in der Gegenwart werden Überschreitungen von vorsorgenden Immissionsschutz-Grenzwerten beobachtet.
- Alle Luftschadstoffe zeigen eine markante Abhängigkeit von der Jahreszeit. Mit Ausnahme des Ozons liegen die Belastungsschwerpunkte im Winterhalbjahr.
- Am Wochenende zeigt sich bei allen Schadstoffen eine signifikante Abnahme der mittleren Belastung. Trotz geringerer Emissionen der Vorläufersubstanzen am Wochenende ist nur ein leichter Rückgang der Ozonspitzenwerte an Sonntagen zu beobachten.
- Überschreitungen der Vorwarnstufe in Ostösterreich gemäß Ozongesetz sind ein Resultat einer hohen Hintergrundbelastung während ausgeprägter Ozonepisoden sowie einer deutlichen regionalen Ozonbildung in der Abgasfahne von Wien bzw. fallweise Bratislava.
- Auch im Stadtgebiet von Wien werden die höchsten Ozonbelastungen während sommerlicher Hochdruckwetterlagen erfaßt. Während der Nacht- und Morgenstunden erfolgt eine Anreicherung der Stadtluft mit Vorläufersubstanzen von Ozon. Wenn im weiteren Tagesverlauf eine Winddrehung erfolgt, wird diese mittlerweile ozonreiche Luftmasse nach Wien zurücktransportiert und es können Konzentrationen deutlich über 200 µg/m³ auftreten.
- Winterliche Belastungsepisoden mit SO₂-Spitzenwerten sind hingegen zumeist das Resultat des Schadstoffimports hoch vorbelasteter Luftmassen nach Österreich bzw. Wien. In Folge der erfolgreichen emissionsmindernden Maßnahmen in den 80-iger-Jahren ist der ehemals klassische Winterschadstoff SO₂ längst nicht mehr nur hausgemacht.
- Im Tagesverlauf zeigen die Primärschadstoffe CO sowie NO_x eine hohe Affinität zum Verkehrsaufkommen, während der Verkehrsspitzen am Morgen und in den Abendstunden werden üblicherweise die höchsten Konzentrationen des Tages erfaßt. Zusätzlich zu diesen Schadstoffen ist auch die Schwebstaubbelastung stark verkehrsbeeinflußt.

Wien hat bezüglich der Maßnahmen zur Reduktion der SO₂-Emissionen einen sehr hohen Standard erreicht. Eine weitere Reduktion der Immissionen wäre in erster Linie in Folge entsprechender Maßnahmen in den nördlichen und östlichen Nachbarländern zu erwarten. Gleichzeitig könnte aus der bereits nahezu vollständigen Ausrüstung aller benzinbetriebenen Kfz mit Katalysatoren in den nächsten Jahren - bei weiterhin steigender Verkehrsdichte - ein Anstieg der verkehrsspezifischen Emissionen resultieren. Eine entsprechende Trendwende zu wiederum ansteigenden NO_x- sowie CO-Immissionen wäre auch bezüglich der Ozonbelastung von großer Bedeutung, da ja insbesondere die Stickoxide zu den wichtigen Vorläufersubstanzen von Ozon zählen. Und gerade beim Sommersmog haben die Messungen der vergangenen Jahre gezeigt, dass weitere Maßnahmen erforderlich sind, um eine Verringerung der insbesondere während der Sommermonate hohen Ozonbelastung zu erreichen. Allerdings ist

auch hier ein international abgestimmtes Vorgehen erforderlich, um die häufig hohe Hintergrundbelastung abzusenken.

Insgesamt zeigt sich hinsichtlich der Luftgüte im Stadtgebiet von Wien, wie erfolgreich sich emissionsmindernde Maßnahmen auf die Umwelt bzw. Luftqualität auswirken können. Und die einschlägigen Messungen sollten auch in der Zukunft ein wertvolles Instrument zur Erfassung von Problembereichen sein, wobei durch die Daten des Luftgütemessnetzes gezielte Empfehlungen zur Einleitung zum Teil noch immer dringlich erforderlicher emissionsmindernder Maßnahmen sein können.

Zusammenfassung	1
Inhaltsverzeichnis	3
Einleitung	5
1 DAS WIENER LUFTGÜTEMESSNETZ	
1.1 Konzeption und Messtechnik des Wiener Luftgütemessnetzes	6
1.1.1 Messstellenübersicht	6
1.1.2 Datenerfassung und –transfer	7
1.1.3 Qualitätssicherung	9
1.1.4 Datenverfügbarkeit	9
1.2 Veröffentlichungen	9
2 ALLGEMEINE INFORMATIONEN	
2.1 Schadstoffemissionen	11
2.1.1 Emissionen von Luftschadstoffen in Österreich	11
2.1.2 Zeitliche Entwicklung der Schadstoffemissionen in Österreich	12
2.1.3 Emissionen von Ozon-Vorläufersubstanzen in Nordostösterreich	14
2.2 Luftschadstoffe und Luftchemie	16
2.2.1 Die Fotochemie in der bodennahen Atmosphäre	16
2.2.1.1 <i>Bildung von Fotooxidantien</i>	16
2.2.1.2 <i>Abbauprozesse von Ozon</i>	17
2.2.2 Bildung von Saurem Regen	17
2.2.3 Chemische und physikalische Eigenschaften der Luftschadstoffe	18
2.2.3.1 <i>Konzentrationsangaben</i>	18
2.2.3.2 <i>Eigenschaften</i>	19
2.2.3.3 <i>Wirkungen</i>	19
2.3 Meteorologische Grundbegriffe	21
2.3.1 Schadstoffdynamik eines Sommertages	21
2.3.2 Winterliche Inversionswetterlage	23
3 ZEITLICHE ENTWICKLUNG DER BELASTUNG MIT LUFTSCHADSTOFFEN	
3.1 Charakterisierung der Luftgütemessstellen	26
3.1.1 Stickoxide	26
3.1.2 Schwefeldioxid	28
3.1.3 Schwebstaub	29
3.1.4 Kohlenmonoxid	30
3.2 Längerfristige Trends der Immissionssituation in Wien	31
3.2.1 Stickoxide und Ozon	31
3.2.2 Schwefeldioxid	31
3.2.3 Schwebstaub	35
3.2.4 Kohlenmonoxid	35
3.3 Überschreitungshäufigkeit von Grenzwerten	36
3.3.1 Stickstoffdioxid	36
3.3.2 Ozon	37
3.3.3 Schwefeldioxid	38
3.3.4 Schwebstaub	39

3.4 Jahreszeitliche Schwankungen	41
3.5 Wochengang der Luftqualität in Wien	44
3.5.1 Stickoxide und Ozon	44
3.5.2 Schwefeldioxid und Schwebstaub	45
3.6 Schadstoffimmissionen im Tagesverlauf	46
3.6.1 Stickoxide	46
3.6.2 Ozon	47
3.6.3 Tagesgang der SO ₂ -Konzentration	48
3.6.4 Kohlenmonoxid und Schwebstaub	50
4 EINFLÜSSE AUF DIE LUFTGÜTE IN WIEN	
4.1 Meteorologische Einflüsse auf die Luftqualität in Wien	52
4.1.1 Einflüsse auf die Ozonbelastung	52
4.1.2 Meteorologische Einflüsse auf die Schwefeldioxid- und Schwebstaubkonzentrationen	53
4.1.3 Stickstoffdioxid	57
4.2 Analyse einer Ozonepisode vom 7. August 1992	59
4.2.1 Zeitliche Entwicklung der Ozonkonzentrationen	59
4.2.2 Vorläufersubstanzen (NO ₂)	60
4.2.3 Die meteorologischen Verhältnisse	61
4.2.4 Regionale Ozonbildung und Verlagerung	61
4.3 Folgerungen aus der Analyse aller Ozonepisoden im Großraum Wien	63
4.3.1 Ergebnisse	63
4.3.2 Abschätzungen zum Ozonbildungspotential im Großraum Wien	64
4.3.3 Wochentagsabhängigkeit der Ozonbelastung in Norostösterreich	64
4.4 Analyse einer winterlichen Belastungsepisode vom 26. November bis 1. Dezember 1993	66
4.4.1 Zeitliche Entwicklung der Immissionssituation	66
4.4.2 Schadstoffimport	66
4.5 Schadstoffimport aus dem benachbarten Ausland	69
5 SCHADSTOFFEPISODEN IM GROSSRAUM WIEN	
5.1 Die Ozon-Hintergrundbelastung in Nordostösterreich	71
5.1.1 Jahrgang der Hintergrundbelastung	72
5.1.2 Zeitliche Entwicklung und Häufigkeitsstatistik der Hintergrundbelastung	73
5.2 Das regionale Ozonbildungspotential in Nordostösterreich bzw. Wien	75
5.3 Luftschadstoff-Belastungsepisoden	79
5.3.1 Andauer von Luftschadstoff-Belastungsepisoden	79
5.3.2 Belastungsepisoden im Jahresverlauf	80
5.3.3 Grenzwertüberschreitungen in der Stadt	80
5.3.4 Trends bei den Grenzwertüberschreitungen in den Jahren 1987 bis 1998	81
Glossar	83
Literaturverzeichnis	87
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	89

Einleitung

In Folge der umfangreichen Bemühungen auf dem Sektor des Umweltschutzes zählt Wien mittlerweile mit Sicherheit zu den Großstädten mit einer ganz besonders hohen Lebensqualität. Ein wichtiger und notwendiger Aspekt der Umweltschutzaktivitäten ist die Erhaltung und Verbesserung der Luftgüte. Mit dieser Zielsetzung ist die Sensibilisierung der Bevölkerung für diesen Themenbereich von zentraler Bedeutung. Einen Beitrag dazu liefern Veröffentlichungen von Ergebnissen der Luftgüteüberwachung. Als Gegengewicht zu rein ökonomischen Überlegungen muss Lobbying bei der Bevölkerung betrieben werden, um Verbesserungen auf dem Sektor des Umweltschutzes durchzusetzen. Ohne entsprechende Dokumentationen und ohne das daraus resultierende Bewusstsein der Bevölkerung würde dieser Druck erst gar nicht entstehen.

Vor einigen Jahrzehnten war eine schadstoffarme Luft noch nicht Ziel der politischen Bemühungen. In der Nachkriegszeit galt das Hauptaugenmerk dem wirtschaftlichen Wiederaufbau der jungen Republik Österreich. Dieser wirtschaftliche Aufschwung brachte aber auch eine Reihe vorher nicht beachteter Probleme in den Blickpunkt des öffentlichen Interesses. Steigende Industrieproduktion, erhöhter Energieverbrauch und stetig zunehmende Motorisierung fügten der zunehmend urbanisierten Welt immer größere Schäden zu. Mehr und mehr erkannte die Bevölkerung, dass die Zerstörung des Lebensmilieus nicht mehr länger hingenommen werden konnte. Daher wurden in Wien Anfang der 60-iger Jahre erste Versuche unternommen, den Zustand der Luft durch Messungen zu dokumentieren.

Zunächst wurden Schwefeldioxid und Staub als Indikatoren für die Luftschadstoffbelastung erfasst. Mit den gewonnenen Daten und den damaligen medizinischen Kenntnissen wurden erste Richtlinien für die zulässige Schadstoffkonzentrationen erarbeitet. Mit fortschreitend verbesserter Messtechnik konnten auch weitere wichtige Indikatorkomponenten (z.B. Kohlenmonoxid, Stickoxide und später auch Ozon) kontinuierlich überwacht werden. In weiterer Folge wurden die vorerst autarken Messstellen vernetzt und die gewonnenen Messdaten „Online“ zugänglich.

Als Resultat dieses personal- und kostenintensiven Messaufwands ist es nun möglich, die Luftschadstoffentwicklung repräsentativ zu analysieren. Als Voraussetzung für diese Analyse liegen nun erstmals hochaufgelöste, kontinuierliche Messdaten in ausreichender Qualität über einen Jahrzehnte umspannenden Zeitraum vor.

Die folgenden Untersuchungen führen zur Erkenntnis, dass - trotz des im selben Zeitraum stark gestiegenen Energiebedarfs und Individualverkehrs - die Luftqualität in vielen Aspekten sogar verbessert werden konnte. Aus den nachfolgenden Zusammenstellungen der umfangreichen Analysen der vorhandenen Luftmesswerte lässt sich ein Überblick über das Ausmaß, die zeitliche Entwicklung und regionale Besonderheiten der Schadstoffbelastung im Großraum Wien ableiten.

Der Umfang und vor allem die Qualität des Wiener Messnetzes wird stetig vergrößert und verbessert. Derzeit etwa laufen Bemühungen zusätzlich organische Verbindungen (z.B. Benzol) zu erfassen. Außerdem werden in naher Zukunft die einzelnen nationalen Messdaten in ein europaweites Netz zusammengeführt.

1 DAS WIENER LUFTGÜTEMESSNETZ

1.1 Konzeption und Messtechnik des Wiener Luftgütemessnetzes

Für die Konzeption des Messnetzes, die Wartung der Messstellen sowie die Kontrolle, Archivierung und Verwaltung der gewonnenen Daten ist seit 1984 die Umweltschutzabteilung der Stadt Wien (Magistratsabteilung 22) zuständig. Seit Ende der 60-iger Jahre sind Luftmessdaten anderer Institutionen verfügbar. Einschlägige Auswertungen und entsprechende Publikationen, vor allem hinsichtlich der Überschreitung gesetzlicher Grenzwerte zum Schutz der Bevölkerung bzw. der Vegetation gemäß Smogalarmgesetz, Ozongesetz, Immissionsschutzgesetz-Luft und verschiedenen EU-Richtlinien, werden durch das seit 1991 bestehende Referat *Luftmessnetz* vorgenommen (z.B. Löffler et al., 1994). Übersichten zu den Messstandorten (Abb. 1.1), den eingesetzten Messgeräten sowie zur Datenverfügbarkeit und Öffentlichkeitsarbeit sind in den Kapiteln 1.1.1 bis 1.1.4 enthalten.

⇒ Die Luftgütemessungen der Stadt Wien dienen zur Bewertung der Immissionssituation in der Bundeshauptstadt. Bei Überschreitung gesetzlich festgelegter Grenzkonzentrationen sind - auf Basis der Analyse des umfangreichen Datenmaterials - Empfehlungen zur effizienten Durch- bzw. Einführung emissionsmindernder Maßnahmen möglich.

1.1.1 Messstellenübersicht

Im Stadtgebiet von Wien wird die Luftqualität von 18 stationären Messstellen überwacht, die mit der Messzentrale vernetzt sind.

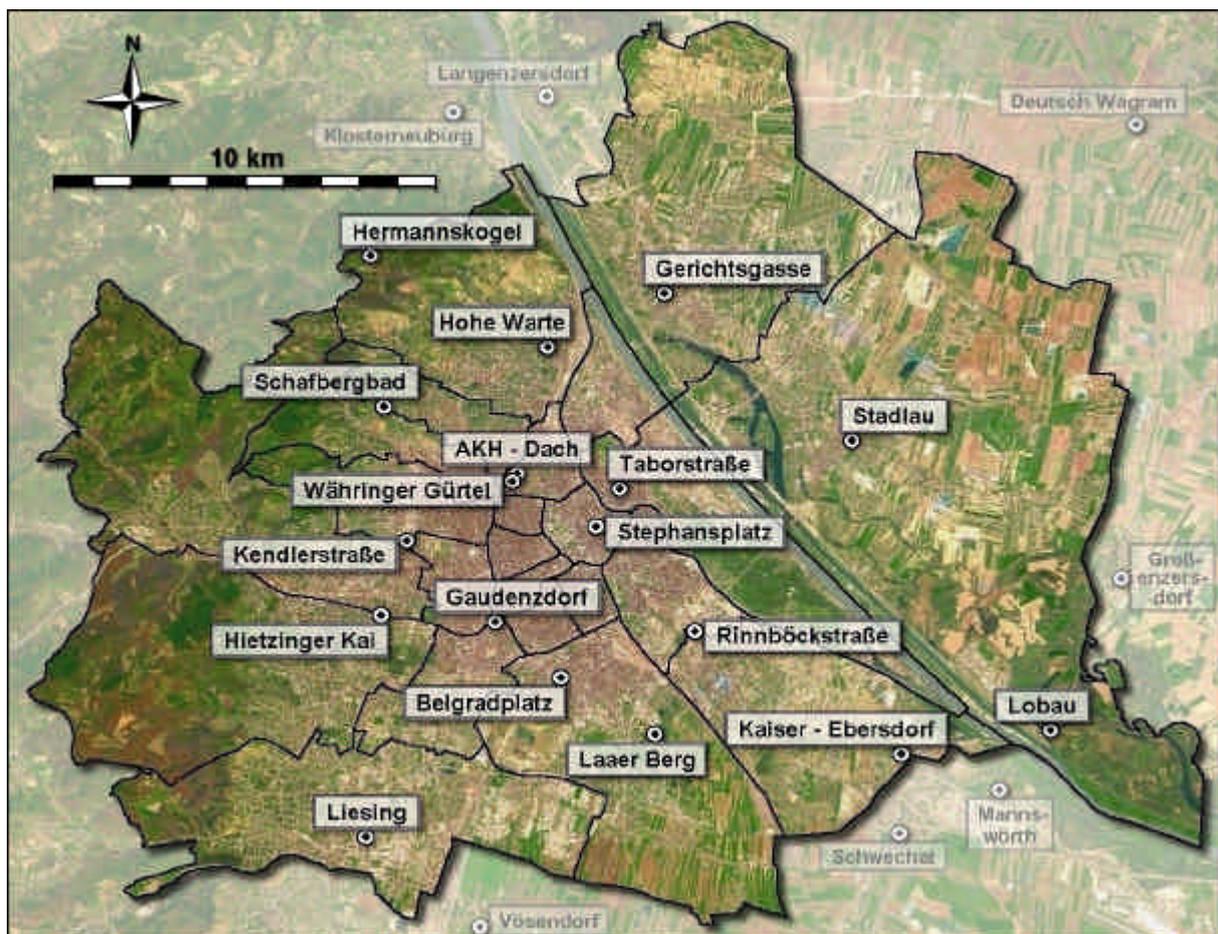


Abbildung 1.1 Luftgütemessstellen im Stadtgebiet von Wien sowie stadtnahe Messstellen der Niederösterreichischen Landesregierung (u.a. Spangl, 1995)

⇒ Die Luftgütemessstellen sind in sehr unterschiedlichen städtischen Aufenthaltsbereichen aufgestellt, um jederzeit einen guten Überblick zur Luftgüte im Stadtgebiet von Wien zu haben. Es gibt Messstellen am Fahrbahnrand einer Hauptverkehrsstraße, in einer Einkaufsstraße, in Wohnsiedlungen und schließlich in der Innenstadt genauso, wie in den Erholungsgebieten am Stadtrand.

Das Wiener Luftgütemessnetz setzt für Messkampagnen zusätzlich einen Messbus ein, der bezüglich Messgerätebestückung, Datenerfassung und Übertragung vergleichbar mit den ortsfesten Messstellen ausgerüstet ist, und mit dem unter bestimmten Voraussetzungen (z.B. Stromversorgung) nahezu überall in Wien stichprobenartig über mehrere Wochen die Luftgüte erfaßt werden kann.

1.1.2 Datenerfassung und -transfer

Herzstück der Wiener Luftmessstellen ist das Datenerfassungssystem DERF. Alle zehn Sekunden erfasst das DERF einen Messwert aus den Messgeräten. Aus diesen werden zunächst Minutenmittelwerte und in der Folge Halbstundenmittelwerte gebildet, auf welchen in erster Linie die routinemäßige Beurteilung der Luftsituation Wiens beruht. Schließlich werden 1-, 3-, 8- und 24-Stunden-Mittelwerte errechnet die mit den Grenzwerten zu vergleichen sind. Die wichtigsten Daten werden durch die Messzentrale über Telefonleitungen bzw. via Mobiltelefon (Messbus) untertags üblicherweise stündlich abgerufen und gespeichert. Die relativ langwierige Übertragung und Archivierung aller Einminutenwerte sowie der Protokolle über den Zustand der Messstationen (Statusinformationen) erfolgt vollautomatisch während der Nacht. Mit diesen zeitlich hochaufgelösten Informationen sind tägliche Plausibilitätskontrollen möglich. Eine ständige automatische Grenzwertüberwachung veranlasst im Fall einer erhöhten Schadstoffbelastung auch an dienstfreien Tagen die Benachrichtigung eines Bereitschaftstechnikers mittels Pager. Bei Überschreitung von Warnwerten ist dadurch die rasche Plausibilitätsprüfung und in der Folge die Information der betroffenen Bevölkerung permanent gewährleistet.

⇒ Die umfangreichen Luftgütemessungen haben innerhalb der vergangenen 13 Jahre zu einem Datenarchiv von über 15 Millionen Halbstundenwerten geführt. Die Erfassung und Übertragung der Daten in die Messnetzzentrale erfolgt vollautomatisch. Die so gewonnenen Werte werden bezüglich ihrer Plausibilität laufend überprüft und veröffentlicht (siehe Kap. 1.2).

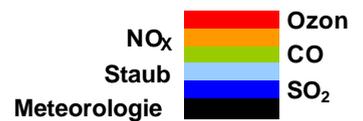
Tabelle 1.2 Technische Daten der eingesetzten Messgeräte

Luftschadstoff	Messmethode	Messgerät	Nachweisgrenze ¹	Messbereich ¹	Stationskalibrator
Schwefeldioxid SO ₂	UV-Fluoreszenz	HORIBA APSA 350/360	< 1 ppb	200 ppb	SO ₂ -Permeationssystem
Stickoxide NO _x	Chemo-lumineszenz	HORIBA APNA 350/360	< 2 µg/m ³	1000 ppb	NO-Flaschengas Verdünnungssystem
Kohlenmonoxid CO	nicht dispersive IR-Absorption	HORIBA APMA 350/360	< 0,3 mg/m ³	20 ppm	CO-Flaschengas Verdünnungssystem
Ozon O ₃	UV-Absorption	HORIBA APOA 350/360	< 2 µg/m ³	200 ppb	O ₃ -Generator mittels UV-Lampe
Schwebstaub	Beta-Strahlen-Absorption: VDI 2463/5	FH 62 IN 1m ³ FH 62 IR 1m ³	< 10 µg/m ³	keine Angabe möglich	Prüfstift

Meteorologische Größe	Messmethode	Messgerät	Auflösung	Messbereich
Globalstrahlung	Sternpyranometer	Kroneis Type 8110	-	1500 W/m ²
Lufttemperatur	Widerstandsgeber	Kroneis Type 420	0,1 °C	-35 bis + 45 °C
Relative Luftfeuchte	Haarhygrometer	Kroneis Type 800L100	3%	100%
Windgeschwindigkeit	Schalenkreuz-Anemometer	Kroneis Type 263 AR	1,5 km/h	200 km/h
Windrichtung	Windfahne	Kroneis Type 263 AR	1 Grad	360 Grad
Luftdruck	Membrandose	Kroneis Type 317 A	0,2 mbar	825-1050 mbar
Niederschlag	Wippensystem	Kroneis Type AP 23	0,1 mm	-

¹ Erläuterungen zu den Konzentrationsangaben in Kapitel 2.2.3.1

Tabelle 1.1 Lageinformationen zu den Luftgütemessstellen in Wien sowie Messziele gemäß gesetzlicher Verordnungen³



Bez.	Luftgütemessstelle	geogr. ¹ Länge	geogr. ¹ Breite	See- ² höhe	Topo- grafie	Unmittelbare Stationsumgebung	Smog	IG-L	Luft	MVA	KW	Ozon
1	Stephansplatz	16°22'27"	48°12'31"	172	Ebene	Innerstädtische Fußgängerzone; an Werktagen Berufsverkehr						
2	Taborstraße	16°22'56"	48°13'03"	160	Ebene	nahe Fahrbahn; typ. Einkaufsstraße relativ hohes Verkehrsaufkommen						
9	AKH-Dach	16°20'52"	48°13'16"	190	Hoch- haus	Hochhaus; Ansaugung in 90 m über Grund	wurde 1997 aufgelassen					
9	Währinger Gürtel	16°20'46"	48°13'09"	185	leichte Hangl.	in ca. 150 m Entfernung zu einer Hauptverkehrsstraße (Gürtel)						
10	Belgradplatz	16°21'45"	48°10'29"	220	leichte Hangl.	typ. innerstädtisches Wohngebiet; mittleres Verkehrsaufkommen						
10	Laaer Berg	16°23'39"	48°09'41"	250	Hügel- rücken	nahe einer Durchzugsstraße; relativ hohes Verkehrsaufkommen						
11	Kaiser-Ebersdorf	16°28'38"	48°09'26"	155	Ebene	Stadtrand; Wohn- und Industriegebiet; ca. 350 m neben Ostautobahn						
11	Rinnböckstraße	16°24'28"	48°11'06"	160	Ebene	ca. 100 m neben Stadt- autobahnbrücke (Südosttangente);						
12	Gaudenzdorf	16°20'26"	48°11'16"	175	Ebene	Städtisches Wohngebiet; nahe Verkehrsknoten						
13	Hietzinger Kai	16°18'07"	48°11'19"	195	Ebene	direkt am Fahrbahnrand; sehr hohes Verkehrsaufkommen						
16	Kendlerstraße	16°18'39"	48°12'20"	230	leichte Hangl.	Städtisches Wohngebiet; Durchzugs- straße mit relativ wenig Verkehr						
18	Schafbergbad	16°18'11"	48°14'10"	320	Hügel- lage	Erholungsgebiet am Stadtrand; Wohngebiet mit Anrainerverkehr						
19	Hermannskogel	16°17'55"	48°16'15"	520	Hügel- kuppe	Erholungsgebiet am Stadtrand im Wienerwald						
19	Hohe Warte	16°21'28"	48°14'58"	207	Hang- lage	Villenviertel am Stadtrand; geringes Verkehrsaufkommen						
21	Gerichtsgasse	16°23'50"	48°15'40"	155	Ebene	Städtisches Wohngebiet; Anrainerverkehr						
22	Lobau	16°31'36"	48°09'45"	150	Ebene	Erholungsgebiet am Stadtrand im Nationalpark Donauauen						
22	Stadlau	16°27'38"	48°13'41"	155	Ebene	Städtisches Wohngebiet; Anrainerverkehr						
23	Liesing	16°17'48"	48°08'18"	215	Ebene	Industriegebiet; mittleres Verkehrsaufkommen						

¹ Geografischer Längengrad [°E] bzw. Breitengrad [°N] ² Höhe über Meeresniveau [m]

³ Messziele nach der für die Erfassung der jeweiligen Komponente gültigen Vorschrift:

- Smog** Smogalarmmessstelle gemäß Smogalarmgesetz und Smogalarmplan für Wien
- IG-L** Messstelle gemäß Immissionsschutzgesetz-Luft und zugehöriger Messkonzeptverordnung
- Luft** Landesmessstelle zur flächendeckenden Überwachung der Luftqualität in Wien gemäß Wiener Feuerpolizei- und Luftreinhaltegesetz
- MVA** Messstelle gemäß Genehmigungsbescheid für der Müllverbrennungsanlage Spittelau
- KW** Messstelle gemäß Genehmigungsbescheid für des Kraftwerks Simmering
- Ozon** Ozonmessstelle gemäß Ozongesetz und Messnetzkonzeptverordnung

Meteorologie: Lufttemperatur, -feuchte und -druck, Windgeschwindigkeit und -richtung, Niederschlag, Globalstrahlung

1.1.3 Qualitätssicherung

An den Messgeräten werden in Abständen von 23 Stunden automatische Funktionskontrollen mittels Prüfgasgeneratoren durchgeführt. Eine Kalibrierung aller kontinuierlich arbeitenden Immissionsmessgeräte und der Prüfgasgeneratoren erfolgt routinemäßig zumindest halbjährlich mit Hilfe von Transferstandards, die mit den Referenzstandards des Kalibrierlabors der Umweltschutzabteilung abgeglichen werden. Die Kalibrierung dieser Referenzstandards erfolgt seit 1991 mindestens jährlich beim Umweltbundesamt Wien. Der Abgleich der UBA-Standards an internationale Standards des „National Institute of Standards and Technology“ (NIST) wird ebenfalls jährlich durchgeführt.

⇒ Während die Datengüte zu Beginn der Messungen bis in die späten 80-iger Jahre noch von etwas geringerer Qualität gewesen ist, sind die Daten der Messstellen spätestens seit 1991 aufgrund der modernen Kalibriermethoden ausgezeichnet untereinander vergleichbar. Die verschiedensten Analysen - z.B. zur Ursachenforschung von Belastungsepisoden - sind nun problemlos möglich.

1.1.4 Datenverfügbarkeit

In Tab. 1.3 ist die Datenverfügbarkeit aus den Wiener Luftschadstoffmessungen der Jahre 1987 - 1998 eingetragen. Monate mit einer Datenverfügbarkeit > 75 % (bezogen auf *Halbstundenmittelwerte*) sind für die Luftschadstoffe Ozon (rot), NO₂ (orange), NO (gelb), CO (grün), Staub (hellblau) sowie SO₂ (dunkelblau) eingetragen. Die Berücksichtigung von Daten aus früheren Jahren sowie von Daten anderer Messstellen bzw. Messnetzbetreiber wird in diesem Bericht jeweils explizit vermerkt.

⇒ Der Großteil des Messnetzes in seiner heutigen Ausstattung wurde 1987 errichtet und mit Geräten bestückt. Während in den Jahren danach technische Probleme wiederholt zu Ausfällen geführt haben, liegt die Datenverfügbarkeit in der Gegenwart u.a. aufgrund der verbesserten Technik bei knapp 100 %.

1.2 Veröffentlichungen

Die Umweltschutzabteilung veröffentlicht die Messergebnisse laufend mittels Telefon-Tonbanddiensten, Telefax-Abruf, Internet, Anzeigetafeln, Teletext & Infokanälen sowie jährlich im Wiener Umweltbericht. Für wissenschaftliche Zwecke stehen die Wiener Luftmessdaten kostenlos zur Verfügung.

⇒ Informationen zur aktuellen Luftgütesituation in Wien:

- Aktuelle Informationen im Internet: URL [http:// www.magwien.gv.at/ma22/](http://www.magwien.gv.at/ma22/)
- Tonbanddienst für den aktuellen Luftgütebericht: ++43 (1) 4000 / 8820
- Tonbanddienst für die stündlich aktualisierten Ozonmesswerte: ++43 (1) 4000 / 88288
- Faxservice für den aktuellen Luftgütebericht: ++43 (1) 4000 / 9877
- ORF-Teletext, Kabel-TV Informationskanäle, Kabeltext sowie 4 Anzeigetafeln in Wien (Stephansplatz, Alserbachstraße, Am Spitz in Floridsdorf, im Amtsgebäude der MA 22 in der Ebendorferstraße)

Tabelle 1.3 Datenverfügbarkeit in den Jahren 1987-1998



	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Stephansdom												
Taborstraße												
AKH-Dach												
Währinger G.												
Belgradplatz												
Laaer Berg												
Kaiser-Ebersdorf												
Rinnböckstraße												
Gaudenzdorf												
Hietzinger Kai												
Kendlerstraße												
Schafbergbad												
Hermannskogel												
Hohe Warte												
Gerichtsgasse												
Lobau												
Stadlau												
Liesing												

- Geringe Datenverfügbarkeit 1987 & 1988 während der Errichtung und Bestückung der Messstellen
- Ausfall der NO_x-Messgeräte Ende 1994 / Anfang 1995 wegen Messgeräteumbau
- Einstellung der Luftgütemessungen an der Messstelle AKH-Dach mit Ende November 1997

2 ALLGEMEINE INFORMATIONEN

Die Luftqualität in der Großstadt Wien muß man sich der von häufig wechselnden Rahmenbedingungen (z.B. Emissionssituation, Großwetterlage) und der verschiedenen ebenfalls variablen bzw. dadurch beeinflussten luftchemischen sowie physikalischen Prozesse bewußt sein, woraus räumlich und zeitlich äußerst inhomogene Immissionsverhältnisse resultieren. Um einen Überblick über die Vielzahl von u.a. umweltmeteorologischen Abhängigkeiten und Wechselwirkungen zu erhalten, werden in diesem Kapitel wesentliche Einflußfaktoren auf die Luftgüte in Wien in allgemeiner Form vorgestellt. Nach einer Einführung zur Emissionssituation und -entwicklung im Großraum Wien sowie einigen Grundlagen zu den im Rahmen dieses Berichts analysierten Luftschadstoffen, gibt Kapitel 2.3 einen Einblick in die Komplexität des Themas.

2.1 Schadstoffemissionen

2.1.1 Emissionen von Luftschadstoffen in Österreich

Der Großteil aller Emissionen von Luftschadstoffen resultiert aus der Verbrennung von fossilen Brennstoffen zur Erzeugung elektrischer und thermischer Energie sowie zum Antrieb von Maschinen und Fahrzeugen. Dabei ist zu beachten, daß der Gesamtenergieverbrauch Österreichs zwischen 1970 und 1991 um 46 % angestiegen ist (BMU, 1996), wobei der Anteil von Kohle und Erdölprodukten als Energieträger gesunken und u.a. der Anteil von Erdgas angestiegen ist. Gleichzeitig stieg auch die effiziente Energienutzung in Form von Fernwärme. Beim Kfz-Bestand verzeichnete man zwischen 1970 und 1991 immerhin eine Verdopplung.

⇒ Im wesentlichen kann zwischen vier großen Emittentengruppen unterschieden werden:

Kraftwerke, Industrie, Kleinverbraucher und Verkehr.

In der folgenden Tabelle 2.1 sind die Hauptverursacher von SO₂-, NO_x-, CO- sowie Staubemissionen eingetragen. Zwar beziehen sich die Angaben der Tabelle auf die Emissionen in Gesamtösterreich, trotzdem dürften selbst die aufgelisteten Prozentsätze, in erster Näherung auch Richtwerte für die Situation im Großraum Wien darstellen.

Bezüglich der längerfristigen zeitlichen Entwicklung der Schadstoffemissionen in Wien und des bereits erzielten relativ hohen technischen Standards zur Verringerung der Schadstoffemissionen ist zu vermerken, dass für weitere Verbesserungen längst nicht nur Maßnahmen in der Großstadt selbst, sondern in verstärkter Form auch in den angrenzenden Nachbarländern erforderlich sind. Andererseits darf nicht vergessen werden, daß der seit Jahrzehnten ständig steigende Wohlstand (erhöhter Energiebedarf, gesteigerte Mobilität, etc.) den Erfolg einiger Reduktionsmaßnahmen abgeschwächt hat.

Beim Sekundärschadstoff Ozon¹ sind die direkten Emissionen (Blitzentladung, Kopiergeräte, Schweißen, etc.) höchstens von lokaler Bedeutung. Das Hauptaugenmerk liegt vielmehr auf den Vorläufersubstanzen von Ozon (flüchtige organische Verbindungen sowie Stickoxide: NO & NO_x), welche im Sonnenlicht fotochemisch zu einer Vielzahl von Substanzen umgewandelt werden, wobei Ozon üblicherweise die Leitsubstanz darstellt. Der großen Bedeutung der Emissionen von Ozon-Vorläufersubstanzen im Großraum Wien hinsichtlich der Ozonsituation in der Stadt sind die Kapitel 2.1.2 und 2.1.3 gewidmet.

¹ Da sich die vorliegende Arbeit mit den Ergebnissen des Wiener Luftmessnetzes auseinandersetzt, wird in weiterer Folge mit dem Begriff Ozon ausschließlich das bodennahe (troposphärische) Ozon verstanden, welches im Gegensatz zum stratosphärischen Ozon als Schadstoff gilt.

Tabelle 2.1

Hauptverursacher von SO₂-, NO_x- CO- sowie Staubemissionen, Hauptemissionsgebiete in Nordostösterreich, Anteil der Emittentengruppen an den Gesamtemissionen (Österreich), Auswahl an möglichen Gegenmaßnahmen:

Hauptverursacher *
Hauptemittenten in Nordostösterreich
Anteile der Gesamtemissionen in Österreich *
Gegenmaßnahmen

* Zahlenwerte beziehen sich auf die Situation in Österreich

Schwefeldioxid	Verbrennung schwefelhaltiger Brennstoffe: Kohle (51 %), Heizöl (39 %) u.a. in kalorischen Kraftwerken; Kfz-Treibstoffe (10 %); Zellstoff,- Stahl- sowie petrochemische Industrie (Entschwefelung, etc.).				
	Industrie- und Gewerbebetriebe im Großraum Wien, Hausbrand (Winterhalbjahr!), Wärmekraftwerke				
	Wärmekraftwerke	Industrie	Verkehr	Kleinverbraucher	Sonstige
	19 %	49 %	8 %	24 %	< 1 %
	Einsparungen im Energiebereich, Fernwärme, weitere Reduktion des Schwefelgehalts von Erdölprodukten & Verbesserung der Rauchgasreinigung				
Stickoxide	Verbrennung fossiler und biogener Brennstoffe; Kraftfahrzeuge; Salpetersäureherstellung, Glaserzeugung, Landwirtschaft (Stickstoffdüngung); NO / NO ₂ -Verhältnis abhängig u.a. von Verbrennungstemperatur				
	dichtbesiedeltes Stadtgebiet, Hauptstraßen und Verkehrsknoten; Industriegebiete				
	Wärmekraftwerke	Industrie	Verkehr	Kleinverbraucher	Sonstige
	6 %	20 %	66 %	6 %	2 %
	Verkehrsverminderung, strengere Abgasvorschriften (Schwerverkehr!); weitere Modernisierung der Industrie; Reduktion des Stickstoffgehalts in Brennstoffen (Kraftwerke haben Reduktionspotential bereits ausgeschöpft)				
Kohlenmonoxid	unvollständige Verbrennung fossiler und insbesondere biogener Brennstoffe (ansonsten CO ₂ -Emissionen) vor allem durch Kleinverbraucher; Kraftfahrzeuge; Stahlerzeugung				
	Stadtgebiet (Winterhalbjahr!), Hauptstraßen und Verkehrsknoten; Industriegebiete				
	Wärmekraftwerke	Industrie	Verkehr	Kleinverbraucher	Sonstige
	1 %	15 %	27 %	55 %	2 %
	Einsatz von Fernwärme und Erdgas zur Raumheizung (statt Holz und Kohle); verbesserte, richtig eingestellte Kleinstfeueranlagen (Öfen)				
Staub	Verbrennung fester Brennstoffe; Metall-, Glas-, Baustoffindustrie; Kfz-Verkehr (Dieselruß, Reifen- und Straßenabrieb, Winterdienst); Baustellen; Gewerbebetriebe; Haushalte				
	dichtbesiedeltes Stadtgebiet, Hauptstraßen und Verkehrsknoten, Baustellen, Industriegebiete				
	Wärmekraftwerke	Industrie **	Verkehr **	Kleinverbraucher	
	3 %	29 %	34 %	34 %	
	Verkehrsverminderung, strengere Abgasvorschriften (Schwerverkehr!); staubmindernde Maßnahmen in der Industrie, Untersuchungen zur Erhebung der primären Quellen zur Initiierung gezielter Maßnahmen erforderlich				

** Emissionen durch u.a. Straßen- und Reifenabrieb, Winterdienst, Straßenbau, Schüttgüter und Winderosion nicht enthalten; könnten nach Schätzungen zwischen 75 und 100 % der für Österreich quantifizierten Staubemissionen betragen!

2.1.2 Zeitliche Entwicklung der Schadstoffemissionen in Österreich

Eine Bilanz der Emissionen von Schwefeldioxid, Staub, Kohlenmonoxid sowie NO_x in Österreich zwischen 1980 und 1993 zeigt (alle Angaben aus BMU, 1996):

- Die gesamtösterreichischen SO₂-Emissionen konnten zwischen 1980 und 1995 um insgesamt 85 % gesenkt werden (Abb. 2.1 a). Die deutlichsten Emissionsminderungen wurden in der Industrie (minus 89 %), bei den Kraft- und Heizwerken (minus 94 %) und bei der Gruppe der Kleinabnehmer (minus 78 %) erreicht.
- Für die Staubemissionen liegen weniger detaillierte Emissionsinventuren vor. Die Staubemissionen aus Verbrennungsvorgängen und Prozessen konnten in Österreich um ca. 40 % gesenkt werden (1980-1993), hauptsächlich in Folge der strengen behördlichen Emissionsgrenzwerte bei Industrieanlagen und kalorischen Kraftwerken.

- Die Kohlenmonoxidemissionen konnten in Österreich zwischen 1980 und 1995 um insgesamt 30 % gesenkt werden. Während die Emissionen im Straßenverkehr trotz der ständig steigenden Fahrleistungen deutlich reduziert wurden (minus 59%), konnte in der Industrie eine Abnahme um lediglich 10% erreicht werden und die Emissionen aus der Gruppe der Kleinverbraucher sind sogar um 18% angestiegen.
- Die NO_x -Emissionen konnten in Österreich um ca. 23% reduziert werden (1980-1995), deutlich bei Kraft- und Heizwerken (minus 69%) sowie in der Industrie (minus 40%) und nur geringfügig im Verkehr (minus 14%).

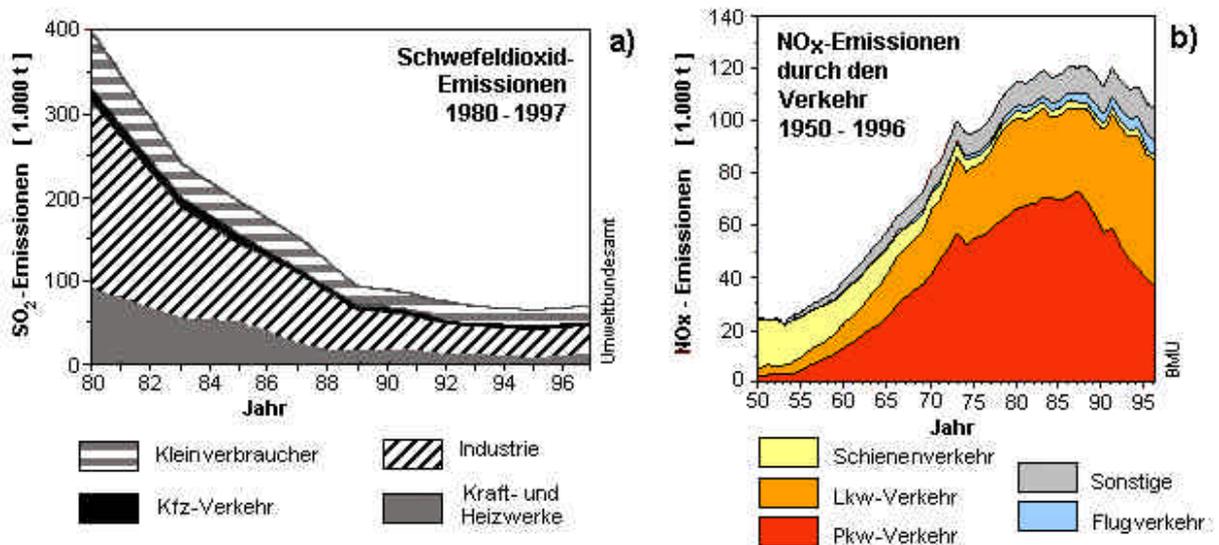


Abbildung 2.1

- a) Bilanz der Emissionen von Schwefeldioxid aus Verbrennungsvorgängen und Prozessen in Österreich für die Jahre 1980 bis 1997 (BMU, 1998), kumulative Darstellung
- b) Entwicklung der NO_x -Emissionen im Verkehr in Österreich von 1950 bis 1996 (BMUJF, 1997), kumulative Darstellung

Für einen wesentlich größeren Zeitraum existieren relativ detaillierte Informationen über die Stickoxidemissionen aus dem Verkehrssektor (Abb. 2.1 b). Betrachtet man die zeitliche Entwicklung in Österreich seit 1950, und zwar getrennt für die verschiedenen Verkehrsmittel, zeigt sich:

- In den Nachkriegsjahren wurde ein Großteil der NO_x -Emissionen und Staubemissionen noch durch den Schienenverkehr verursacht. Mit der Umstellung auf E-Lokomotiven sank dieser Anteil sehr rasch ab.
- Bis zur Einführung des Kfz-Katalysators (1987) sind die NO_x -Emissionen aus dem Pkw-Verkehr in Folge der Verkehrszunahme dramatisch angestiegen, danach sind die Emissionen merklich zurückgegangen.
- Bei den Stickoxidemissionen hat der Lkw-Verkehr in den 90-iger Jahren anteilmäßig den Pkw-Verkehr überholt, allein durch den Schwerverkehr auf Österreichs Straßen wurden im Bezugsjahr 1995 insgesamt 45 % der NO_x -Emissionen (Verkehrssektor) verursacht.
- Die Ozonvorläufersubstanzen (NO_x sowie NMVOC^2) werden zu einem hohen Anteil durch den Pkw- und Lkw-Verkehr verursacht.

Eine Übersicht zur räumlichen Verteilung sowie zeitlichen Entwicklung der Emissionen der Vorläufersubstanzen von Ozon innerhalb Nordostösterreichs ist im folgenden Kapitel 2.1.3 enthalten.

² NMVOC = Non-Methane Volatile Organic Compounds = flüchtige organische Nicht-Methan-Verbindungen

2.1.3 Emissionen von Ozon-Vorläufersubstanzen in Nordostösterreich

Den in Abbildung 2.2 abgebildeten Emissionskatastern für die wichtigen Vorläufersubstanzen von Ozon-, Stickoxide und flüchtige organische Nicht-Methan-Verbindungen (NMVOC) kann entnommen werden:

- ⇒ Der Ballungsraum Wien ist in Nordostösterreich die einzig großflächige Emissionsquelle von NO_x & NMVOC
- ⇒ Im Bereich des deutlich kleineren Bratislava, 50 km östlich von Wien (Slowakische Republik), existieren zwar ähnliche Emissionsdichten, allerdings bei geringerer Flächenausdehnung
- ⇒ An Werktagen tritt morgens ein deutliches NO_x -Emissionsmaximum auf, während an Sonntagen hohe Stickoxidemissionen erst im Laufe des Tages beobachtet werden. Die NMVOC-Emissionen fallen am Nachmittag an den Sonn- und Feiertagen deutlich geringer als an Werktagen aus.

Die Schadstoffemissionen sind während der Nacht im allgemeinen deutlich geringer als am Tag.

Vom österreichischen Nationalrat wurde 1992 ein Maßnahmenplan zur längerfristigen Reduktion der Ozonvorläufersubstanzen NO_x und NMVOC (Reduktion von jeweils 70 % bis zum Jahr 2006, Bezugsjahr 1985 bzw. 1988) beschlossen. Zur Einhaltung dieser im Ozongesetz (BGBl. Nr. 210/1992) in Form eines Stufenplans vorgegebenen Reduktionsziele müssen neben den bereits initiierten und durchgeführten Reduktionsmaßnahmen noch weitere, umfangreiche emissionsmindernde Maßnahmen realisiert werden (diese Aussage und die folgenden Daten aus Baumann et al. (1996)):

- NO_x - Emissionen:

Der Hauptverursacher der NO_x -Emissionen ist vor allem in den Sommermonaten mit 75 % der Verkehr (Industrie 22 %). Selbst im Winter verursachen Kleinverbraucher, Kraft- und Heizwerke lediglich 20 % der Gesamtemissionen. Trotz Einführung von Emissionsgrenzwerten für PKW und vermehrtem Einsatz von Katalysatoren konnten die NO_x -Emissionen aus dem Verkehr seit 1985 nur geringfügig reduziert werden (von 1985 bis 1996 um minus 6 %), da gleichzeitig die gefahrenen Personen-(+ 43 %) und Tonnenkilometer (+ 83 %) markant angestiegen sind.

- NMVOC-Emissionen :

Im Sommer werden durch den Einsatz von Lösemitteln (42 %) und durch den Kfz-Verkehr (32 %) ¾ der Gesamtemissionen verursacht. Vor allem beim Kfz-Verkehr konnte durch emissionsmindernde Maßnahmen (z.B. Katalysatorpflicht bei Neuwagen) seit 1988 eine Reduktion erreicht werden (zwischen 1988 und 1994 um minus 39 %)

- ⇒ Aufgrund der ständig zunehmenden Verkehrsdichte und der Tatsache, daß bei den Emissionen stationärer Quellen Reduktionsmaßnahmen (Fernwärmeausbau, Lösungsmittel-Verordnung, Gaspendelung) gegriffen haben, kommt dem Straßenverkehr in Nordostösterreich hinsichtlich der Gesamtemissionen von Ozonvorläufersubstanzen eine zunehmend größere Bedeutung zu.

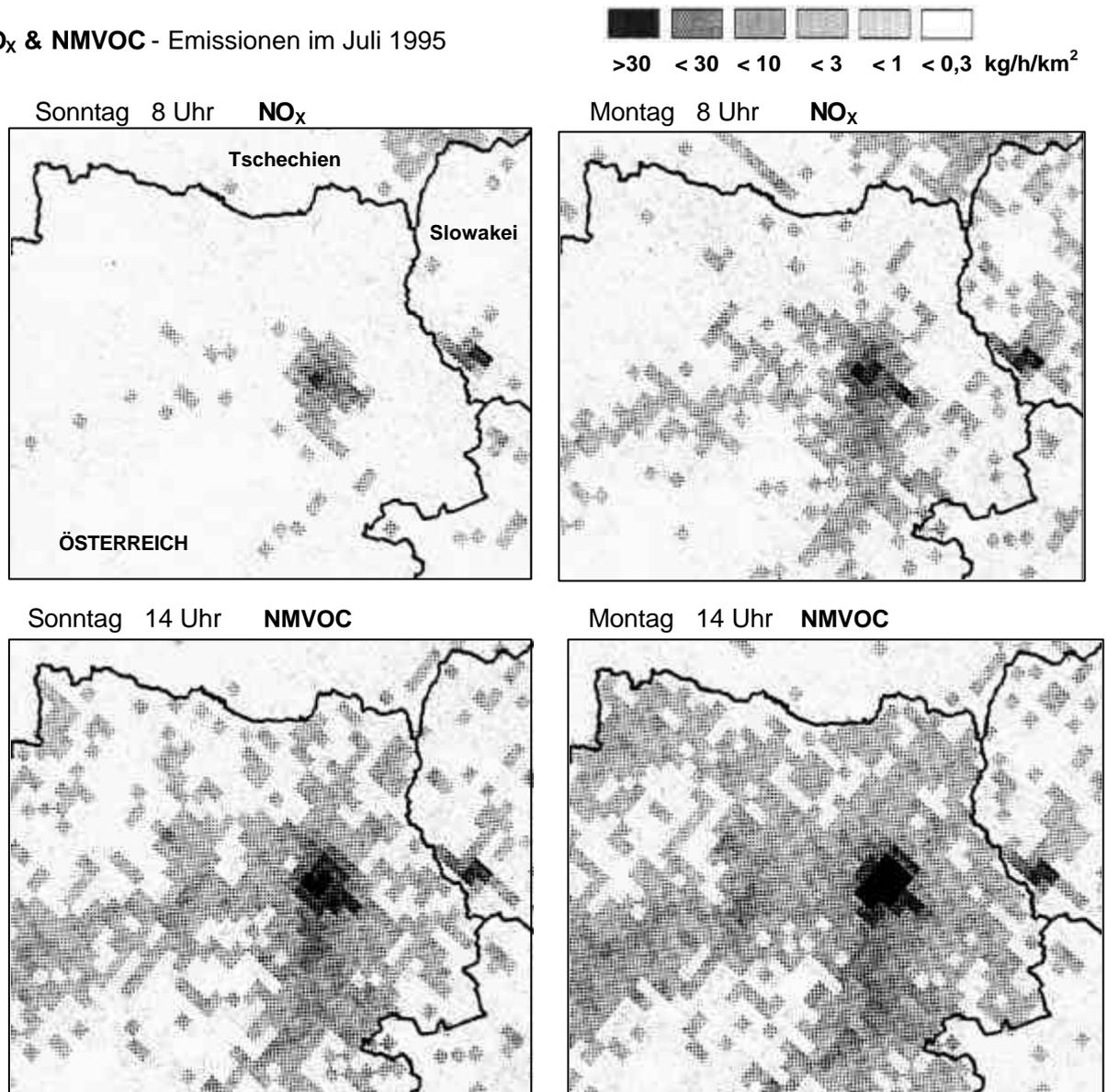
NO_x & NMVOC - Emissionen im Juli 1995

Abbildung 2.2 Flächenhafte Verteilung der NO_x- 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)

Im Falle von besonders hohen Ozonbelastungen in den Sommermonaten mit Überschreitungen einer Warnstufe an zumindest 2 Messstellen im Ozonüberwachungsgebiet I (Wien, Niederösterreich und nördliches Burgenland) sieht das Ozongesetz Sofortmaßnahmen zur Verringerung der Ozonvorläufersubstanzen vor, wobei die für den Straßenverkehr möglichen Restriktionen allerdings stark eingeschränkt sind.

2.2 Luftschadstoffe und Luftchemie

2.2.1 Die Fotochemie in der bodennahen Atmosphäre

2.2.1.1 Bildung von Fotooxidantien

In der bodennahen Atmosphäre kann Ozon (O_3) im wesentlichen nur durch die Reaktion von atomarem (O) mit molekularem Sauerstoff (O_2) gebildet werden (Ozonbildung). Der erforderliche atomare Sauerstoff wird in Folge solarer Einstrahlung (UV-Bereich) durch Fotodissociation von Stickstoffdioxid (NO_2) bereitgestellt. Das entstandene, äußerst reaktive Stickstoffmonoxid (NO) reagiert allerdings sehr rasch wieder mit Ozon (Ozonabbau). Diese Prozesse führen schließlich zum fotostationären Gleichgewicht, Ozonbildung und -zerstörung gleichen einander aus (links in Abb. 2.3). Eine Ozonproduktion kann nur erfolgen, wenn die Oxidation von NO zu NO_2 nicht nur durch O_3 , sondern auch durch andere chemische Spezies erfolgt. In der bodennahen Atmosphäre wird durch chemisch äußerst aktive Reaktionspartner (Radikale) eine Vielzahl entsprechender Umwandlungsprozesse angeregt.

- Durch Reaktionen von verschiedenen flüchtigen organischen Verbindungen (flüchtige Kohlenwasserstoffe) anthropogenen oder natürlichen Ursprungs mit sogenannten Radikalen werden zunächst komplexere, ebenfalls sehr reaktive chemische Verbindungen gebildet.
- Diese reaktiven Verbindungen führen schließlich zu einer Oxidation des NO zu NO_2 , wobei gleichzeitig die ursprünglichen Radikale zurückgebildet werden (katalytische Reaktionsfolge).

Die resultierende NO -Oxidation, wobei es bei dieser Reaktionskette zu keiner Ozonzerstörung kommt (rechte Hälfte in Abb. 2.3), führt schließlich zu einer Nettoproduktion von Ozon. Diese luftchemischen Verhältnisse können in den Abgasfahnen von Großstädten zu einer intensiven regionalen Ozonbildung führen.

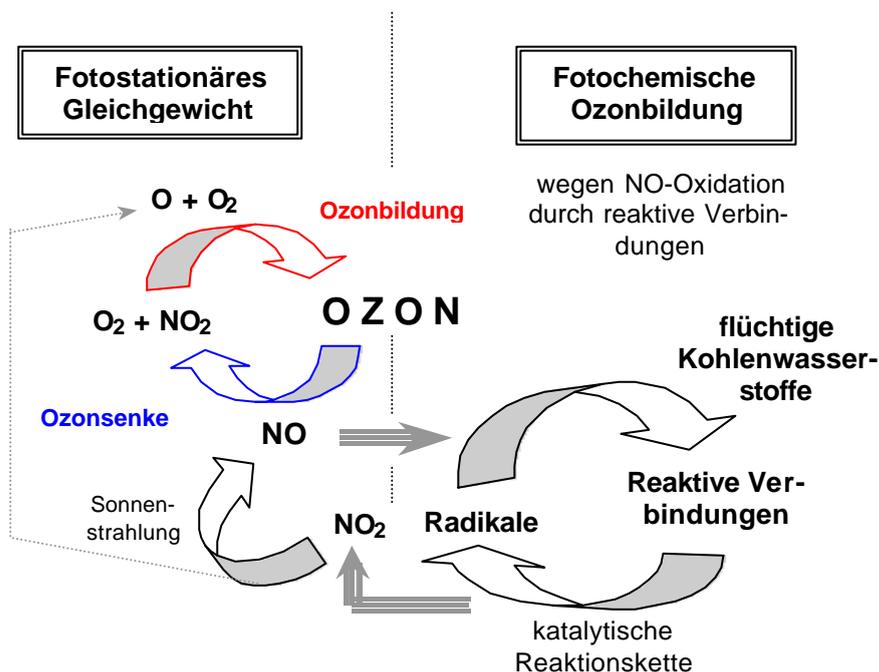


Abbildung 2.3 Schema zur Ozonbildung aus O_2 und NO_2 unter Mitwirkung verschiedener organischer Verbindungen (Darstellung stark vereinfacht)

⇒ In einer durch Stickoxide (NO_x) und flüchtige Kohlenwasserstoffe (Vorläufersubstanzen von Ozon) verunreinigten Luftmasse finden bei Sonneneinstrahlung eine Vielzahl von sehr komplexen fotochemischen Reaktionen bzw. Reaktionskreisläufen statt, wobei neben Ozon, verschiedene toxische organische Verbindungen entstehen. Die dabei ablaufenden katalytischen Reaktionszyklen sind teilweise noch ungeklärt.

In Reaktionskammern wurde die Bildung von fotochemischen Smog unter UV -Bestrahlung simuliert (Abb. 2.4). Bei diesen Laborversuchen zeigte sich die Ozonentstehung im wesentlichen in drei Phasen:

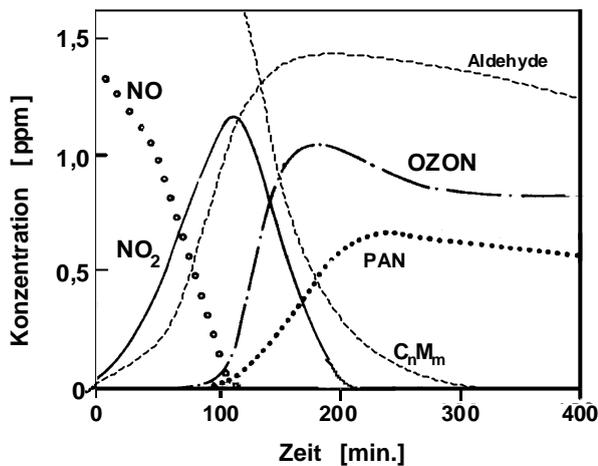


Abbildung 2.4 Typische Ergebnisse eines Ozonbildungsexperiments in einer Smogkammer. Neben Ozon wurde die Synthese einer Vielzahl von Fotooxidantien beobachtet (z.B. PAN), die hier jedoch größtenteils nicht eingetragen sind.

- Rasche Bildung von NO_2 aus NO , gleichzeitig werden flüchtige Kohlenwasserstoffe (C_nH_m) abgebaut, wobei andere Spezies (z.B. Aldehyde) gebildet werden.
- Bildung von Fotooxidantien – Ozon, Peroxyacetylnitrat (PAN), etc. - aus dem NO_2 und den reaktiven Kohlenwasserstoffen.
- Aufgrund der nun geringen NO_2 -Konzentration überwiegen kurzfristig chemische Abbaureaktionen die Bildungsrate von Ozon und schließlich stellt sich eine Gleichgewichtskonzentration von Ozon ein (Crutzen et al., 1993).

2.2.1.2 Abbauprozesse von Ozon

Während der Nachtstunden wird Ozon bei fehlender Sonneneinstrahlung sehr effektiv durch eventuell vorhandene NO_x -Emissionen abgebaut. Deshalb sinken die Ozonkonzentrationen im dichtbesiedelten Stadtgebiet nachts sehr stark ab. Neben diesen chemischen Abbaumechanismen wird Ozon durch trockene Deposition, wenn auch nicht so effektiv, an allen Oberflächen reduziert. Die Depositionsgeschwindigkeit nimmt mit zunehmender Rauigkeit bzw. Strukturiertheit der Oberfläche zu (z.B. in Waldgebieten).

⇒ Während die Schadstoffemissionen in den Großstädten tagsüber zu einer intensiven regionalen Ozonbildung führen können, wird das Ozon in der Nacht im Stadtgebiet häufig bis zur Nachweisgrenze abgebaut.

2.2.2 Bildung von Saurem Regen

Die chemische Umwandlung der Primärschadstoffe in der Atmosphäre zu Folgeprodukten, führt zwar zu einem Absinken der ursprünglichen Schadstoffkonzentrationen, neue Problemstoffe können allerdings entstehen und eine Beeinträchtigung der Umwelt mit sich bringen. So wird das Schwefeldioxid in der flüssigen Phase zu Sulfaten umgewandelt, wobei beim letztendlich ausgebildeten Sauren Regen auch die Oxidation des NO_2 zu Nitraten von großer Bedeutung ist.

Eine Oxidation von SO_2 zu Folgeprodukten (vor allem Schwefelsäure) erfolgt durch Reaktionen im gasförmigen Zustand wie auch durch Reaktionen in bzw. an flüssigen oder festen Teilchen. Die Schwefelsäure wird entweder an Aerosolpartikeln bzw. Schneekristallen angelagert oder in Wolken-, Nebel- sowie Regentropfen gelöst und schließlich in Folge der trockenen Deposition bzw. im Zuge von Regenfällen (naße Deposition) aus der Atmosphäre entfernt, wobei der resultierende hohe Säuregehalt des Regenwassers entscheidend zur Waldschädigung beitragen kann (Saurer Regen).

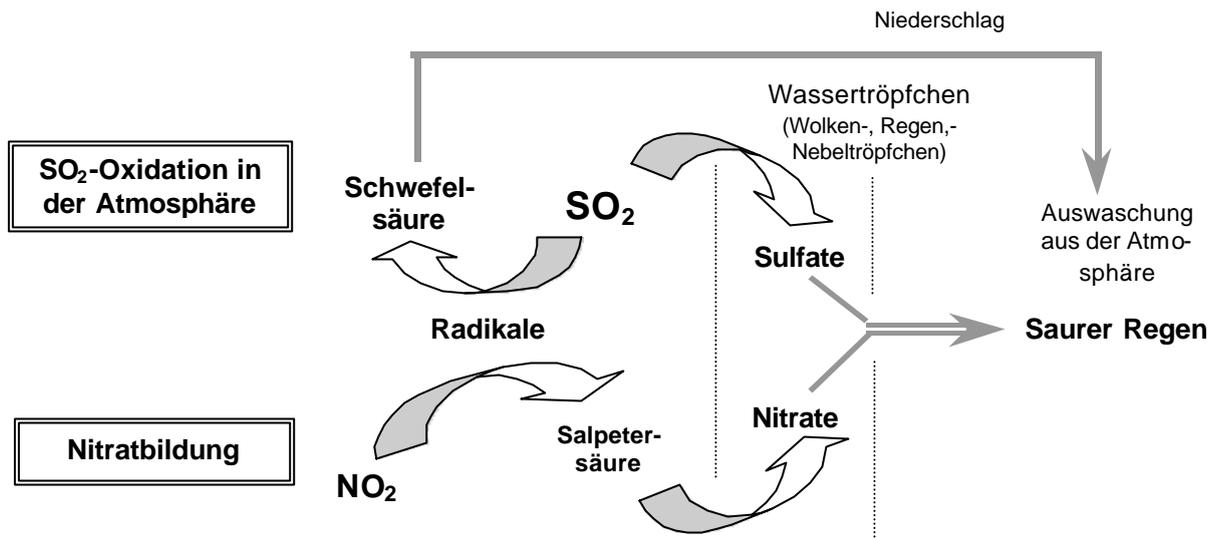


Abbildung 2.5 Schema zur Bildung von Sauerem Regen durch Oxidation bzw. Umwandlung von SO₂ und NO₂ zu Folgeprodukten unter Mitwirkung verschiedener Radikale bzw. Wassertröpfchen (Darstellung stark vereinfacht)

Wie bei den fotochemischen Prozessen kommt bei den Gasphasenreaktionen verschiedenen Radikalen eine entscheidende Bedeutung zu (Abb. 2.5). Bei der Oxidation des SO₂ an Flüssigkeitströpfchen kommt es entweder zur Ausbildung einer Lösung oder zu einer chemischen Umwandlung. Die Löslichkeit des SO₂ bzw. der Übergang von der gasförmigen in die flüssige Phase sowie die Umwandlung des SO₂-Hydrats zu verschiedenen Sulfaten ist von einer Vielzahl von Einflußfaktoren abhängig (u.a. Lufttemperatur und pH-Wert der Tröpfchen).

Die Oxidationsprozesse können je nach dem Grad der Luftverschmutzung durch Katalysator-substanzen bzw. in den Wassertröpfchen gelöste Oxidationsmittel beschleunigt werden, wobei in den Wintermonaten aufgrund des tieferen Temperaturniveaus und der geringeren Umwandlungsraten eine Lebensdauer des SO₂ von einigen Tagen möglich ist.

⇒ Aufgrund der relativ langen Verweildauer des SO₂ in der Atmosphäre, insbesondere im Winter, kann es über große Entfernungen verfrachtet werden (Schadstofftransport), mitunter über einige hundert Kilometer hinweg.

2.2.3 Chemische und physikalische Eigenschaften der Luftschadstoffe

2.2.3.1 Konzentrationsangaben

Die Konzentrations- bzw. Mengenangabe eines Spurengases in der Atmosphäre wird üblicherweise in Volumsanteilen (1 ppm = 1000 ppb ... parts per billion) oder Gewichtsanteilen (1 mg/m³ = 1000 µg/m³) angegeben. 1 ppm (parts per million) bedeutet 1 Volumsteil Schadstoff in einer Million Teile Luft, das entspricht 1 cm³ Schadstoff in 1 m³ Luft. Dagegen sind bei Angabe von 1 µg/m³ (Mikrogramm pro Kubikmeter) 0,000001 Gramm Schadstoff in 1 m³ Luft zu verstehen. 1 m³ trockener Luft hat eine Masse von ca. 1,29 kg (bei 0 °C und Normaldruck = 1013 hPa).

⇒ In der Immissionsmesstechnik sind vor allem die Einheiten **ppb** oder **µg/m³** anzutreffen.

Bei der Umrechnung der Einheiten ist die Lufttemperatur und der Luftdruck zu berücksichtigen (siehe Tab. 2.2).

2.2.3.2 Eigenschaften

Einige wichtige chemische sowie physikalische Eigenschaften der im Rahmen dieses Berichts analysierten Luftschadstoffe sind in Tabelle 2.2 - Spalte 2 eingetragen:

Erläuterungen:

1. Zeile: Typ und Phasenzustand der Luftbeimengung
2. Zeile: Reaktivität des Luftschadstoffes
3. Zeile: charakteristische Farbe und Geruch
4. Zeile: Wasserlöslichkeit, von Bedeutung bezüglich der Aufnahme in den menschlichen Organismus
5. Zeile: Natürliche Quellen
6. Zeile: Konzentrationsbereich bzw. Konzentrationsmaximum in der Atmosphäre

2.2.3.3 Wirkungen

Aus einer Vielzahl menschlicher Aktivitäten resultiert eine Abgabe von Schadstoffen in die Atmosphäre. Ab einem bestimmten Konzentrationsniveau wirken sich diese Luftbeimengungen zumeist nachteilig auf die menschliche Gesundheit, die Vegetation sowie verschiedenste Materialien aus. Dabei kann das Zusammenwirken verschiedener Schadstoffe zur Definition von vorsorgenden Grenzwerten nicht ausreichend berücksichtigt werden.

⇒ Die in Tabelle 2.2 angegebenen negativen Wirkungen der Luftschadstoffe können bei Einhaltung der in Tabelle 2.3 angegebenen Grenzwerte auf ein nicht mehr nachweisbares Minimum reduziert werden.

Tabelle 2.3 Grenzwerte zum Schutz der Vegetation bzw. zum Gesundheitsschutz

	Ozon				NO ₂			CO		Staub	SO ₂	
	µg/m ³				µg/m ³			mg/m ³		µg/m ³	µg/m ³	
	HMW	MW1	7MW	MW8	HMW	TMW	JMW	MW1	MW8	TMW	HMW	TMW
VEGETATIONSSCHUTZ Sommerhalbjahr, IV - X Winterhalbjahr, XI - III	300	150	60	60	200	80	30			120 ^a	70	50
											150	100
GESUNDHEITSSCHUTZ	120			100	200	80 ^b		40	10	200	200 ^d	200
IG-L				110 ^c	200				10	150	200 ^d	120
SMOGALARM^e Voralarm Smogalarm 1 Smogalarm 2								MW3				
					350			20		600 ^g		400
					600			30		800 ^g		600
					800			40		1000 ^g		800
OZON Warnwerte^f Vorwarnstufe Warnstufe 1 Warnstufe 2		MW3										
		200										
		300										
		400										

- a ... Darf an 7 nicht aufeinanderfolgenden Tagen pro Jahr überschritten werden
- b ... Grenzwert wurde 1998 von 100 auf 80 µg/m³ herabgesetzt
- c ... Zielwert, d.h. erfordert keine emissionsmindernden Maßnahmen; MW8 mit den Beginnzeiten 0, 8, 12 und 16 h
- d ... Darf dreimal pro Tag bis zu einem Höchstwert von 500 µg/m³ überschritten werden
- e ... Mindestens an einem Drittel der Smogmessstellen (alle Messstellen *außer AKH-Dach, Lobau, Schafbergbad, Hermannskogel*) muß der Grenzwert überschritten werden. Für eine Entwarnung muß dieser Wert an allen Messstellen wieder unterschritten sein.
- f ... Innerhalb des Ozonüberwachungsgebietes I (*Wien, NÖ, nördl. Burgenland*) Grenzwert mindestens an zwei Meßstellen überschritten und gleichbleibende oder ansteigende Ozonbelastung liegt vor.
- g ... Summe von SO₂ und Staub

Tabelle 2.2

Umrechnungsfaktoren, Eigenschaften, Wirkungen auf die menschliche Gesundheit sowie Quellen von Luftschadstoffen

Luftschadstoff	Eigenschaften	Wirkungen
Ozon O₃ 1 µg/m ³ = 1,9954ppb *	Spurengas, 3 O - Atome reaktives Oxidationsmittel farblos, charakt. Geruch schlecht wasserlöslich fotochemische Ozonbildung Ozonschicht in 20-25 km Höhe	Negative Auswirkungen auf die Atemwegsorgane; wird aufgrund der geringen Wasserlöslichkeit bis tief in die Lunge eingeatmet; Beeinträchtigung der Lungenfunktionsfähigkeit; pathologische und morphologische Veränderungen; insbesondere bei Kindern und Älteren: Kopfschmerzen, Augenreizungen, Brustenge, Husten
Anthropogene Quellen: lokale Erhöhungen u.a. bei Schalt-, Schweiß-, Filter- und Kopiervorgängen; Photochemische Ozonbildung in der Abgasfahne von Großstädten		
Stickstoffdioxid NO₂ 1 µg/m ³ = 1,9123ppb *	Spurengas stark oxidierend braun, stechender Geruch relativ gut wasserlöslich biologische Prozesse, Brände bodennahe Atmosphäre	Reizgas für die Atemwegsorgane; aus der Lösung in den Schleimhäuten resultiert eine erhöhte Anfälligkeit gegenüber Krankheitserregern im Atemtrakt
Stickstoffmonoxid NO 1 µg/m ³ = 1,2471ppb *	Spurengas mäßig reaktiv farblos, geruchlos schlecht wasserlöslich Vegetationsbrände Stadtatmosphäre	Wesentlich weniger toxisch als NO ₂ ; führt zu keiner Reizung der Schleimhäute im Atemtrakt, allerdings rasche Umwandlung zu NO ₂ in der Luft; beeinträchtigt den Sauerstofftransport im Blut
Kohlenmonoxid CO 1 mg/m ³ = 1,1640ppm *	Spurengas mäßig reaktiv farblos, geruchlos - Brände Stadtatmosphäre	Beeinträchtigt den Sauerstofftransport im Blut und damit die Sauerstoffversorgung des Körpers; negative Auswirkungen auf das Herzkreislauf-System und Zentralnervensystem; Schlafstörungen, Kopfschmerzen, Ermüdungserscheinungen
Schwebstaub Staub Angabe in ppb nicht möglich	Staubpartikelgrößen mit einem Durchmesser < 30 µm unterschiedlich abhängig von Art und Größe Bodenerosion, Waldbrände bodennahe Atmosphäre	Verstärkt die schädlichen Wirkungen des SO ₂ ; insbesondere feinste Partikel (< 10 µm) gelangen tief in die Lunge und führen zu einer Schwächung der Atemwegsorgane; höhere Anfälligkeit gegenüber chronischer Bronchitis; Personen mit Atemwegserkrankungen reagieren besonders sensibel
Schwefeldioxid SO₂ 1 µg/m ³ = 2,6647ppb *	Spurengas mäßig reaktiv farblos, stechender Geruch gut wasserlöslich Vulkanausbrüche Troposphäre	Reizung der Atemwege sowie der Schleimhäute in Augen, Mund, Nase und Bronchien; allgemeine Beeinträchtigung der Atmung; besondere Bedeutung kommt wiederholten Belastungsspitzen zu

* Umrechnungsfaktoren bezogen auf eine Lufttemperatur von 20 °C und einen Luftdruck von 1013,25 mbar

Von der Österreichischen Akademie der Wissenschaften wurden die folgenden Luftqualitätskriterien festgelegt. Zusätzlich sind in Tabelle 2.3 die Immissionsgrenzwerte des Immissionsschutzgesetz Luft (IG-L, 1997) enthalten.

2.3 Meteorologische Grundbegriffe

2.3.1 Schadstoffdynamik eines Sommertages

Die folgenden theoretischen Erläuterungen zur Struktur und zu den meteorologischen Prozessen innerhalb der atmosphärischen Grenzschicht sollen typische Verhältnisse an einem Sommertag über Land mit geringer Bewölkung und schwachem Wind beschreiben, also meteorologische Verhältnisse, wie sie in Mitteleuropa häufig im Bereich von Hochdruckgebieten auftreten.

Die primäre Quelle von Energie für alle atmosphärischen Prozesse ist die kurzwellige Sonneneinstrahlung. Diese Strahlungsenergie wird zu einem Teil von der Atmosphäre absorbiert, gelangt jedoch zum größeren Teil zur Erdoberfläche und wird an die angrenzende bodennahe Luftschicht abgegeben, welche sich dadurch erwärmt. Aufgrund horizontaler Temperatur- bzw. Druckunterschiede entstehen ausgleichende Luftbewegungen, welche in Bodennähe abgebremst werden.

Die atmosphärische Grenzschicht ist jener Bereich der Atmosphäre, welcher durch mechanische und konvektive turbulente Prozesse im ständigen Einflußbereich der Erdoberfläche steht, wobei es zu einem Austausch von Wärme und Impuls kommt. Die Mächtigkeit dieser Schicht unterliegt jahres- und tageszeitlichen Schwankungen und liegt an einem sommerlichen Schönwettertag in Mitteleuropa zwischen 1500 und 2500 m.

Innerhalb der atmosphärischen Grenzschicht werden Luftschadstoffe einerseits durch die mittlere Strömung und andererseits durch turbulente Bewegungen verfrachtet. Letztere, die turbulente Diffusion, führt vor allem in Abhängigkeit von den Windverhältnissen und der Temperaturschichtung zu einer Verdünnung von Schadstoffen in der atmosphärischen Mischungsschicht. Die Mächtigkeit dieser Schicht (Mischungsschichthöhe z_i) unterliegt einer Vielzahl von Einflüssen, wobei die deutlichen tagesperiodischen Schwankungen bezüglich der vertikalen Verteilung der Vorläufersubstanzen und der Ozonkonzentration von besonderem Interesse sind.

Die bodennahe Atmosphäre wird durch die vom Erdboden nach Sonnenaufgang abgegebene Wärme rasch erwärmt. Die zeitliche Entwicklung und Intensität dieses Prozesses wird maßgeblich von der Beschaffenheit der Erdoberfläche beeinflusst. Städte sind z.B. regelrechte "Wärmeinseln", denn die von der Sonneneinstrahlung erwärmten Asphalt- und Betonflächen sowie Hausmauern speichern die Wärme über viele Stunden hinweg. In Folge der "Aufheizung" der bodennahen Luft resultiert eine labile Temperaturschichtung, welche durch ein Aufsteigen von sogenannten Thermikblasen gekennzeichnet ist. Aus Kontinuitätsgründen wird dabei Luft aus höheren, relativ kühleren Luftschichten nach unten gemischt. Diese thermische Turbulenz wird durch die reibungsbedingte mechanische Turbulenz³ verstärkt. Die resultierende Durchmischung in der Mischungsschicht zeigt sich durch fast höhenunabhängige meteorologische Parameter (u.a. potentielle Temperatur, Feuchtigkeit, Windgeschwindigkeit) - (Abb. 2.6). Lediglich in den untersten Dekametern treten mitunter deutliche vertikale Gradienten auf.

In Bodennähe emittierte Schadstoffe werden in die Mischungsschicht rasch eingemischt. Ob dadurch auch eine wesentliche Verdünnung dieser Substanzen erfolgt, hängt maßgeblich von der Mischungsschichthöhe z_i ab. Diese Höhe unterliegt einem ausgeprägtem Tagesgang und steigt am Vormittag mit der Intensität der Sonneneinstrahlung rasch an. Am frühen Nachmittag liegt sie in einer Höhe von bis zu 2000 m. Diese Obergrenze der konvektiven Grenzschicht wird meist durch Absinkinversionen bestimmt. Diese sind ein Kennzeichen von Hochdruckwetterlagen mit großräumigem Absinken der Luft und adiabatischer Erwärmung sowie wolkenauflösender Tendenz. Am Nachmittag nimmt die Intensität der Sonnenstrahlung wieder ab, die thermisch induzierte Auftriebsbewegung wird geringer und z_i wächst nur mehr geringfügig an.

³ z.B. Luftwirbel, die auf der windabgewandten Seite von Hindernissen, etwa Baumreihen, entstehen.

Mit Sonnenuntergang wird die tagsüber deutlich positive Strahlungsbilanz des Bodens, besonders bei wolkenlosem Himmel, rasch negativ. Dadurch kühlt der Erdboden, wiederum stark von seiner Beschaffenheit abhängig, schnell ab. So speichern z.B. die Straßen und Häuser einer Stadt relativ lange die tagsüber absorbierte Strahlungsenergie in Form von Wärme, die daraus resultierende deutlich verzögerte Abkühlung ist ein Grund für die „Wärmeinsel“ Stadt (z.B. Auer et al., 1989). Ähnlich wie am Tag folgt die bodennahe Atmosphäre auch in der Nacht mit einer gewissen Trägheit dieser Temperaturänderung. Die Grenzschicht ist nun stabil geschichtet, eine nächtliche Strahlungs inversion hat sich gebildet, welche sehr effektiv Vertikalbewegungen verhindert. Die Mächtigkeit dieser Schicht beträgt, im Laufe der Nacht langsam zunehmend, einige hundert Meter. Innerhalb dieser flachen, ausschließlich durch mechanische Turbulenz schwach durchmischten Schicht, kommt es aufgrund bodennaher Emissionen zu einer deutlichen Anreicherung mit Primärschadstoffen. In Becken- und Tallagen, wo der horizontale Abtransport aufgrund der orographischen Situation nicht möglich ist, kann es in der Folge zu besonders hohen Schadstoffkonzentrationen kommen (z.B. Piringer et al., 1995).

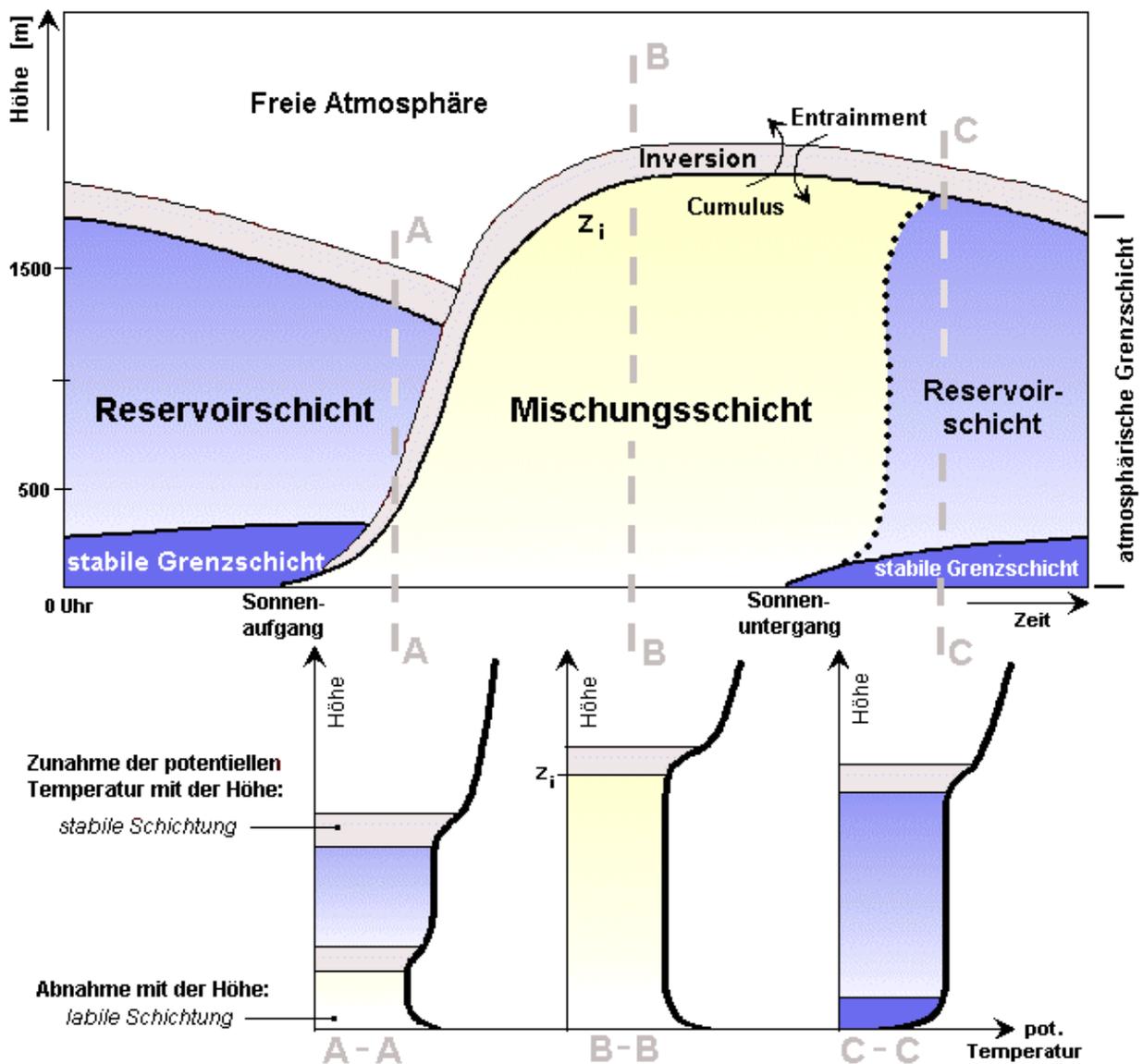


Abbildung 2.6 Typischer Tagesgang der Schichtung der atmosphärischen Grenzschicht an einem sommerlichen Schönwettertag. Vertikalschnitte der potentiellen Temperatur verdeutlichen die entsprechende vertikale Schichtung der Atmosphäre am Vor- und Nachmittag sowie während der Abendstunden (u.a. Stull, 1988)

Zwischen der Obergrenze der Bodeninversion und der Untergrenze der Höheninversion befindet sich eine Schicht die weder von der Erdoberfläche noch von der freien Atmosphäre wesentlich beeinflusst wird. Tagsüber in die atmosphärische Grenzschicht eingemischte Schadstoffe verbleiben fast unverändert in dieser sogenannten Reservoirschicht, da der Austausch mit anderen Luftschichten nicht möglich ist. Bei entsprechender Strömungssituation können sie in dieser Schicht über große Entfernungen verfrachtet werden. Die Mächtigkeit dieser Speicherschicht nimmt langsam ab, da die Höheninversion auf Grund der in der Nacht fehlenden konvektiven Auftriebskräfte absinkt (Subsidenz ≈ 100 m/h), mitunter deutlich tiefer als in Abb. 2.6 dargestellt.

Nach Sonnenaufgang wird zunächst die stabil geschichtete, nächtliche bodennahe Inversionsschicht vom Boden her labilisiert. Die Folge der erneuten Aufheizung von der Erdoberfläche ist die kontinuierliche Anhebung der Untergrenze der Bodeninversion, welche dann als abgehobene Inversion im Laufe des Vormittags bis zum Niveau der Absinkinversion ansteigen kann oder zuvor aufgelöst wird. Das Ansteigen der Mischungshöhe kann dabei deutlich über hundert Meter pro Stunde betragen. Wesentlich bei diesem Vorgang ist das Einmischen der mit Sekundärschadstoffen angereicherten Luft aus der Reservoirschicht in die gegebenenfalls mit Primärschadstoffen angereicherte bodennahe Luftschicht.

Abbildung 2.6 soll einen anschaulichen Überblick über diese tagesperiodischen Prozesse geben. Während untertags die atmosphärische Grenzschicht gleich der Mischungsschicht ist, unterteilt sie sich während der Nachstunden in die stabile Grenzschicht in Bodennähe sowie die darüberliegende Reservoirschicht. Im Bereich von Thermikschläuchen können sich tagsüber bei großem Feuchtigkeitsgehalt der atmosphärischen Grenzschicht konvektive Zellen bilden, welche vereinzelt die nach oben abgrenzende Inversion durchbrechen. Die entstandenen Cumuluswolken führen in diesem Höhenbereich zu einem Durchmischen der Mischungsschicht mit der freien Atmosphäre („Entrainment“).

Die Schadstoffbelastung eines Ortes im Nahbereich eines Emissionsgebietes hängt ganz wesentlich vom Zustand der atmosphärischen Grenzschicht ab. Während für primäre Schadstoffe vor allem die Verdünnung durch die turbulente Diffusion und horizontale Transportprozesse verschmutzter Luftmassen die jeweilige Immissionssituation entscheidend beeinflussen, sind für die Ozonbelastung weitere Einflußgrößen von Bedeutung.

Die Intensität fotochemischer Prozesse im Anschluß an die Emissionen der Ozon-Vorläufersubstanzen ist im wesentlichen eine Funktion der jeweiligen Strahlungs- und Temperaturverhältnisse. Erst einige Stunden nach Einsetzen der Ozonbildung werden zumeist die Spitzenbelastungen erreicht. In Folge der Verlagerung der mit Ozon bzw. dessen Vorläufersubstanzen angereicherten Luftmasse mit dem mittleren Wind kann es auch in sonst emissionsarmen Gebieten zu einer hohen Ozonbelastung kommen.

In der Nacht wird bei Vorhandensein einer Strahlungsinversion nur in Bodennähe Ozon durch Stickstoffmonoxid und trockene Deposition abgebaut. Folglich bleiben die in der tagsüber ausgebildeten Mischungsschicht vorhandenen Fotooxidantien in der nächtlichen Reservoirschicht erhalten. Nach Sonnenaufgang kommt es zu vertikalen Transportprozessen ozonreicher Luft aus höheren Luftschichten in die anwachsende Mischungsschicht.

⇒ An einem sommerlichen Schönwettertag führt die kräftige Sonneneinstrahlung zu einer thermischen Durchmischung der bodennahen Atmosphäre. Hohe Belastungen durch Primärschadstoffe sind auf die Nacht- bzw. frühen Morgenstunden beschränkt. Aufgrund der tagsüber intensiven Sonneneinstrahlung kommt es allerdings zur fotochemischen Ozonbildung.

2.3.2 Winterliche Inversionswetterlage

Wegen des ausgeprägten Jahrgangs der Sonnenstrahlungsintensität in den mittleren Breiten und der daraus resultierenden Variabilität der Witterungsverhältnisse kommt in den Wintermonaten anderen

meteorologischen Prozessen eine zentrale Bedeutung hinsichtlich der Ausbreitung von Luftschadstoffen zu als im Sommerhalbjahr. An einem sommerlichen Schönwettertag führt die intensive Sonneneinstrahlung zu einer ausgeprägten thermischen Turbulenz und folglich zur Ausbildung der sogenannten Mischungsschicht mit einer raschen Verdünnung von bodennah emittierten Schadstoffen innerhalb einer mächtigen Luftschicht (siehe Abb. 2.6). Im Winter ist dieser thermische Antrieb zur Durchmischung der atmosphärischen Grenzschicht wesentlich schwächer ausgeprägt, folglich kommt es zu keiner vergleichbaren vertikalen Verdünnung bodennah emittierter Luftschadstoffe.

Insgesamt können sich im Bereich ausgeprägter winterlicher Hochdruckgebiete äußerst austauscharme, windschwache Verhältnisse ausbilden, welche häufig zu einer Anreicherung der bodennahen Atmosphäre mit Luftschadstoffen führen. Im folgenden sollen die charakteristischen meteorologischen Verhältnisse während einer solchen winterlichen Belastungsepisode skizziert werden.

Der Strahlungsfluß von der Sonne zum Erdboden geht im Hochwinter auf ein Minimum zurück. Die Temperaturen sinken mit der Ausbildung eines ausgeprägten Hochdruckgebietes über Europa ("Kältehoch") mitunter weit unter den Gefrierpunkt. Bei zunächst wolkenlosen Verhältnissen führt die langwellige Ausstrahlung bzw. negative Strahlungsbilanz zu tiefen Lufttemperaturen. Dabei liegt das Temperaturminimum Österreichs häufig in schmälere Alpentälern. Hier ist die ausstrahlende Fläche sehr groß (langwellige Ausstrahlung jedes Festkörpers gemäß seiner Temperatur) und aufgrund der tief stehenden Sonne führt die Abschattung durch die umgebenden Berge zu einer zusätzlich verringerten Sonneneinstrahlung, woraus eine besonders starke Luftabkühlung am Talboden resultiert. Die entstandene Temperaturinversion (Temperaturzunahme mit der Höhe) verhindert vertikale Luftbewegungen in Bodennähe bzw. einen Luftmassenaustausch mit den höhergelegenen, wärmeren Luftschichten. In ähnlicher Form bildet sich bei diesen Verhältnissen auch in den Beckenlagen und allgemein im Flachland eine nur wenige hundert Meter mächtige winterliche Inversionsschicht aus.

Während der Nacht führt die fehlende Sonneneinstrahlung in Bodennähe schließlich zu einer weiteren Abkühlung, sodass sich die Temperaturgegensätze zwischen bodennahen und höheren Luftschichten verstärken. Im Laufe der Tage kommt es, bei sonst unveränderten schwachwindigen Verhältnissen, zu einer Anreicherung von Wasserdampf sowie von Luftschadstoffen innerhalb der stabil geschichteten Bodeninversion.

In Folge der Feuchtigkeitszunahme, welche durch eine vorhandene Schneedecke ganz wesentlich beschleunigt wird, bildet sich während der Nachtstunden bei Überschreitung des Sättigungsdampfdruckes Bodennebel aus. Dadurch verringert sich wiederum die langwellige Ausstrahlung des Erdbodens (Rückstrahlung durch den Nebel), sodass es zu keiner weiteren Abkühlung der bodennahen Luft mehr kommt. Nach Sonnenaufgang führt die ohnehin wenig intensive Sonneneinstrahlung höchstens zu einer leichten Anhebung des Bodennebels, und häufig zu keiner Nebelauflösung in den Tallagen bzw. im Flachland. Folglich bleibt es im Flachland Nordostösterreichs ganztägig nebelig trüb, bei beständigem Hochnebel und Temperaturen im Bereich des Gefrierpunktes, während im Bergland des Alpenvorlandes bei Sonnenschein deutlich höhere Temperaturen registriert werden.

In weiterer Folge führt der beständige Hochnebel zwar zu einer Abschwächung des Nachtfrostes, gleichzeitig resultiert aus der verringerten Sonneneinstrahlung während des Tages insgesamt eine abgeschwächte Tageserwärmung. Schließlich herrschen im Flachland stagnierende, niederschlagsfreie, trübe Verhältnisse mit geringen Tagesgängen der meteorologischen Parameter, schwachem Wind, lediglich diffuser Sonnenstrahlung sowie äußerst stabiler Temperaturschichtung. Die bodennahe Atmosphäre ist dann von den meteorologischen Ereignissen in höheren Luftschichten praktisch abgekoppelt.

Diese charakteristischen Verhältnisse können über Tage und mitunter Wochen andauern. Von zentraler Bedeutung für die daraus resultierende Luftschadstoffentwicklung ist die Temperaturzunahme mit der Höhe. Während aus Hochdruckwetterlagen mit geringen Druckunterschieden ohnehin niedrige Windgeschwindigkeiten resultieren, kommt es in Tal- und Beckenlagen zu einer Verschärfung der Situation.

Der Zustrom gering vorbelasteter Luftmassen aus dem Umland wird aufgrund der topographischen Situation gänzlich verhindert, da die Inversion wie ein "Deckel über einem Kochtopf" horizontale sowie vertikale Luftbewegungen auf ein Minimum reduziert. Bei Ost- bis Südwind treffen diese Verhältnisse auch für das Stadtgebiet von Wien zu. Dann verhindern die Hügel des Wienerwaldes bei Inversionswetterlagen mit schwachem südöstlichem Wind eine Verlagerung der Stadtluft in das Lee der Großstadt (nach Nordwesten). Mangels einer "Frischluftezufuhr" kann es in der Stadtatmosphäre zu einer beträchtlichen Anreicherung mit Luftschadstoffen kommen.

Der Schadstoffausstoß von Einzelemitenten mit großer Schornsteinhöhe (z.B. kalorische Kraftwerke) bzw. in Hanglage (siehe Abb. 2.7), erfolgt in den Wintermonaten manchmal oberhalb der bodennahen, mitunter weniger als 100 m mächtigen, Inversionsschicht. Die Emissionen können in dieser Situation je nach Strömungsverhältnissen in der darüberliegenden Luftschicht, nahezu ungestört über relativ große Entfernungen verfrachtet werden und beeinflussen gleichzeitig die Schadstoffsituation im näheren Umfeld des Emittenten praktisch überhaupt nicht. Die Großemittenten im Stadtgebiet eines Ballungszentrums tragen daher gerade bei den meteorologischen Rahmenbedingungen, bei welchen es zur Ausbildung einer regional verursachten ("hausgemachten") Belastungsepisode kommen kann, zu dieser nur geringfügig bei. Andererseits resultiert aus diesen Verhältnissen häufig ein grenzüberschreitender Schadstofftransport.

Häufig kommt es erst mit dem Durchzug eines Tiefdruckgebietes zu einem Luftmassenwechsel. Der auffrischende Wind und die kräftige vertikale Durchmischung im Bereich der Kaltfront führt zu einer raschen Zerstörung der Bodeninversion und damit schließlich zu einem Ende der Schadstoffepisode.

⇒ Inversionswetterlagen, d.h. ruhige Wetterlagen mit stabiler Temperaturschichtung und geringen Windgeschwindigkeiten können im Winter insbesondere im Stadtgebiet zu einer Anreicherung der bodennahen Atmosphäre mit Primärschadstoffen führen.

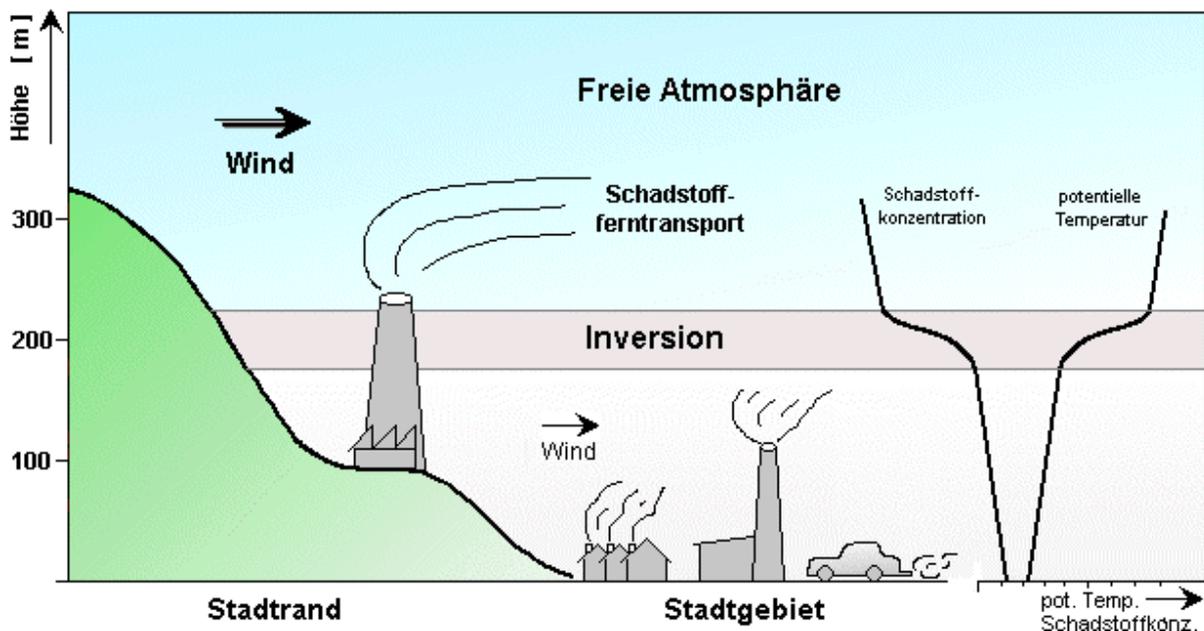


Abbildung 2.7 Charakteristische Vertikalprofile der Primärschadstoff-Konzentrationen sowie der potentiellen Temperatur während einer winterlichen Inversionswetterlage

3 ZEITLICHE ENTWICKLUNG DER BELASTUNG MIT LUFTSCHADSTOFFEN

In Österreich bzw. Wien wurden seit den späten 70-iger Jahren verschiedene Maßnahmen zur gezielten Reduktion der Schadstoffemissionen durchgeführt (siehe Kap. 2.1.2). Die Messdaten des Wiener Luftgütemessnetzes liefern wertvolle Informationen, ob sich diese Anstrengungen auch in einem entsprechenden Ausmaß positiv auf die Luftqualität in der Bundeshauptstadt ausgewirkt haben (Kap. 3.2). Wie in den Kapiteln 3.4 bis 3.6 gezeigt wird, überlagern sich den Zeitreihen der Schadstoffkonzentrationen jahres-, wochen- sowie tagesperiodische Schwankungen.

Um die in Kap. 3.3 durchgeführten Analysen der Überschreitungshäufigkeiten von Grenzwerten, und zwar sowohl der beobachteten zeitlichen Entwicklung als auch der räumlichen Verteilung in Wien, in Relation zur Lage und unmittelbaren Umgebung der einzelnen Luftgütemessstellen setzen zu können, erfolgt zunächst eine Charakterisierung der Standorte.

3.1 Charakterisierung der Luftgütemessstellen

Für die Analyse und Interpretation der Schadstoffmessungen im Stadtgebiet von Wien ist die Kenntnis der Stationsumgebung von großer Bedeutung. Entsprechend der Höhenlage, Emittentennähe bzw. Urbanität usw., können die Messstellen verschiedenen Stationstypen zugeordnet werden. Für eine Charakterisierung der Standorte fanden neben den allgemeinen Informationen aus Tabelle 1.1 auch die Ergebnisse von statistischen Auswertungen (Abbildungen 3.1 bis 3.5) Berücksichtigung. Verschiedene Untersuchungen im Rahmen dieser Studie wurden in weiterer Folge lediglich für einzelne charakteristische Messstellen durchgeführt.

3.1.1 Stickstoffoxide

Das Stickstoffmonoxid wird hauptsächlich durch den Kfz-Verkehr emittiert, deshalb sind die Stickstoffmonoxid-Messwerte gut für eine entsprechende Charakterisierung geeignet.

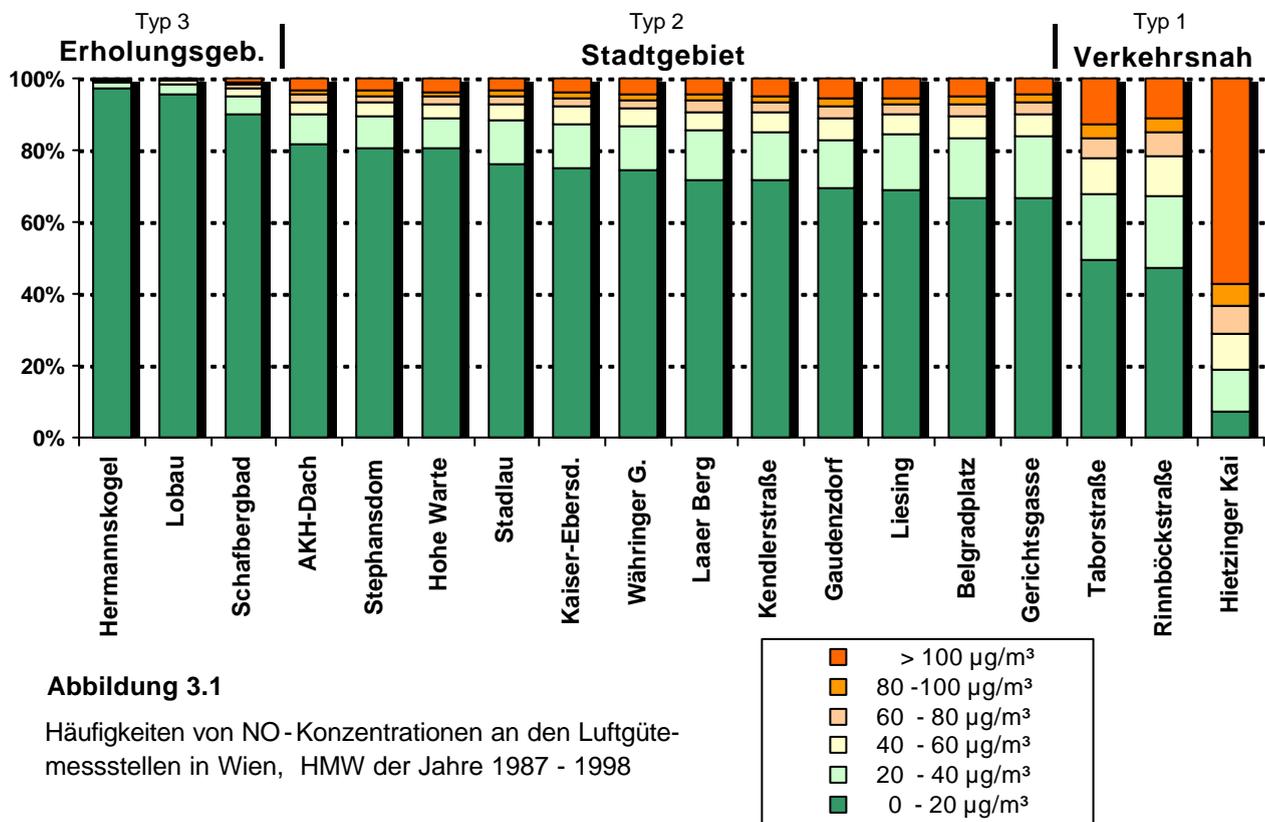
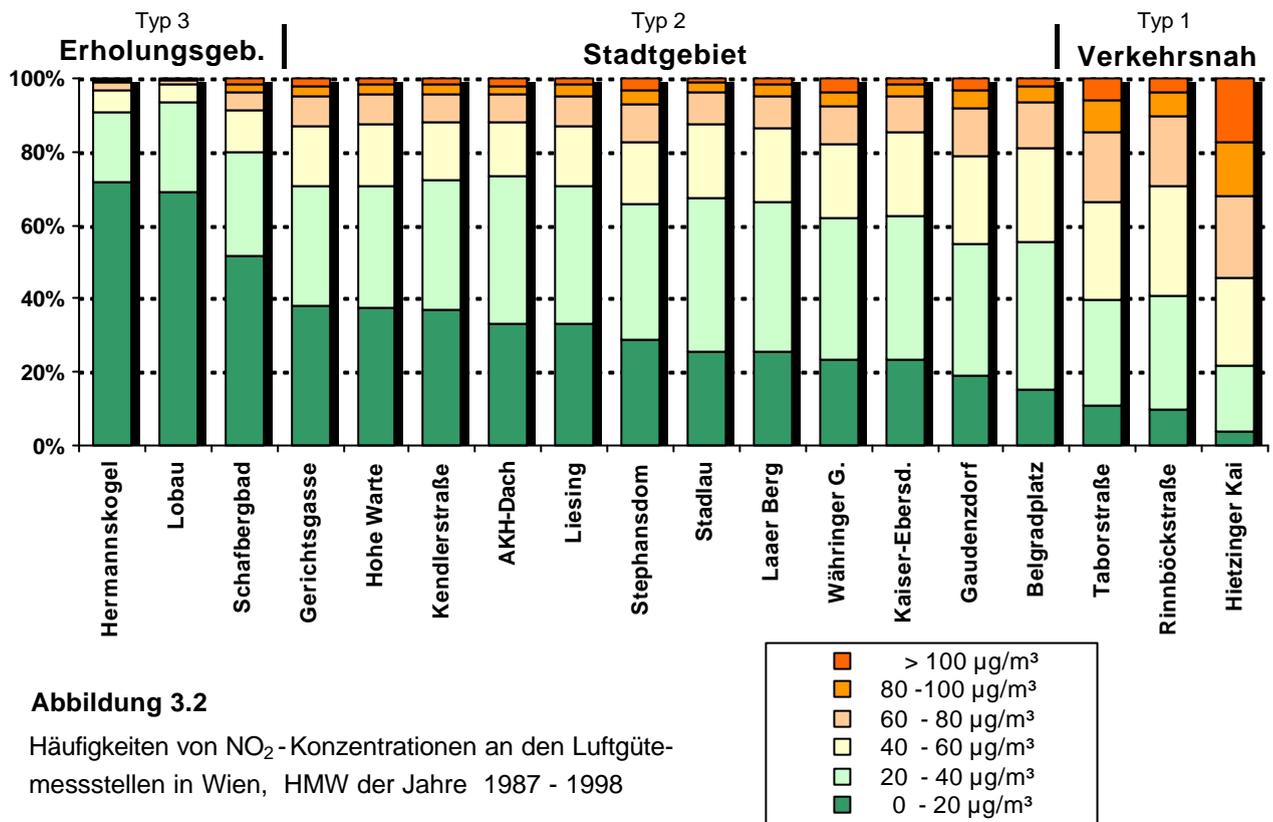


Abbildung 3.1

Häufigkeiten von NO-Konzentrationen an den Luftgütemessstellen in Wien, HMW der Jahre 1987 - 1998

Die Messwerte der Jahre 1987-1998 der Stationen wurde dazu entsprechend ihrer Verkehrsexposition in Konzentrationsklassen eingeteilt und deren relative Häufigkeit bestimmt.

Anhand der resultierenden in Abb. 3.1 dargestellten, Häufigkeitsanalyse der gemessenen NO-Konzentrationen lässt sich die Einteilung der Wiener Messstellen in 3 grundsätzlich verschiedene Typen sehr deutlich veranschaulichen (*nach der untersten Konzentrationsklasse geordnet!*):



Verkehrsnaher Stadtmessstelle (Typ 1):

An Hauptverkehrsstraßen gelegen werden an diesen Standorten hohe Primärschadstoffkonzentrationen registriert. Während der Verkehrsspitzen in den Morgen- und Abendstunden treten die höchsten Belastungen von NO (Abb. 3.1) sowie NO₂ (Abb. 3.2) der Stadt auf. Lediglich die Ozonkonzentrationen wären wegen der raschen NO-Oxidation des Ozons mit Sicherheit relativ niedrig, deshalb werden an diesen Standorten auch keine Ozonmessungen durchgeführt. Die Ergebnisse hätten nur eine sehr geringe räumliche Repräsentativität.

⇒ Die Messwerte der verkehrsnahen Messstellen liefern Hinweise zur Schadstoffsituation in stark befahrenen Straßenschluchten, informieren also über die Verhältnisse, die für Fußgänger sowie Autofahrer von Interesse sind.

Verkehrsnaher Messstellen in Wien: Hietzinger Kai, Rinnböckstraße und Taborstraße

Stadtmessstelle (Typ 2):

Unterschiedlich verkehrsexponiert befinden sich diese Messstellen größtenteils in typischen Wohngebieten. Das Verkehrsaufkommen in Stationsnähe ist grundsätzlich geringer als bei den verkehrsnahen Messstellen. Während beim Typ 1 hauptsächlich Kfz-Verkehrsemissionen hohe Luftschadstoffbelastungen verursachen können, liefern die Stadtmessstellen Hinweise zur Belastungssituation für die Bevölkerung im dichtbesiedelten Stadtgebiet. Eine Herkunftsanalyse von Spitzenbelastungen ist häufig nur durch eingehende Analysen möglich, da in der Regel eine Vielzahl von Verursachern in Frage kommt

⇒ Die Immissionsmessungen der städtischen Messstellen liefern Hinweise zur durchschnittlichen Schadstoffbelastung in den verschiedenen Wohngebieten Wiens.

Stadtmessstellen in Wien: AKH-Dach, Belgradplatz, Gaudenzdorf, Gerichtsgasse, Hohe Warte, Kaiser-Ebersdorf, Kendlerstraße, Laaer Berg, Liesing, Stadlau, Stephansplatz, Währinger Gürtel

Messstelle im Erholungsgebiet (Typ 3):

In den Erholungsgebieten am Stadtrand gelegen, verzeichnen diese Messstellen üblicherweise nur bei Zustrom von Luftmassen aus dem Stadtgebiet oder bei großflächigen Belastungsepisoden hohe Primärschadstoffkonzentrationen. Bei Schadstoffen, die nur in unmittelbarer Emittentennähe in relativ hohen Konzentrationen auftreten (CO und NO), werden überhaupt so gut wie nie höhere Werte registriert. An der Stadtrandmessstelle Schafbergbad zeigt sich mitunter auch ein recht deutlicher lokaler Einfluss des Kfz-Verkehrs auf die Luftgütemessungen, aufgrund der unmittelbaren Nähe des Standortes zum städtischen Bad. Trotz dieses Verkehrseinflusses wurde die Messstelle aufgrund Lage und Nutzung der unmittelbaren Umgebung dem Typ Erholungsgebiet zugeordnet.

⇒ Die Messstellen am Stadtrand erfassen die Luftgüte in den Erholungsgebieten Wiens.

Messstellen in Erholungsgebieten von Wien: Hermannskogel, Lobau und Schafbergbad

Anhand der getroffenen Einteilung soll nun durch direkten Vergleich untersucht werden, welche SO₂-, Schwebstaub sowie CO-Konzentrationen üblicherweise an den drei charakteristischen Messstellentypen erfaßt werden.

3.1.2 Schwefeldioxid

Die geringsten Belastungsunterschiede zwischen den einzelnen Wiener Luftgütemessstellen sind beim Schwefeldioxid zu beobachten (Abb. 3.3). Die Standorte verzeichnen insbesondere bei der Häufigkeit der SO₂-Spitzenkonzentrationen durchaus vergleichbare Prozentsätze, denn Belastungsepisoden werden häufig großflächig registriert und sind nicht auf den dichtbesiedelten Stadtbereich beschränkt. Lediglich die verkehrsnahen Messstellen weisen in Folge der Kfz-Emissionen eine höhere mittlere Belastung auf.

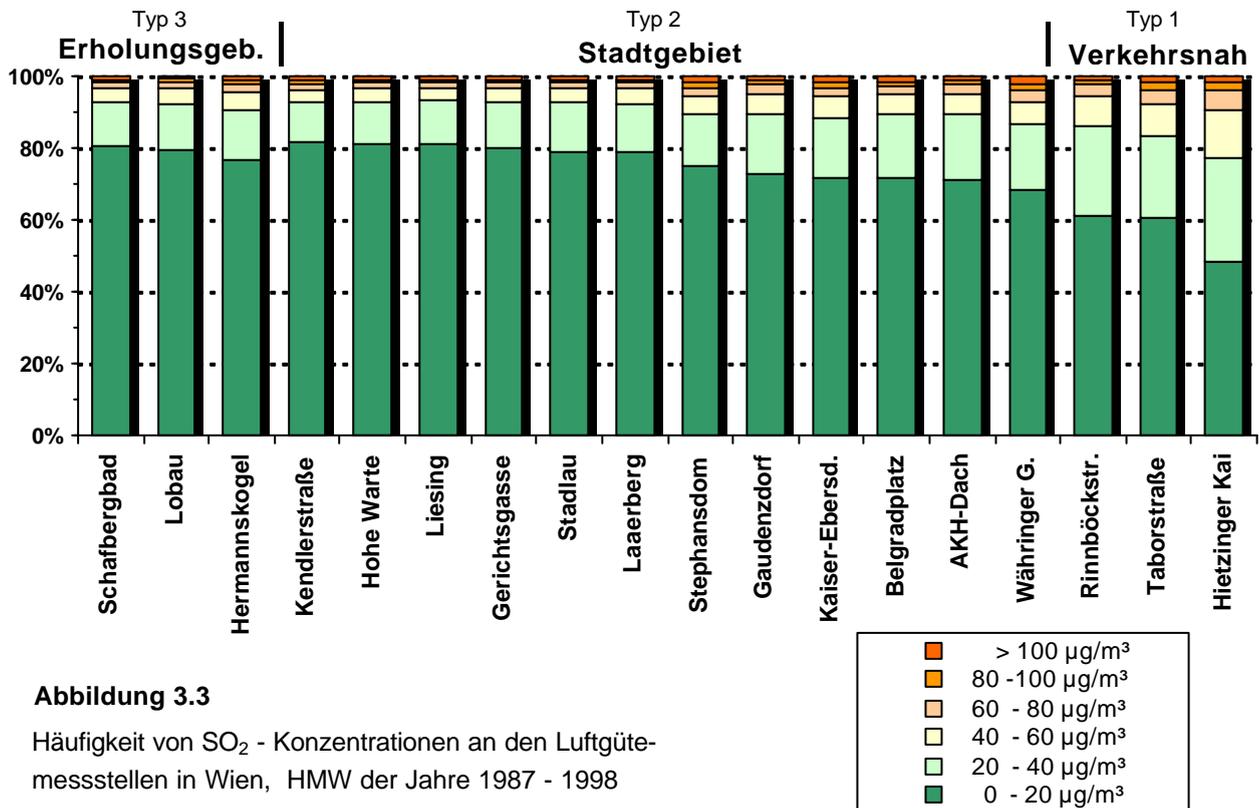


Abbildung 3.3

Häufigkeit von SO₂ - Konzentrationen an den Luftgütemessstellen in Wien, HMW der Jahre 1987 - 1998

⇒ Die Häufigkeit von SO₂-Konzentrationen über 100 µg/m³ lag zwischen 1987 und 1998 beinahe unabhängig vom Messstellentyp zwischen 0,8 und 2,2 %.

3.1.3 Schwebstaub

Hohe mittlere Staubbelastungen wurden zwischen 1987 und 1998 insbesondere an verkehrsnahen Messstellen registriert (Abb. 3.4). Dabei kommt der Rollsplitt-Ausbringung durch den Straßendienst nach Schneefällen eine besondere Bedeutung zu, denn in den Tagen danach werden häufig Schwebstaub-Spitzenkonzentrationen erfasst. Auf der Südosttangente wird hingegen im Winterdienst Streusalz ausgebracht, daraus resultiert vermutlich die relativ geringe Staubbelastung der nahegelegenen Messstelle Rinnböckstraße. Auch an Messstellen in Industriegebieten (Liesing) sowie im Nahbereich längerer Baustellen (Kendlerstraße) war die mittlere Staubbelastung relativ hoch.

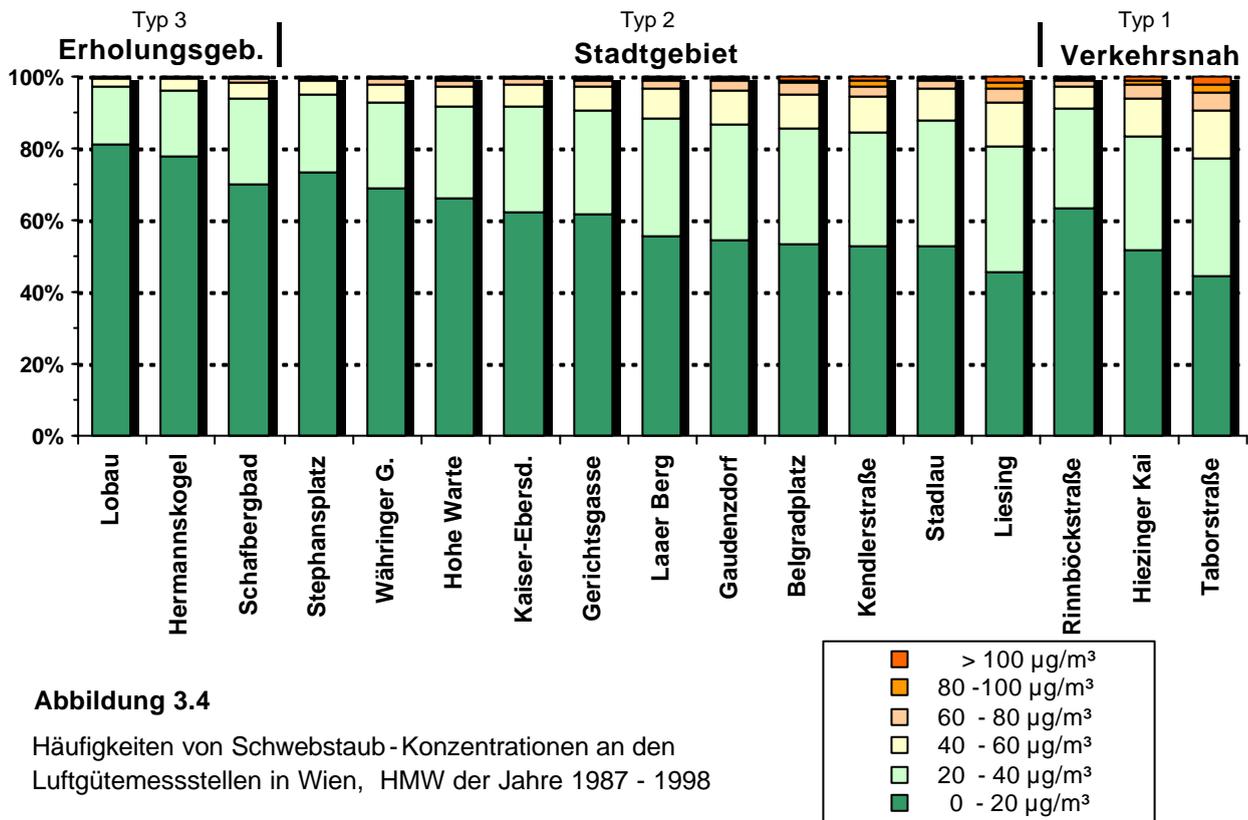


Abbildung 3.4

Häufigkeiten von Schwebstaub-Konzentrationen an den Luftgütemessstellen in Wien, HMW der Jahre 1987 - 1998

⇒ Die Staubbelastung kann grundsätzlich überall im Stadtgebiet erhöhte Werte annehmen, Grenzwerte werden allerdings zumeist im Einflussbereich von Baustellen oder in Folge der winterlichen Rollsplitt-Streuung überschritten.

3.1.4 Kohlenmonoxid

Die Häufigkeitsverteilungen der einzelnen Konzentrationsklassen (Abb. 3.5) weist auch beim Kohlenmonoxid, ähnlich wie bei den Stickstoffoxiden, auf den überwiegenden Einfluss durch den Kfz-Verkehr hin. Beim CO zeigt sich eine besonders deutliche Abnahme der mittleren Belastung mit zunehmender Entfernung zu den stark befahrenen Straßenzügen. Denn während an der besonders verkehrsexponierten Messstelle Hietzinger Kai sowie am ebenfalls verkehrsnahen Standort Taborstraße sehr häufig hohe Konzentrationen erfasst wurden, liegt die Belastung in etwas größerer Distanz (ca. 100 m) zur Fahrbahn deutlich niedriger (Rinnböckstraße und Währinger Gürtel).

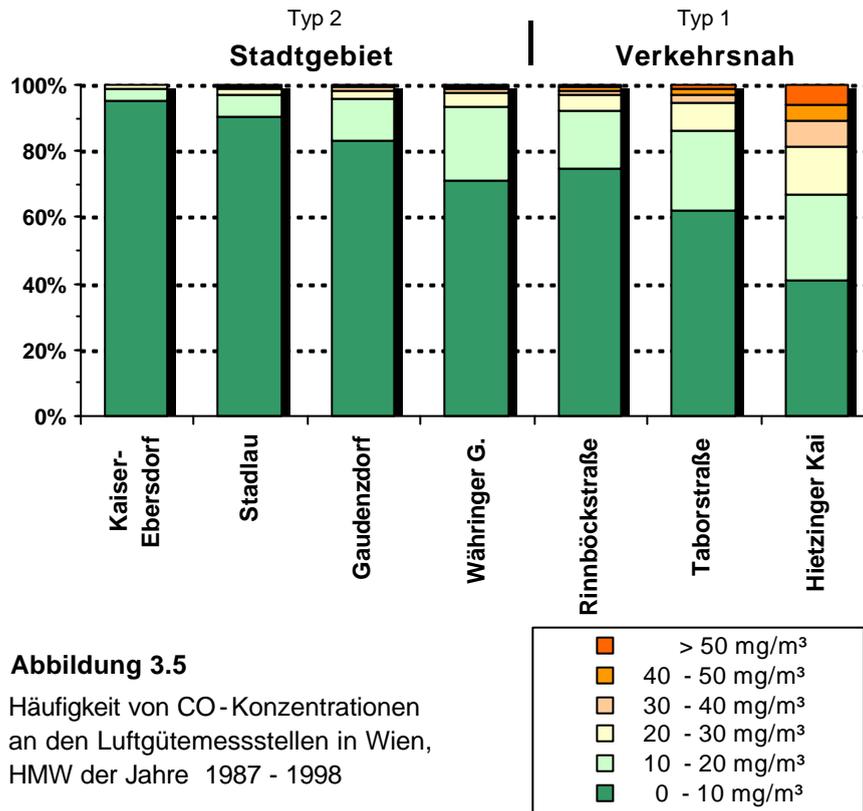


Abbildung 3.5
 Häufigkeit von CO-Konzentrationen
 an den Luftgütemessstellen in Wien,
 HMW der Jahre 1987 - 1998

⇒ Während in den ersten Jahren der flächendeckenden CO-Messungen im Stadtgebiet von Wien zeitweise Werte über dem vorsorglichen Gesundheitsschutz-Grenzwert aufgetreten sind, wurden in den vergangenen Jahren selbst an den verkehrsexponierten Standorten keine Überschreitungen festgestellt.

Deshalb sind die CO-Messungen auf einige größtenteils verkehrsnahen Messstellen beschränkt.

3.2 Längerfristige Trends der Immissionssituation in Wien

Im Stadtgebiet von Wien werden bereits seit über 30 Jahren Luftgütemessungen durchgeführt. Innerhalb dieses relativ großen Zeitraums wurden bei einer Vielzahl der Schadstoffemittenten verschiedene emissionsmindernde Maßnahmen durchgeführt. Um nur einige zu nennen:

- Einbau von Rauchgasreinigungsanlagen oder Brennstoffumstellung auf Erdgas in den städtischen Kraftwerken
- Schrittweise Verminderung des Schwefelgehalts in Brennstoffen
- Verstärkte Nutzung der Fernwärme zur Verringerung der Emissionen durch den Hausbrand
- Einführung der §57a-Überprüfung inkl. Abgaskontrolle (1971) sowie des Kfz-Katalysators (1987)

Im Rahmen dieses Kapitels soll nun auf die gleichzeitig erfasste längerfristige Entwicklung der Immissionssituation an den Wiener Luftgütemessstellen eingegangen werden.

3.2.1 Stickstoffoxide & Ozon

Die Messwerte der ersten Jahre flächendeckender NO_x - und Ozonmessungen in Wien sind noch von etwas geringerer Güte. Erst zu Beginn der 90-iger Jahre wurden die Messungen mit Hilfe internationaler Referenzstandards kalibriert. Wie verschiedene Analysen gezeigt haben, dürften die Messungen (Messnetz-Jahresmittelwerte) in den späten 80-iger Jahren infolge der geänderten Kalibriermethoden nicht mit den späteren Messungen vergleichbar sein. In den 90-iger Jahren zeigt sich bei den Jahresmittelwerten ein gleichbleibender Trend (Abb. 3.6).

Die Ozonkonzentrationen weisen einen markanten Jahresgang auf (siehe Kap. 3.4). Die höchsten Spitzenkonzentrationen wurden während ausgeprägter Ozonepisoden in den Sommermonaten der Jahre 1992, 1994, 1995 sowie 1998 registriert. Dabei kam der jeweiligen Witterung stets eine entscheidende Bedeutung zu. Jahre mit weniger häufig ausgebildeten sommerlichen Hochdruckwetterlagen, folglich geringerer Sonnenscheindauer und geringeren Temperaturen, verzeichneten deutlich seltener Ozonspitzenkonzentrationen. Diese witterungsbedingten Schwankungen wirken sich allerdings auf den jeweiligen Jahresmittelwert nur geringfügig aus.

Insgesamt konnte kein ansteigender oder abfallender Trend der mittleren Ozonbelastung beobachtet werden. Städtische Messstellen (Hohe Warte, Laaerberg und Stephansplatz) sind allerdings für Langzeituntersuchungen wegen des Einflusses messstellennaher NO -Emittenten auf die Ozonkonzentration nur bedingt geeignet.

Einen eindeutigen Trend gab es hingegen beim Stickstoffmonoxid. In den vergangenen Jahren wurde sowohl ein Rückgang bei den Spitzenwerten wie auch bei der mittleren NO -Belastung registriert (siehe Abb. 3.6 b)¹. Trotz der stetigen Zunahme an gefahrenen Personen- und Tonnenkilometern dürfte sich hier die Einführung des Kfz-Katalysators zumindest an verkehrsexponierten Messstellen immissionsmindernd ausgewirkt haben. Bemerkenswert ist die Tatsache, dass die mittlere NO_2 -Belastung in Wien im Gegensatz dazu einen durchwegs gleichbleibenden Trend aufweist. Der Luftchemie kommt hier mit Sicherheit eine entscheidende Bedeutung zu.

3.2.2 Schwefeldioxid

Zu Beginn der routinemäßigen Schadstoffmessungen in Wien, am Ende der 60-iger Jahre, lag das primäre Interesse auf dem klassischen Winterschadstoff Schwefeldioxid. Bereits Jahre zuvor hatten ausgeprägte Smogepisoden in London zu einer nachweisbaren Erhöhung der Sterblichkeitsrate geführt, wobei auch sehr hohe Feinstaubkonzentrationen beobachtet wurden. Während winterlicher Inversionswetterlagen, folglich bei tiefen Lufttemperaturen, geringer Durchmischung und gleichzeitig erhöhtem Heizaufkommen, war ein Hauptverursacher der schlechten Luftqualität der Hausbrand. Zu ähnlichen Ergebnissen gelangte man auch in Wien (Abb. 3.7), die SO_2 - und Staubkonzentrationen lagen aller-

¹ Der höchste Messwert liegt bei den verwendeten NO -Messgeräten bei $1250 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

dings deutlich unter den Belastungen, die in den großen Ballungszentren Europas erfasst wurden. Trotzdem war ein Handlungsbedarf gegeben, und in den 80-iger Jahren wurden verschiedene Maßnahmen zur Verringerung der Luftbelastung durch Schwefeldioxid und Feinstäube durchgeführt (siehe Aufzählung zu Beginn von Kap. 3.2).

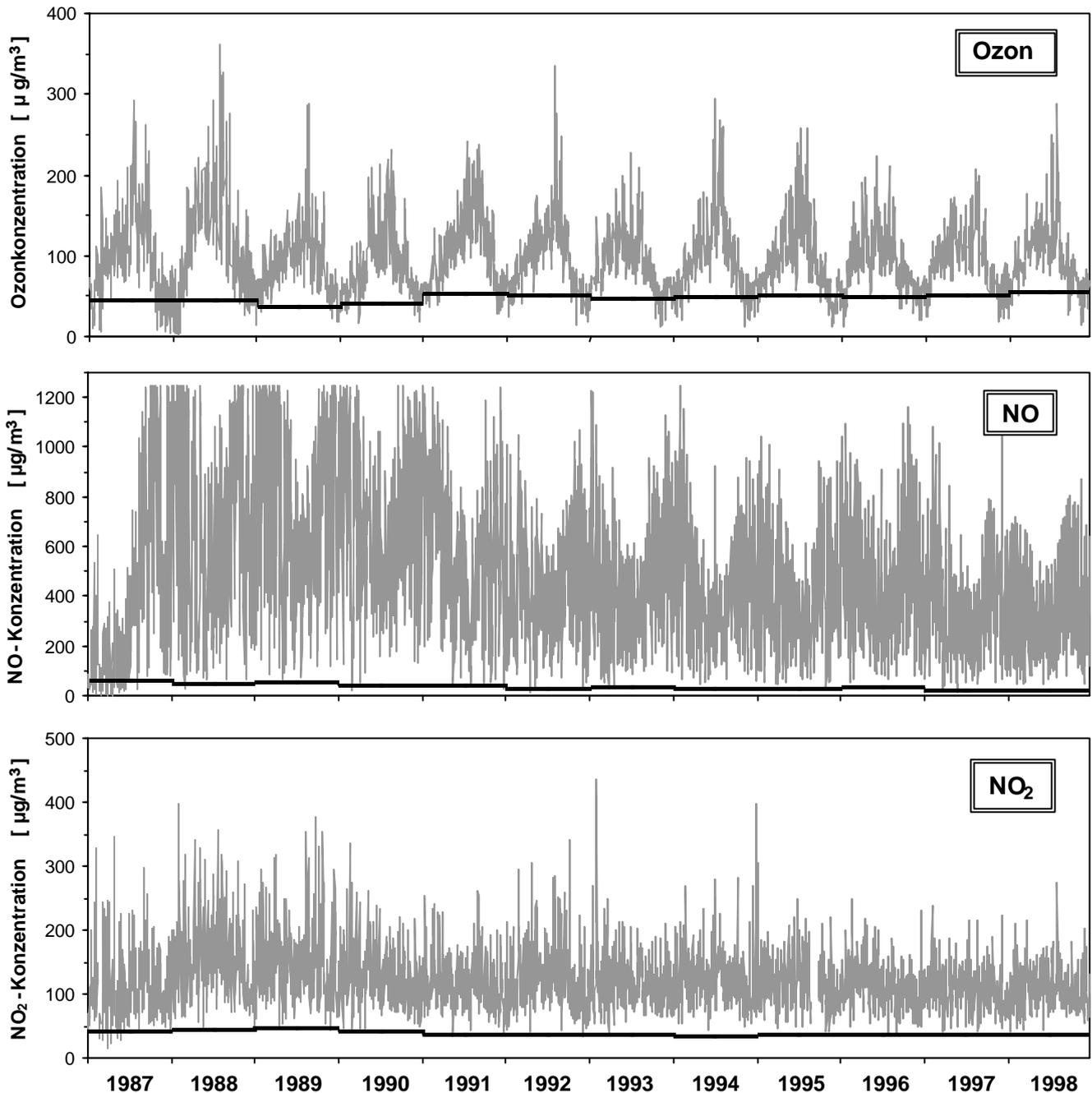
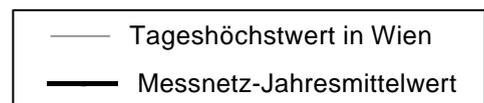


Abbildung 3.6 a-c

Zeitreihen der Ozon-, NO- sowie NO₂-Konzentrationen in Wien
Tageshöchstwerte der Jahre 1987 bis 1998



Das Ergebnis ist sehr erfreulich. Während bis Ende der 70-iger Jahre noch kein abnehmender Trend bei den Jahresmittelwerten der SO₂-Konzentrationen (Hohe Werte) zu beobachten war und in den Wintermonaten häufig Konzentrationen weit über den gesetzlich festgesetzten Grenzwerten der Gegenwart beobachtet wurden, verzeichnete die SO₂-Zeitreihe in den 80-iger Jahren bereits einen ausge-

sprochen deutlich ausgeprägten Rückgang der SO_2 -Belastung in Wien. Sowohl die Häufigkeit und Intensität erhöhter Konzentrationen, wie auch die mittlere bzw. längerfristige Belastung ging markant zurück. Hier zeigt sich sehr deutlich der Erfolg der durchgeführten emissionsmindernden Maßnahmen (siehe Kap. 2.1). In den letzten 10 Jahren schließlich ist wiederum kaum ein Trend zu bemerken. Die Abnahme der Höchsterte wie auch verschiedener Mittelwerte der SO_2 -Konzentration über den Gesamtzeitraum wird schließlich durch Abbildung 3.8 verdeutlicht.

Während zu Beginn der Messungen rund 4 % aller Halbstundenmittelwerte über dem Gesundheitsschutz-Grenzwert (Kap. 2.2.3.3.) von $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lagen, wurde dieser Wert in den vergangenen Jahren nur mehr vereinzelt überschritten (Abb. 3.9). Auch bei den Grenzwerten zum Schutz der Vegetation kam es in den vergangenen 10 Jahren kaum mehr zu Überschreitungen, während in den 70-iger Jahren fallweise sogar der Grenzwert gemäß Vorwarnstufe des - allerdings erst 1987 eingeführten - Smogalarmplans überschritten wurde. Bemerkenswert sind die etwas höheren Werte von 1996. Sowohl während des Winters 1995/96, als auch im Dezember 1996 führten die relativ tiefen Lufttemperaturen (Abb. 3.7) zu einem erhöhten Heizaufwand und aus den folglich etwas gestiegenen SO_2 -Emissionen resultierten die im Mittel leicht erhöhten SO_2 -Immissionen (siehe Kap. 4.1).

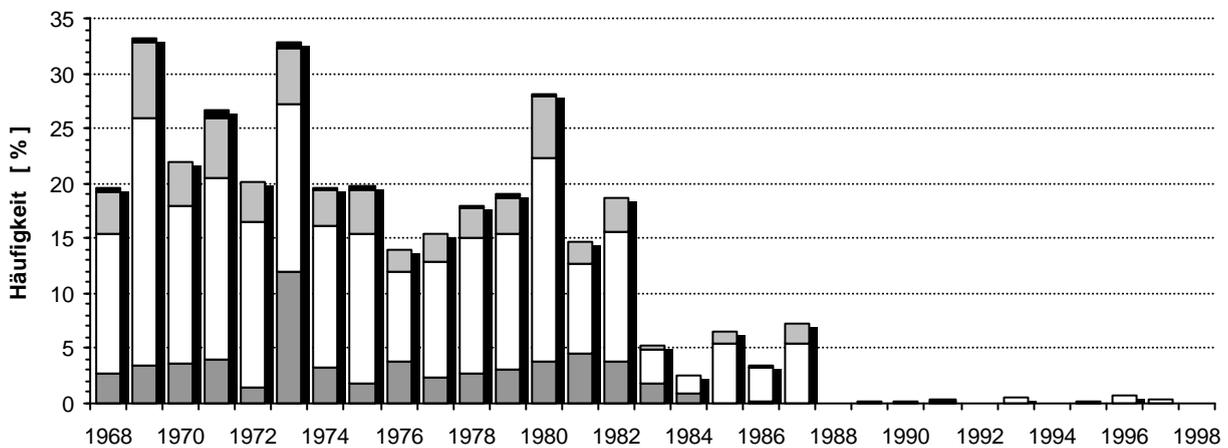


Abbildung 3.9

Häufigkeiten (kumulativ) von Grenzwertenüberschreitungen (HMW, MW3 bzw. TMW) der Schwefeldioxidkonzentration an der Messstelle Hohe Warte, Daten: 1968 bis 1998

Überschreitung von:

- Smogalarm
- Gesundheitsschutz
- Vegetationsschutz - WH
- Vegetationsschutz - SH

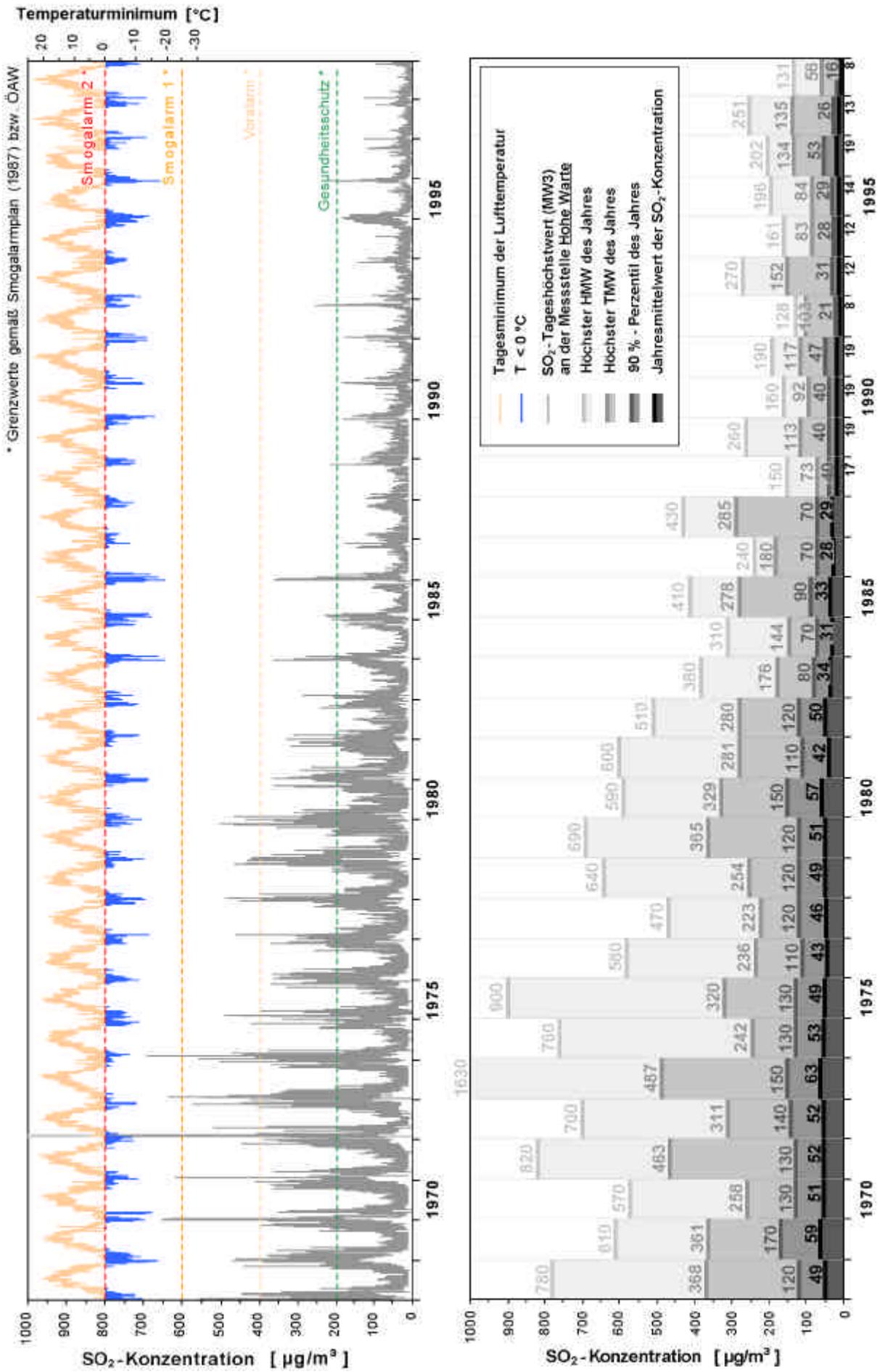


Abbildung 3.7 & 3.8
Zeitliche Entwicklung der Schwefeldioxidbelastung an der Wiener Luftgütemessstelle Hohe Warte in den Jahren 1968 bis 1998

3.2.3 Schwebstaub

Bei den Schwebstaub-Spitzenkonzentrationen in Wien zeigt sich ein gleichbleibender Trend seit 1987. Die Staubbelastung wird allerdings durch eine Vielzahl von Einflussfaktoren bestimmt, wobei insbesondere der Rollsplittstreuung nach winterlichen Schneefällen eine große Bedeutung zukommt. Die resultierende Staubentwicklung durch den Straßenverkehr führt mitunter noch Wochen später, während der Straßenreinigung, zu hohen Schwebstaubkonzentrationen im Stadtgebiet Wiens. Zusätzlich können auch lokale Ereignisse, wie Bauarbeiten u.ä., zu allerdings räumlich eng begrenzten deutlich erhöhten Staubbelastungen führen. Schließlich sind auch die verschiedensten industriellen Aktivitäten von Bedeutung. Das Ergebnis ist die relativ große Variabilität in den Zeitreihen der maximalen Staubkonzentration (Abb. 3.10).

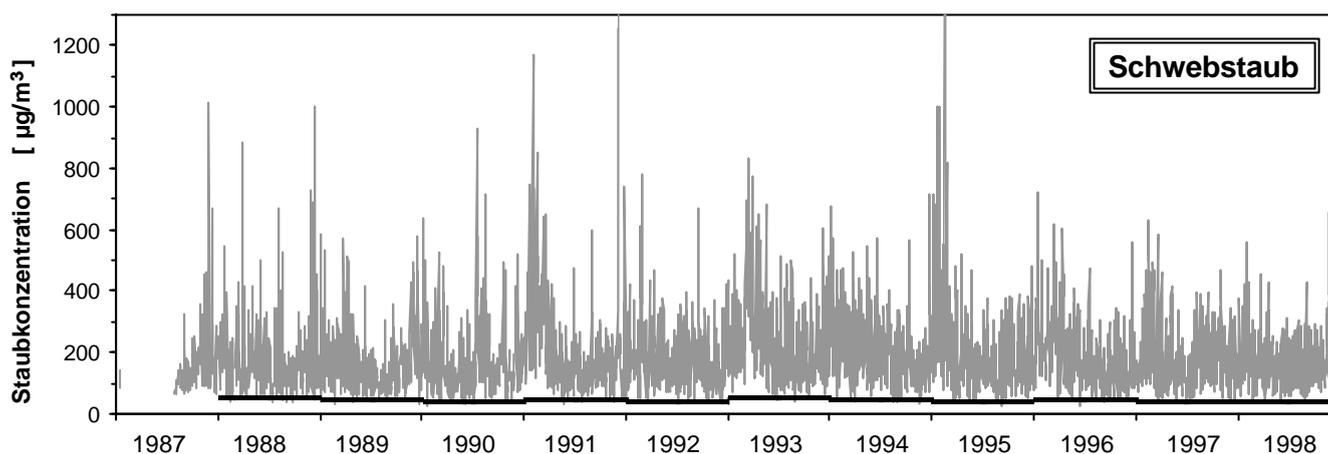


Abbildung 3.10

Zeitreihe der Staubkonzentration in Wien - Tageshöchstwerte (HMW) sowie Jahresmittelwerte 1987 - 1998

3.2.4 Kohlenmonoxid

Die Zeitreihe der Tageshöchstwerte der Kohlenmonoxidkonzentration zeigt hingegen, ähnlich wie die des Stickstoffmonoxids, einen eindeutig abnehmenden Trend in den Jahren 1987 – 1998 (Abb. 3.11). Wie beim NO ist auch beim CO der Kfz-Verkehr als Hauptverursacher zu nennen. Folglich dürfte sich auch bei diesem Luftschadstoff die Einführung des Kfz-Katalysators positiv ausgewirkt haben, und das obwohl gleichzeitig die gefahrenen Tonnen- wie Personenkilometer markant angestiegen sind (Baumann et al. (1996)).

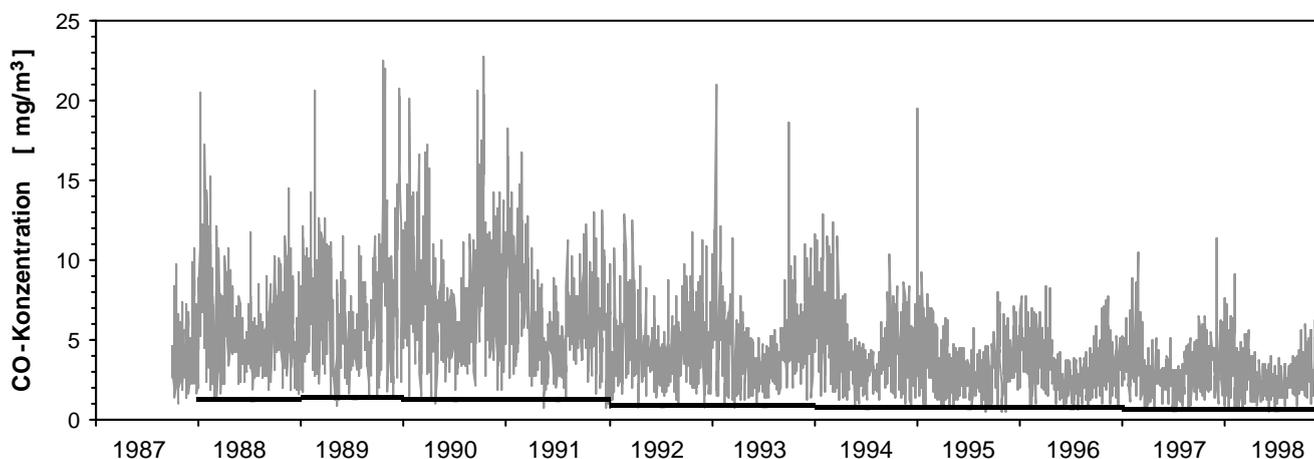


Abbildung 3.11

Zeitreihe der CO-Konzentration in Wien - Tageshöchstwerte sowie Jahresmittelwerte 1987 – 1998

- ⇒ In unmittelbarer Verkehrsnähe ist die Vegetation im Stadtgebiet von Wien relativ häufig einer NO₂-Belastung über dem vorsorglichen Grenzwert ausgesetzt, in den Grün- bzw. Erholungsgebieten am Stadtrand sind allerdings derartige Beeinträchtigungen äußerst selten.
- ⇒ Selbst im Nahbereich der Hauptverkehrsstraßen Wiens, an welchen die Luftgütesituation erfasst wird, wurde der Vorsorgegrenzwert zum Schutz der menschlichen Gesundheit vor den Auswirkungen des Luftschadstoffes NO₂ nur sehr selten überschritten.

Für Stickstoffmonoxid sind keine Grenzwerte definiert.

3.3.2 Ozon

Ozon wird in Wien an 2 Standorten am Stadtrand (Hermannskogel und Lobau) sowie an 3 städtischen Messstellen (Hohe Warte, Laaer Berg und Stephansplatz) erfasst. Während beim Stickstoffdioxid die häufigsten Grenzwertüberschreitungen an den städtischen und insbesondere verkehrsnahen Messstellen erfasst wurden, zeigt sich beim Sekundärschadstoff Ozon im Gegensatz zum NO₂ ein gänzlich anderes Bild. Die häufigsten Überschreitungen der Grenzwerte (Abb. 3.13) zum vorbeugenden Gesundheits- und Vegetationsschutz wurden nicht in unmittelbarer Nähe zu den Emittenten - im dichtbesiedelten Stadtgebiet - sondern an den Stadtrandmessstellen in den Erholungsgebieten Wiens erfasst. So wurden am Hermannskogel insbesondere während der Sommermonate nicht selten über Wochen hinweg Überschreitungen des Vegetationsschutz-Grenzwertes registriert.

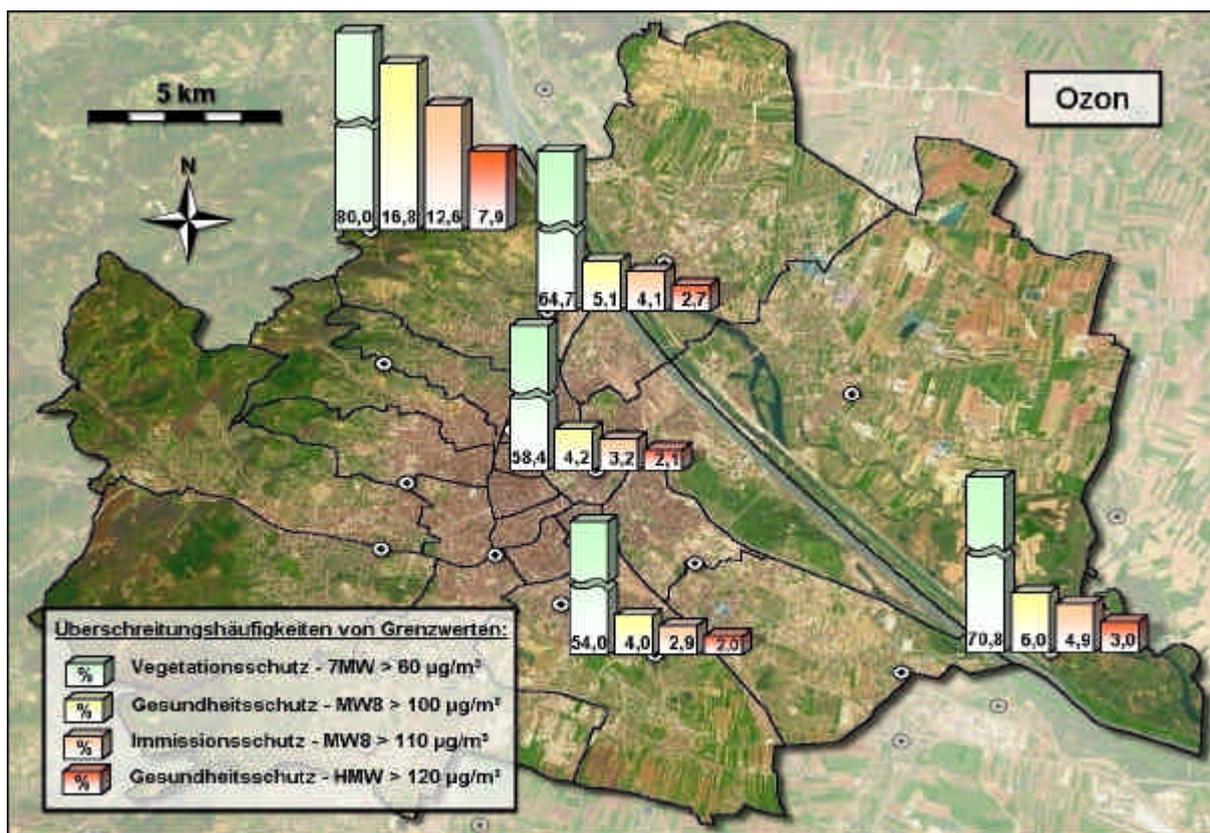


Abbildung 3.13

Überschreitungshäufigkeit verschiedener **Ozon**-Grenzwerte an den Wiener Ozonmessstellen in den Jahren 1987 - 1998

Selbst an den städtischen Messstellen, an welchen aufgrund der ständigen NO-Emissionen und der daraus resultierenden Ozonzerstörung (siehe Kap. 2.2.1.2) im Mittel vor allem während der Nachtstunden

den deutlich geringere Ozonkonzentrationen erfasst werden, lagen insgesamt über 50 % aller Messwerte über dem Vegetationsschutz-Grenzwert ($7\text{MW} > 60 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Die relativ hohe mittlere Ozonbelastung, welche sich negativ auf den Zustand der Vegetation in den Erholungsgebieten Wiens auswirkt, ist eine Folge der hohen Ozon-Hintergrundbelastung in Mitteleuropa (POP, 1997). Emissionsminderungen bei den Vorläufersubstanzen von Ozon im Großraum Wien würden mit Sicherheit zu keiner nennenswerten Verbesserung der Belastungssituation führen. Selbst die wesentlich höher angesetzten Grenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit wurden in Folge der während des Sommers vorhandenen hohen überregionalen Ozon-Vorbelastung überschritten (siehe Kap. 5).

Eine Reduktion der Emissionen von Schadstoffen, die zu einer Ozonbildung beitragen - z.B. Einschränkung des Kfz-Verkehrsaufkommens - im regionalen Maßstab würde sich in erster Linie auf die Häufigkeit und Intensität von Spitzenbelastungen der Ozonkonzentration auswirken. Entsprechende statistische Auswertungen bezüglich der Häufigkeit von Tagen mit einer Überschreitung der Vorwarnstufe gemäß Ozongesetz erfolgt in Kapitel 5.

⇒ Im Gegensatz zu den Primärschadstoffen treten Überschreitungen der Grenzwerte bezüglich des Sekundärschadstoffes Ozon am häufigsten nicht im Nahbereich der Schadstoffemittenten - im dichtbesiedelten Stadtgebiet - sondern im Umland von Wien auf.

3.3.3 Schwefeldioxid

Die vorsorgenden SO_2 -Grenzwerte zum Schutz der Vegetation bzw. der menschlichen Gesundheit wurden zwischen 1987 und 1998 nur selten überschritten. Zum Vergleich: Die Überschreitungshäufigkeit des Vegetationsschutz-Grenzwertes lag an der Hohen Warte in den Jahren 1968 bis 1977 noch bei 10,6 %. Der Wert von 0,4 % für die Periode 1987 bis 1998 zeigt sehr anschaulich, wie erfolgreich die emissionsmindernden Maßnahmen in Wien bezüglich der mittleren Schwefeldioxidbelastung waren. So wurde der Gesundheitsschutz-Grenzwert ($\text{HMW} > 200 \mu\text{g}/\text{m}^3$) im Winterhalbjahr 1997 / 1998 an keiner einzigen Messstelle im Stadtgebiet von Wien überschritten, und auch in den Jahren zuvor (seit 1987) nur während relativ seltener Belastungsepisoden. Am klassischen Winterschadstoff SO_2 zeigt sich sehr eindrucksvoll, dass die koordinierte und umfassende Durchführung verschiedener Maßnahmen zur Verringerung schädlicher Emissionen sehr effizient sein kann - in Anbetracht der hohen mittleren Wiener Schwefeldioxidbelastung in den späten 60-iger Jahren eine außerordentlich erfreuliche Entwicklung.

In Abbildung 3.14 ist recht gut zu erkennen, dass an den Stadtrandmessstellen ähnliche Überschreitungshäufigkeiten zu beobachten waren wie zum Teil im dichtbesiedelten Stadtgebiet Wiens. Erhöhte SO_2 -Konzentrationen wurden häufig nicht nur an den Stadtmessstellen registriert, denn Schadstoffepisoden mit einer erhöhten Schwefeldioxidbelastung treten nicht selten überregional auf, und sind nicht auf die unmittelbaren Ballungszentren Ostösterreichs beschränkt. Prozesse des Ferntransports und Schadstoffimports aus dem benachbarten Ausland sind bezüglich der SO_2 -Belastung in Wien von großer Bedeutung (siehe Kap. 4.1.2 und 4.5).

⇒ Vorsorgliche Grenzwerte bezüglich Schwefeldioxid wurden in Wien seit 1989 nur mehr sehr selten überschritten. An den niederösterreichischen Messstellen am Stadtrand von Wien konnte bezüglich der Überschreitungshäufigkeiten kein deutlicher Einfluss der Wiener SO_2 -Emissionen festgestellt werden. Von größerer Bedeutung ist der Schadstoffimport aus dem benachbarten Ausland.

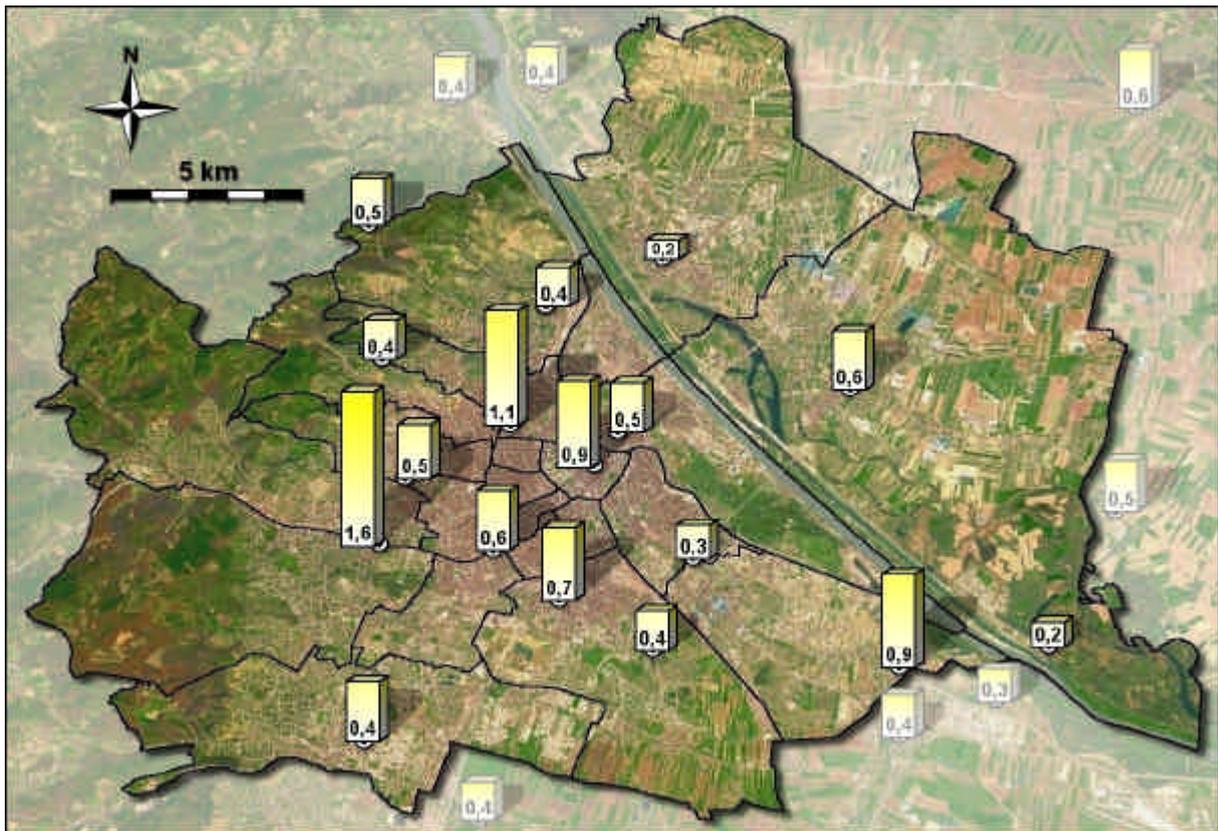


Abbildung 3.14

Überschreitungshäufigkeit des Vegetationsschutz-Vorsorgegrenzwertes gemäß ÖAW für **Schwefeldioxid** (Sommerhalbjahr: HMW > 70 µg/m³; Winterhalbjahr: HMW > 150 µg/m³) an den Wiener Luftgütemessstellen in den Jahren 1987 - 1998

3.3.4 Schwebstaub

An einigen Wiener Messstellen war für den Betrachtungszeitraum 1987 bis 1998 eine erhöhte Schwebstaubbelastung bzw. Überschreitungshäufigkeit bezüglich des Vegetationsschutz-Grenzwertes festzustellen (Abb. 3.15). Während diese höheren Prozentsätze an den Standorten Taborstraße und Hietzinger Kai eine Folge des starken Kfz-Verkehrsaufkommens im Nahbereich der Messstellen sind, führen in Liesing der Schwerverkehr und industrielle Tätigkeiten im südlichem Stadtgebiet von Wien zu einer höheren Staubb Belastung. Die relativ hohe Überschreitungshäufigkeit an der Messstelle Kenderlstraße ist mit Sicherheit eine Folge der über einige Jahre hinweg nahegelegenen U-Bahn-Baustelle.

⇒ Überschreitungen der vorsorglichen Grenzwerte bezüglich Schwebstaub treten größtenteils im Einflussbereich lokaler Emittenten (Baustellen, Industriebetriebe) bzw. im Nahbereich von stark befahrenen Straßen auf.

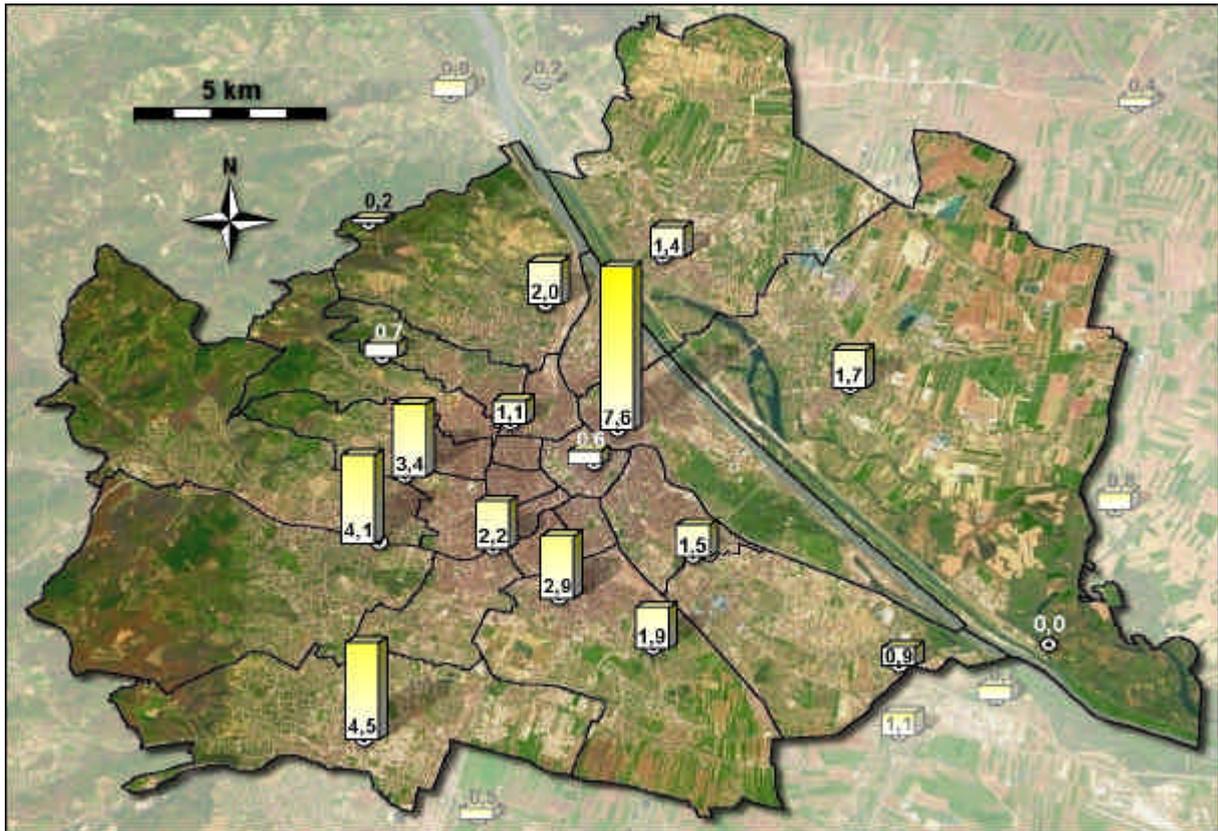


Abbildung 3.15

Überschreitungshäufigkeit des Vegetationsschutz-Vorsorgegrenzwertes gemäß ÖAW für **Schwebstaub** (TMW > 120 µg/m³) an den Wiener Luftgütemessstellen in den Jahren 1987 - 1998

3.4 Jahreszeitliche Schwankungen

Mit den im Jahresrhythmus schwankenden Witterungsbedingungen treten auch unterschiedliche Ausbreitungsbedingungen für die Luftschadstoffe in der Stadtatmosphäre auf (siehe Kap. 2.3). In Folge der zusätzlich ansteigenden Emissionen durch die Kleinverbraucher, kalorischen Kraftwerke, usw. während der Wintermonate können bei den Luftmesswerten des Wiener Luftgütemessnetzes ausgeprägte Jahresgänge der Schadstoffkonzentrationen beobachtet werden. Die Intensität dieser jahreszeitlichen Schwankungen soll im Zuge dieses Kapitels vorgestellt werden.

Die Abbildungen 3.16 sowie 3.17 zeigen recht deutlich den bereits erwähnten vor allem meteorologisch bedingten Zusammenhang zwischen Jahreszeit und mittlerer Schadstoffbelastung in Wien. Diese Auswertungen begründen auch die in diesem Bericht wiederholt anzutreffende Trennung zwischen "klassischen" Sommer- und Winterluftschadstoffen. Während der Wintermonate werden unabhängig vom Standort nur äußerst selten hohe Ozonkonzentrationen erfasst. Die Erläuterungen in Kap. 2.2 haben gezeigt, dass der Sekundärschadstoff Ozon fotochemisch insbesondere während sommerlicher Hochdruckwetterlagen, bei intensiver Sonneneinstrahlung und hohen Lufttemperaturen, gebildet wird bzw. europaweit während der Sommermonate relativ hohe Werte annimmt (VISAS, 1987). In den Wintermonaten werden hingegen im Mittel über das Jahr die höchsten Primärschadstoffkonzentrationen erfasst.

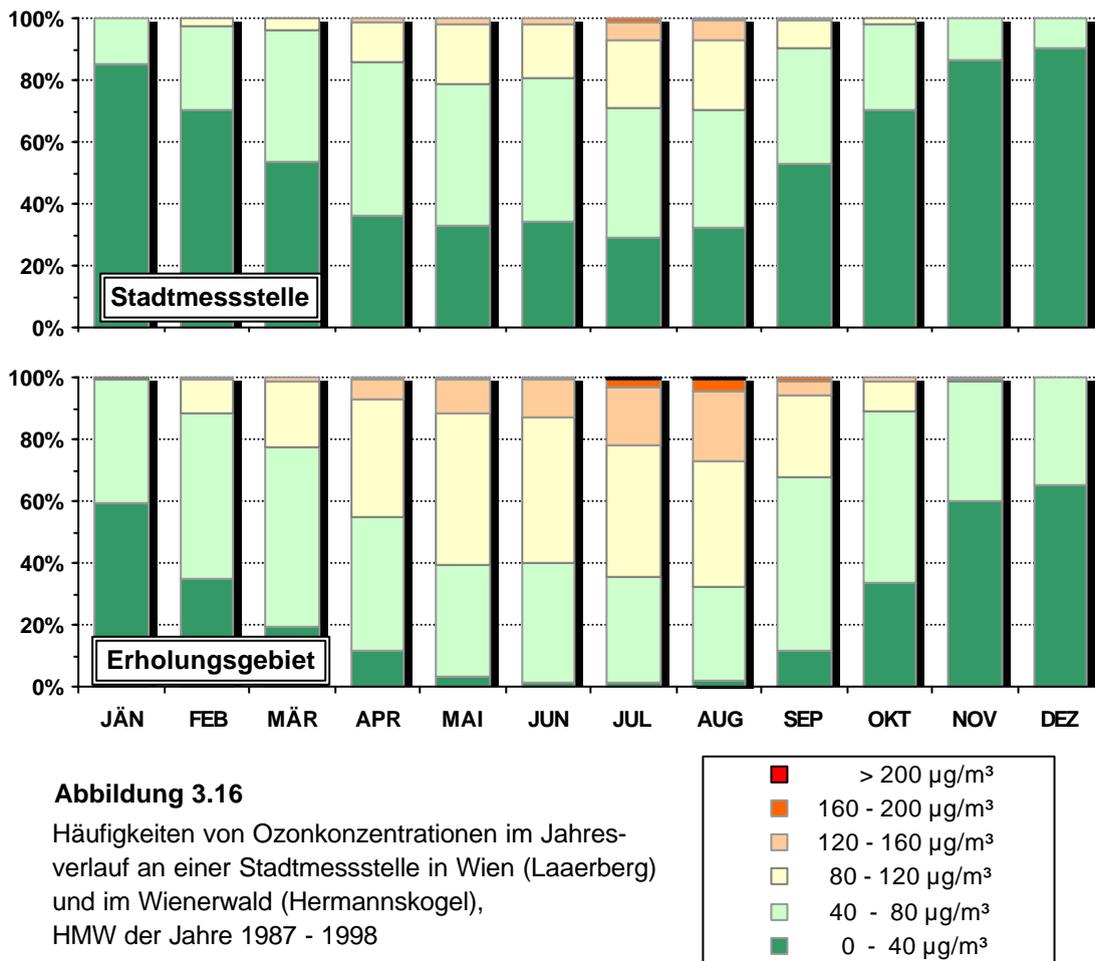


Abbildung 3.16
 Häufigkeiten von Ozonkonzentrationen im Jahresverlauf an einer Stadtmessstelle in Wien (Laaerberg) und im Wienerwald (Hermannskogel), HMW der Jahre 1987 - 1998

Der direkte Vergleich der Messungen an einer Stadt- mit den Ergebnissen einer Stadtrandmessstelle (Erholungsgebiet) zeigt recht deutlich, dass an der Freilandmessstelle deutlich häufiger höhere Ozonkonzentrationen erfasst werden. Wie in Kapitel 3.6 noch gezeigt wird, ist dieses zunächst überraschende Ergebnis eine Folge der unterschiedlich ausgeprägten Tagesgänge an diesen Messstellen. Der

Sekundärschadstoff Ozon nimmt diesbezüglich eine Sonderstellung ein. Nicht im unmittelbaren Stadtgebiet, sondern zumeist im Lee großer Ballungszentren werden die höchsten Konzentrationen erfasst (siehe Kap. 5).

⇒ Während der Sommermonate werden die höchsten Ozonkonzentrationen des Jahres erfasst. In den Erholungsgebieten am Stadtrand kommt es, in Folge der hohen sommerlichen Ozon-Hintergrundbelastung, häufig über Wochen hinweg zu einer Überschreitung des vorsorglichen Grenzwertes zum Schutz der Vegetation.

Gänzlich anders die Situation bei den NO_x-Konzentrationen, wobei in Abbildung 3.17 lediglich der Jahresverlauf des Stickstoffmonoxids, wiederum für zwei unterschiedliche Standorte, dargestellt ist. Während selbst an den Stadtmessstellen relativ selten höhere Konzentrationen auftreten, verzeichnet der äußerst verkehrsnahen Messpunkt Hietzinger Kai häufig sehr hohe NO-Konzentrationen. Die Stickstoffoxide werden zu einem überwiegenden Anteil vom Kfz-Verkehr emittiert (siehe Kap. 2.1.1). Wegen der raschen Oxidation des NO zu NO₂ (siehe Kapitel 2.2.1.1) zeigt sich beim Stickstoffmonoxid ein besonders ausgeprägter Unterschied zwischen den unterschiedlich verkehrsbeeinflussten Messstellen. Der Belastungsschwerpunkt liegt jeweils im Winterhalbjahr.

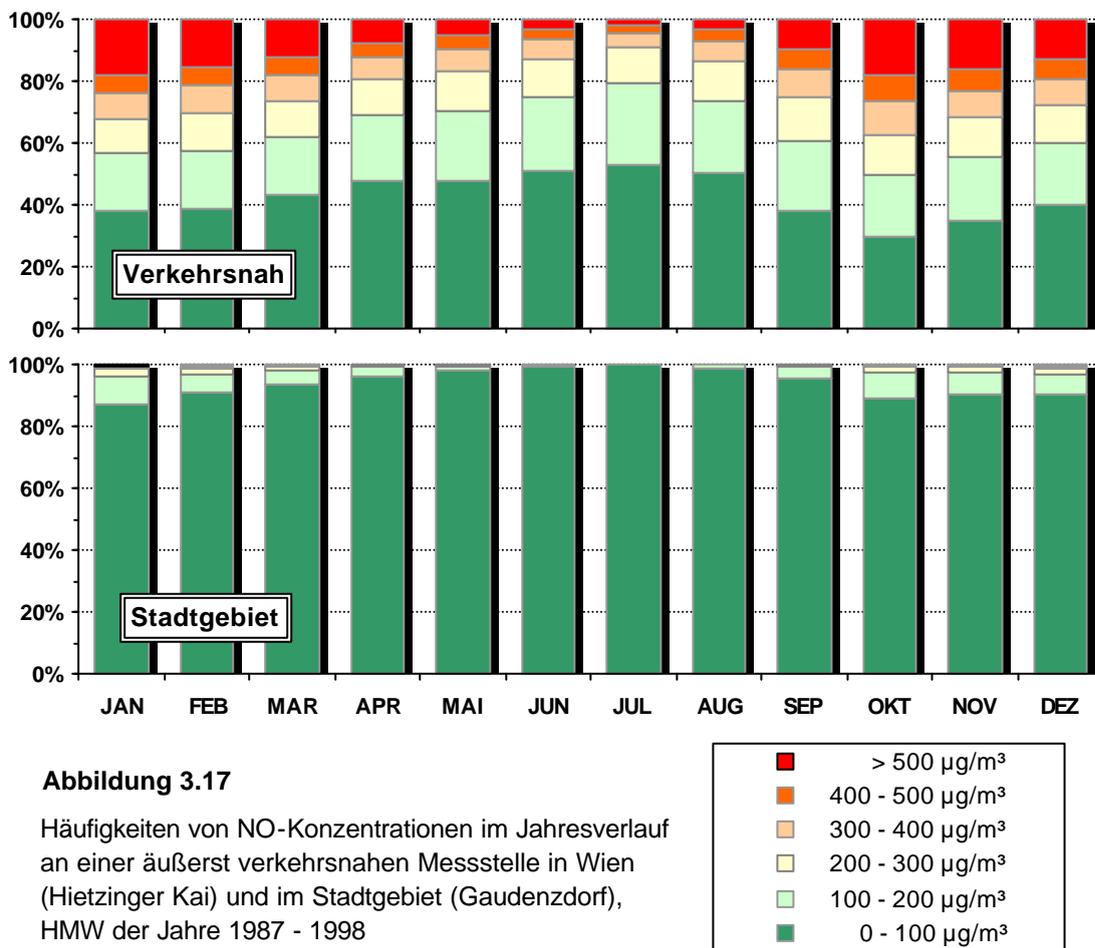


Abbildung 3.17

Häufigkeiten von NO-Konzentrationen im Jahresverlauf an einer äußerst verkehrsnahen Messstelle in Wien (Hietzinger Kai) und im Stadtgebiet (Gaudenzdorf), HMW der Jahre 1987 - 1998

Einen ähnlichen Jahresverlauf zeigen auch die Stickstoffdioxid-Konzentrationen. Der Jahrgang ist allerdings insbesondere bei den verkehrsnahen Messstellen deutlich schwächer ausgeprägt. Aufgrund der längeren Verweildauer des NO₂ in der Atmosphäre können fallweise auch an geringer verkehrsbeeinflussten Messstellen am Stadtrand Belastungsspitzen auftreten. Die Häufigkeit höherer Werte nimmt auch bei diesem Primärschadstoff während der Wintermonate zu. Aufgrund der sonst ähnlichen Gesetzmäßigkeiten wird auf eine entsprechende Abbildung verzichtet.

Interessant ist der mittlere Jahresverlauf der SO₂-Konzentration (Abb. 3.18). Auch hier werden die höchsten Konzentrationen im Winterhalbjahr erfasst, wobei der Jahrgang an verkehrsnahen Messstellen wesentlich schwächer ausgebildet ist als an den anderen Messstellen. Während winterlicher Belastungsepisoden steigt die SO₂-Belastung großflächig (siehe Kap. 5) an, die Emissionen des Kraftfahrzeugverkehrs sind dann von geringerer Bedeutung. In den Sommermonaten führen hingegen die Kfz-Emissionen zu einer erhöhten Grundbelastung im Nahbereich der Hauptverkehrsstraßen. Daraus resultieren die unterschiedlich deutlich ausgeprägten Jahrgänge.

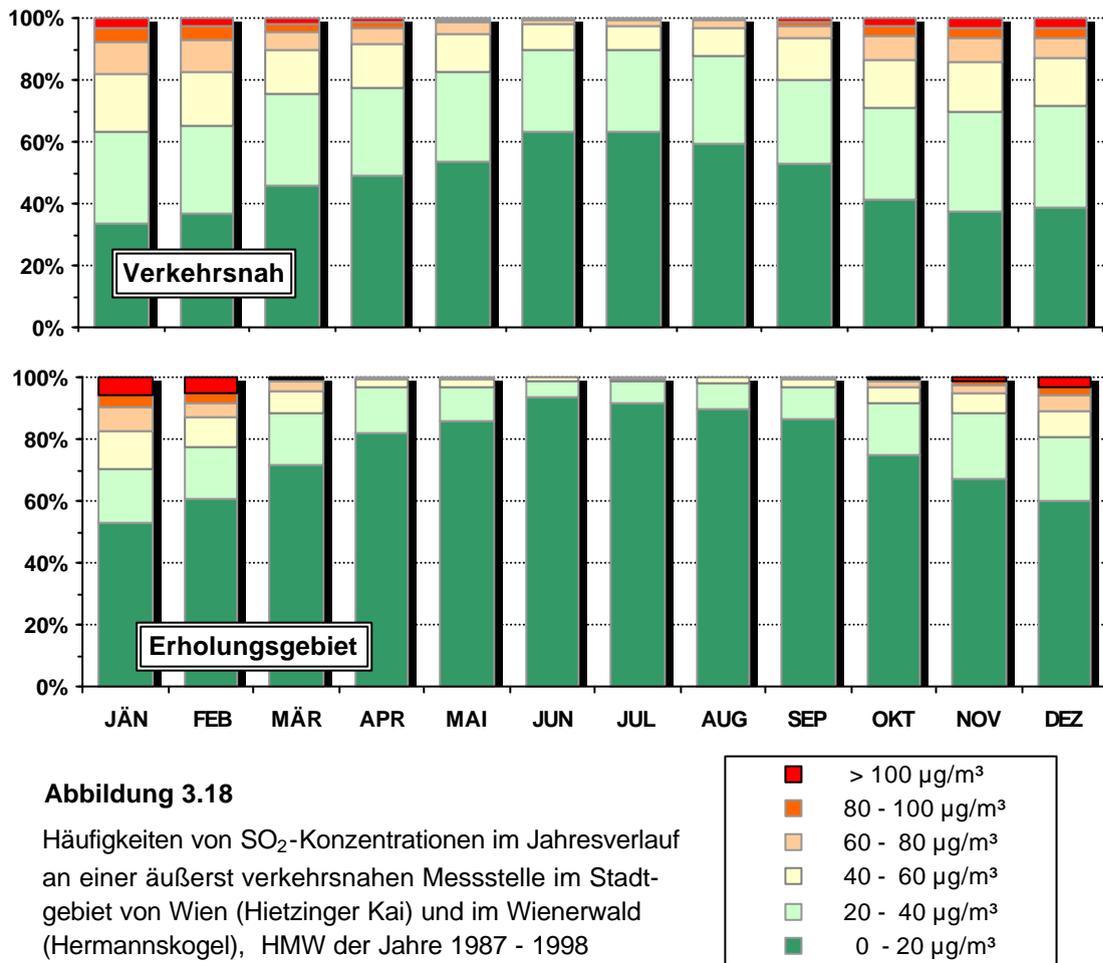
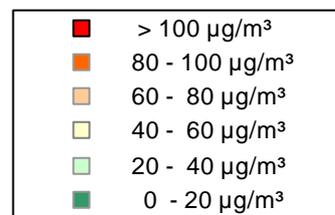


Abbildung 3.18

Häufigkeiten von SO₂-Konzentrationen im Jahresverlauf an einer äußerst verkehrsnahen Messstelle im Stadtgebiet von Wien (Hietzinger Kai) und im Wienerwald (Hermannskogel), HMW der Jahre 1987 - 1998



⇒ Der höhere Energiebedarf in den Wintermonaten führt zu Emissionsanstiegen. In Verbindung mit ungünstigen meteorologischen Bedingungen wird die Stadtatmosphäre mit Schadstoffen angereichert. Diese von den Sommermonaten gänzlich unterschiedliche Emissionssituation verursacht einen ausgeprägten Jahrgang der Schadstoffemissionen. Der Belastungsschwerpunkt liegt bei allen Primärschadstoffen folglich im Winterhalbjahr, in welchem Konzentrationen in einer Höhe auftreten können, die im Sommer nie zu beobachten sind.

3.5 Wochengang der Luftqualität in Wien

Die Emissionen im Großraum Wien folgen einem ausgeprägten Wochenverlauf. An Werktagen werden deutlich größere Schadstoffmengen emittiert als am Wochenende. So sinkt das Kfz-Verkehrsaufkommen am Wochenende je nach Straßenzug um ca. 30 bis 50 % (Nadler & Steierwald, 1997). Hier soll nun untersucht werden, inwieweit sich die daraus resultierenden Emissionsminderungen auf die Luftqualität im Stadtgebiet von Wien auswirken.

3.5.1 Stickstoffoxide und Ozon

Der Hauptverursacher der NO_x -Emissionen ist der Kfz-Verkehr. Das zeigt sich auch recht deutlich bei der Wochentagsabhängigkeit der Immissionen. Während an den Stadtmessstellen nur ein relativ geringer Wochengang zu verzeichnen ist, und die Konzentrationen am Wochenende nur geringfügig sinken, verzeichnen verkehrsnahen Messstellen ein deutliches Absinken der NO_2 -Konzentrationen. Abbildung 3.19 (links) zeigt, dass höhere Tageshöchstwerte insbesondere an Sonntagen wesentlich seltener und tiefe Konzentrationen deutlich öfter registriert werden. Die Häufigkeitsverteilung der NO_x -Konzentrationen zeigt einen nahezu identen Verlauf, auf eine Darstellung wurde deshalb verzichtet. Der markante Verkehrsrückgang am Wochenende führt also zu einem annähernd proportionalen Absinken der mittleren NO_x -Belastung.

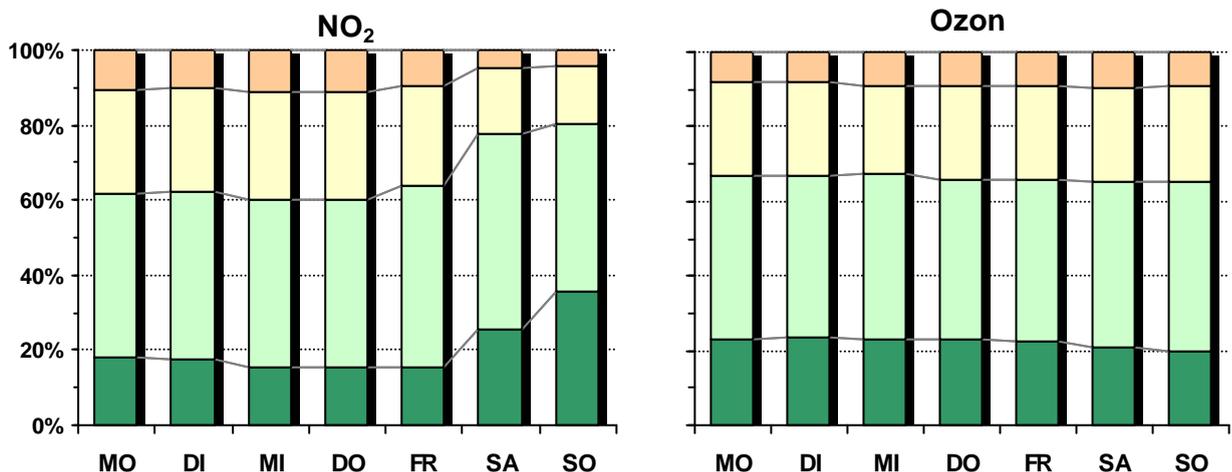
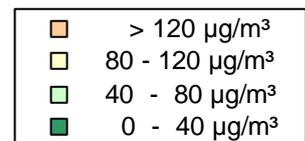


Abbildung 3.19

Häufigkeit von maximalen NO_2 - bzw. Ozonkonzentrationen an einer verkehrsnahen Messstelle (NO_2 : Hietzinger Kai) bzw. in Wien (Ozon) im Wochenverlauf, Tageshöchstwerte (HMW) in den Jahren 1987 bzw. 1990 bis 1998



Da die Stickoxide zu den wichtigen Vorläufersubstanzen von Ozon gehören, stellt sich die Frage, ob das Absinken an verfügbaren Primärschadstoffen im Sommer auch zu entsprechend reduzierten Ozonkonzentrationen führt. Eine entsprechende Auswertung für den Sekundärschadstoff Ozon ergab zunächst in allen Konzentrationsklassen einen durchaus gleichbleibenden Trend im Wochenverlauf (Abb. 3.19, rechts). Eine eingehende Analyse von Tagen, an welchen in Ostösterreich Ozonkonzentrationen > 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ aufgetreten sind (Kap. 4.2), zeigte allerdings, dass im Großraum Wien die Häufigkeit sowie Intensität von Ozon-Spitzenkonzentrationen am Wochenende leicht absinkt. Diese zunächst widersprüchlichen Ergebnisse sind ein Hinweis, dass die O_3 -Spitzenkonzentrationen in der Abgasfahne von Wien während sommerlicher Ozonepisoden durch **lokale** Reduktionsmaßnahmen der Vorläufersubstanzen absenkbar sein könnten.

⇒ Die Häufigkeit höherer NO_x -Konzentrationen sinkt am Wochenende bei deutlich vermindertem Verkehrsaufkommen im Schnitt um 50 % ab.

3.5.2 Schwefeldioxid und Schwebstaub

Auch bei den Schwefeldioxid- und Schwebstaubkonzentrationen zeigt sich ein ausgeprägter Wochengang (Abb. 3.20, links), mit den größtenteils gleichen Ursachen. Besonders deutlich nimmt am Wochenende die Häufigkeit höherer Staubkonzentrationen ab. Die Emissionen gehen bei vielen Emittentengruppen deutlich zurück, so sinkt am Wochenende der Energiebedarf, die industriellen Aktivitäten werden stark reduziert, das Verkehrsaufkommen geht zurück, Bauarbeiten werden größtenteils ausgesetzt, usw. In der Folge geht die mittlere Belastung bereits am Samstag deutlich zurück und an Sonntagen werden im Stadtgebiet von Wien nur äußerst selten hohe Staubkonzentrationen erfasst und zu meist liegen die Tageshöchstwerte (HMW) deutlich unter 80 µg/m³ (Abb. 3.20, rechts).

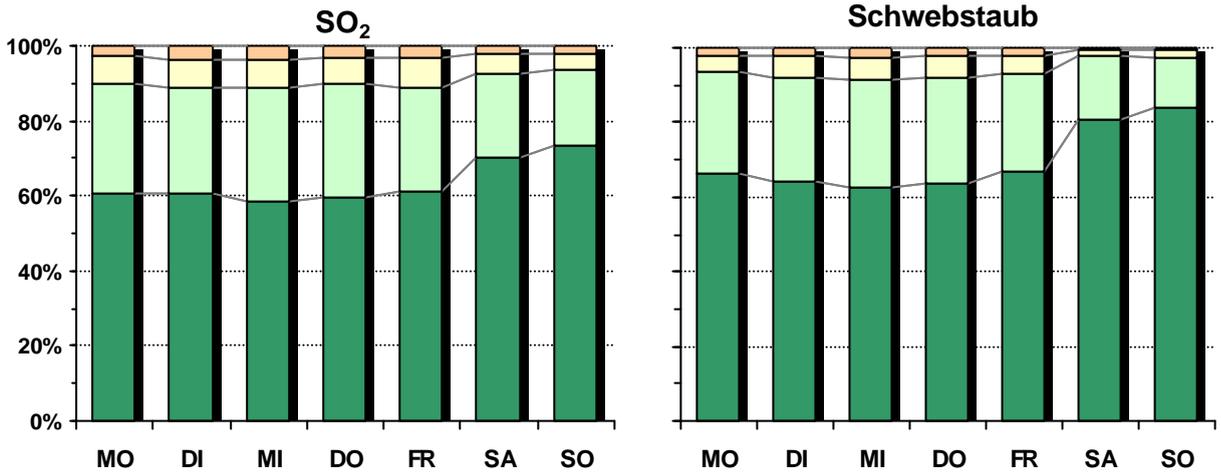
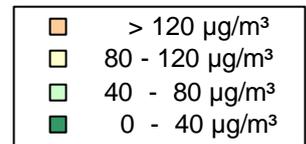


Abbildung 3.20

Häufigkeit von maximalen SO₂ - bzw. Staubkonzentrationen in Wien im Wochenverlauf, Tageshöchstwerte (HMW) in den Jahren 1987 bis.1998



⇒ Die verminderten Schadstoffemissionen am Wochenende (u.a. verringertes Verkehrsaufkommen) führen im allgemeinen zu deutlich reduzierten Immissionen an den arbeitsfreien Tagen, wobei sich das Absinken bei den hauptsächlich durch den Verkehr verursachten Stickoxiden sowie beim Schwebstaub mit jeweils ca. 50 % am deutlichsten bemerkbar macht. Bei Ozon konnte eine Abnahme der Konzentrationen an den Wochenenden lediglich während sommerlicher Ozonepisoden beobachtet werden.

3.6 Schadstoffimmissionen im Tagesverlauf

Während der Nachtstunden sinken die Emissionen aus Industriebetrieben, kalorischen Kraftwerken, sowie aus dem Straßenverkehr. Die Auswirkungen dieser Emissionsrückgänge auf den Tagesverlauf der Schadstoffimmissionen ist Gegenstand der folgenden Analysen.

3.6.1 Stickoxide

Hauptverursacher der Stickoxid-Emissionen ist der Kfz-Verkehr (siehe Kap. 2.1). Die Bedeutung des Straßenverkehrs auf die resultierenden mittleren NO_x -Immissionen zeigt sich sehr deutlich im Tagesverlauf der Immissionen. Spitzenkonzentrationen werden zumeist während der Verkehrsspitzen in den Morgen- und Abendstunden erfasst, wobei am extrem verkehrsexponierten Standort Hietzinger Kai zumeist die höchsten NO - wie auch NO_2 -Konzentrationen des Wr. Messnetzes registriert werden.

Hingegen treten an den Freilandmessstellen Hermannskogel und Lobau, in ausgedehnten Erholungsgebieten Wiens, üblicherweise sehr geringe NO_x -Konzentrationen auf, wobei die Unterschiede beim chemisch wesentlich reaktiveren NO deutlich ausgeprägter ausfallen. Hohe Stickstoffmonoxidkonzentrationen werden praktisch ausschließlich in unmittelbarer Verkehrsnähe gemessen. Bereits in einigen hundert Meter Entfernung treten wegen der raschen Oxidation zu NO_2 deutlich verringerte Immissionen auf, wie dies durch Abbildung 3.21 verdeutlicht wird. Beim chemisch wesentlich langlebigeren Stickstoffdioxid kann hingegen häufig eine Verlagerung in das Lee der Großstadt beobachtet werden, so-

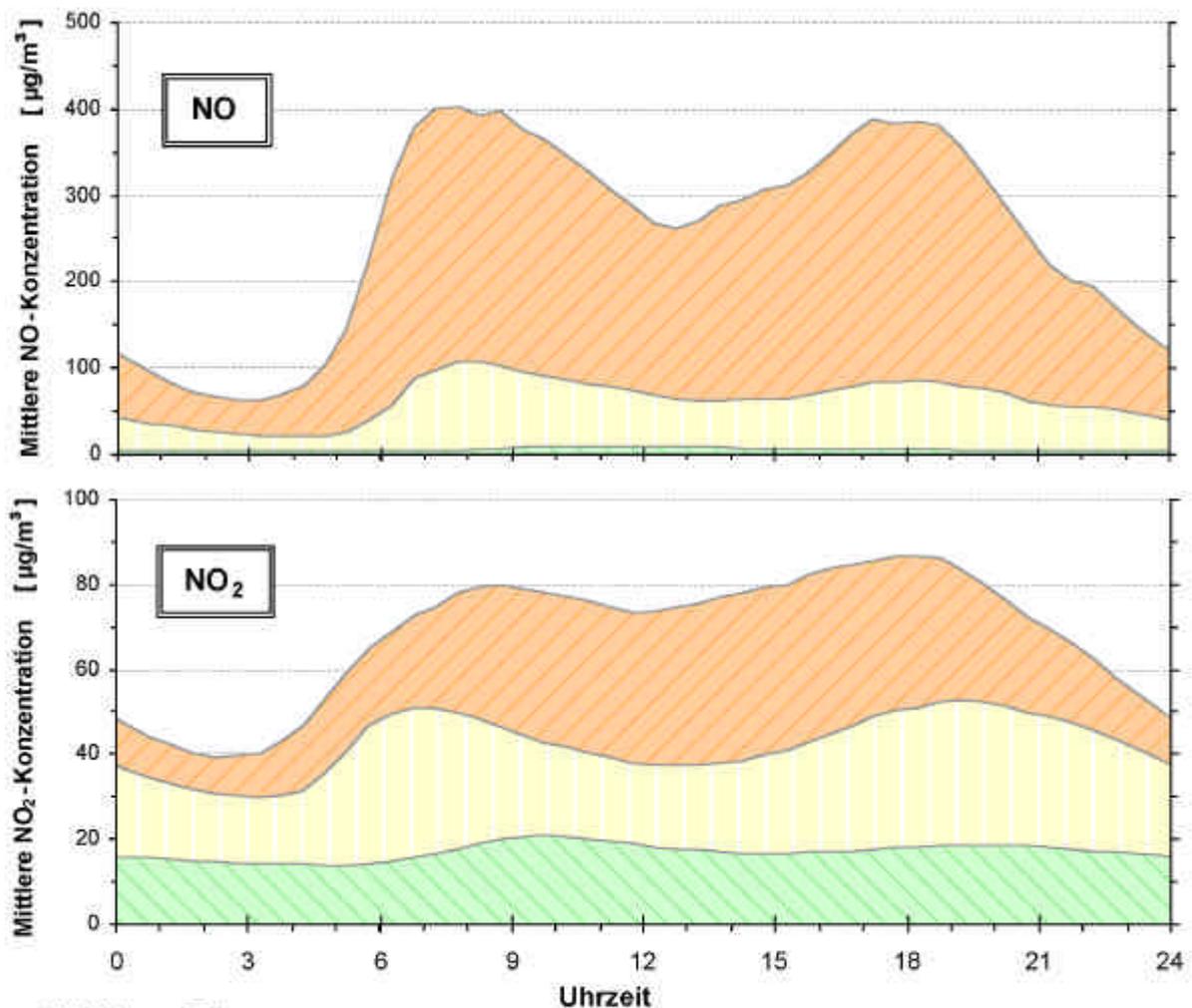
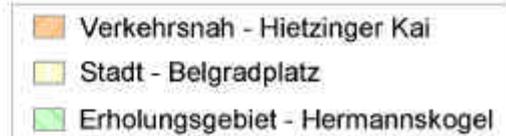


Abbildung 3.21

Mittlerer Tagesgang der NO - sowie NO_2 -Konzentrationen an ausgewählten Standorten Wiens, HMW der Jahre 1987 - 1998

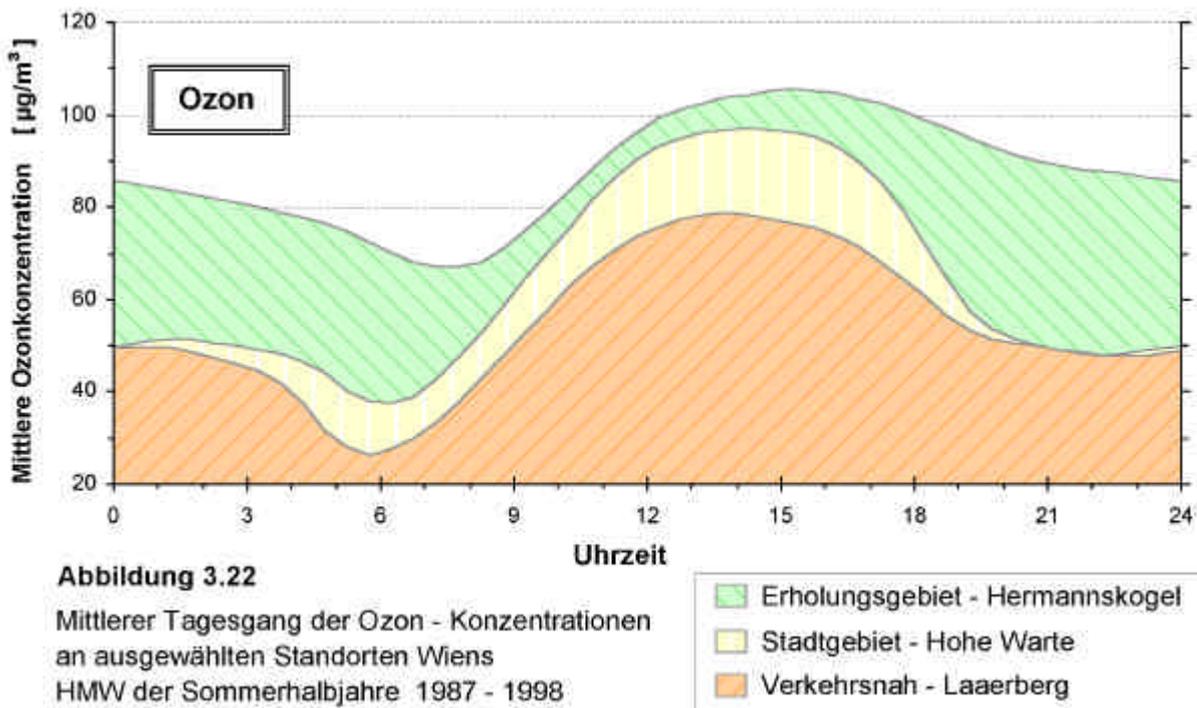


dass am Hermannskogel bzw. bei NW-Wind in der Lobau mitunter Belastungsspitzen im Einfluss der Stadt auftreten. Daraus resultieren schließlich wesentlich geringere Unterschiede zwischen Stadt- und Freilandmessstelle als beim Stickstoffmonoxid.

⇒ Während der Verkehrsspitzen in den Morgen- und frühen Abendstunden liegen die NO_x -Konzentrationen an den verkehrsnahen Messstellen im Schnitt 2 bis 8 mal höher als in der Nacht. Auch an den Stadtmessstellen werden die höchsten Stickoxidkonzentrationen des Tages üblicherweise zwischen 6 und 10 bzw. 16 und 21 Uhr erfasst.

3.6.2 Ozon

Der Sekundärschadstoff Ozon zeigt einen gänzlich anderen Tagesverlauf als dessen wichtige Vorläufersubstanzen NO und NO_2 (Abb. 3.22). Unabhängig vom Standort werden im Mittel in den frühen Morgenstunden die tiefsten Werte des Tages erfasst. Die primären Ursachen für die im allgemeinen relativ niedrigen Ozonkonzentrationen während der Nachtstunden sind allerdings sehr unterschiedlich. Während die NO_x -Emissionen im Nahbereich der Messstellen im Stadtgebiet (Hohe Warte, Laaer Berg und Stephansplatz) mit sinkender Sonnenstrahlungsintensität bereits am Nachmittag nicht mehr zu einer Bildung, sondern zu einer raschen Ozonzerstörung führen (siehe Kap. 2.2.1.2), wird an der Hügelmessstelle Hermannskogel üblicherweise nur ein schwacher Rückgang beobachtet. An dieser Messstelle im Wienerwald stellt mit Sicherheit in erster Linie die trockene Deposition eine Ozonsenke dar, denn die Ozonzerstörung durch NO -Emissionen wirkt sich an der verkehrsfernen Station nur geringfügig aus.



Von großer Bedeutung für den Tagesgang der Ozonkonzentration ist neben der Verkehrsnähe auch die Höhenlage der Messstelle. Während sommerlicher Hochdruckwetterlagen bildet sich in der Nacht häufig eine bodennahe Strahlungsinversion aus (siehe Kap. 2.4). Aus dem damit einhergehenden schwachen Wind und der drastisch verringerten Durchmischung in der bodennahen Atmosphäre folgt eine Anreicherung von Primärluftschadstoffen (z.B. NO_x) in der wenige hundert Meter mächtigen stabil geschichteten Luftschicht. Die Hügelmessstelle Hermannskogel (Seehöhe 520 m) befindet sich bei diesen Verhältnissen häufig über der Inversionsobergrenze in der sogenannten Reservoirschicht. Bei der dar-

gestellten meteorologischen Situation bleiben in dieser höher gelegenen Schicht die während des Tages gebildeten Sekundärschadstoffe (u.a. Ozon) nahezu unverändert bestehen. Die Messstelle Hermannskogel erfasst dann nachts den Ozongehalt dieser Reservoirschicht. Der daraus resultierende schwach ausgeprägte Tagesgang der Ozonkonzentration auf hohem Niveau ist auch der Hauptgrund für die hohe mittlere Ozonbelastung an diesem Standort im Wienerwald. Sie verzeichnet zumeist die höchsten Tagesmittelwerte Wiens.

Während des Vormittags steigen die Ozonkonzentrationen zumeist sehr rasch an. Dabei kann sehr häufig beobachtet werden, dass sich die ausgeprägten Konzentrationsunterschiede zwischen den Flachland- bzw. Stadtmessstellen und der Hügelmessstelle innerhalb kurzer Zeit, oft innerhalb 10 bis 20 Minuten, ausgleichen. Denn am frühen Vormittag wird mit der rasch zunehmenden Intensität der Sonnenstrahlung und der einsetzenden thermischen Hebung und Turbulenz die Bodeninversion sukzessive angehoben bzw. aufgelöst. Aus Kontinuitätsgründen muss Luft aus höheren Schichten, also aus der Reservoirschicht nach unten gemischt werden. Daraus resultieren die oft beobachteten steilen Anstiege sowie die gleichmäßige Verteilung der Ozonkonzentrationen an allen Messstellen am Vormittag.

Zu den Mittagsstunden bildet sich dann wieder eine größere Differenz zwischen den Ozonwerten aus. Während an der verkehrsnahen Messstelle Laaer Berg im Mittel die niedrigsten Ozonkonzentrationen Wiens erfasst werden, treten am Hermannskogel im Mittel auch die höchsten Tagesmaxima auf. Offensichtlich führt das reichliche, verkehrsbedingte NO-Angebot an der Messstelle Laaerberg auch während intensiver Sonnenstrahlung zu reduzierten Ozonwerten. Auch hier zeigt der Sekundärschadstoff Ozon ein gänzlich anderes Verhalten als die verschiedenen Primärschadstoffe, welche zumeist im Nahbereich der Emittenten die höchsten Konzentrationen aufweisen.

⇒ Im Mittel treten die höchsten Ozonkonzentrationen am Nachmittag auf. Im Großraum Wien werden hingegen häufig bereits am Vormittag die Tageshöchstwerte der Ozonkonzentration erfasst. Am späten Nachmittag sinken die Werte im Wienerwald in Folge der trockenen Deposition leicht und kontinuierlich und an den Stadtmessstellen aufgrund der NO-Oxidation rasch. Im Stadtgebiet werden schließlich während der Frühverkehrsspitze, welche zu markanten NO-Spitzen führt, die Tagesminima der Ozonkonzentration registriert, welche mitunter im Bereich der Nachweisgrenze liegen.

3.6.3 Tagesgang der SO₂-Konzentration

Der mittlere Konzentrationsverlauf des Schwefeldioxids zeigt einen ausgeprägten Tagesgang. An verkehrsnahen Messstellen steigen die Werte bereits in den frühen Morgenstunden rasch an. Dieser Anstieg fällt sowohl an den Stadtmessstellen, die in etwas größerer Entfernung zu stärker befahrenen Straßen liegen, als auch in den Außenbezirken Wiens in wesentlich abgeschwächter Form aus. Das Konzentrationsmaximum des Tages wird üblicherweise um ca. 9:00 Uhr erfasst. Danach fallen die Messwerte an nahezu allen Standorten kontinuierlich bis in die frühen Abendstunden ab. Lediglich die besonders verkehrsnah positionierte Messstelle Hietzinger Kai verzeichnet üblicherweise auch am Nachmittag konstant hohe SO₂-Konzentrationen. Erst nach 18:00 Uhr, wenn das Verkehrsaufkommen kontinuierlich zurückgeht, sinken auch an diesem Standort die Konzentrationen auf das Niveau der übrigen Stadtmessstellen (siehe Abb. 3.23).

Interessant ist die Tatsache, dass bis auf eine Ausnahme (Hietzinger Kai) an allen Messstellen lediglich ein Konzentrationsmaximum während des Vormittags erfasst wird. Am späten Nachmittag hingegen - bei u.a. etwa gleichbleibendem Heizbedarf, usw. und einer ähnlich ausgeprägten Verkehrsspitze wie in den Morgenstunden - wird an den Stadt- und Stadtrandmessstellen keine vergleichbare SO₂-Belastungsspitze registriert.

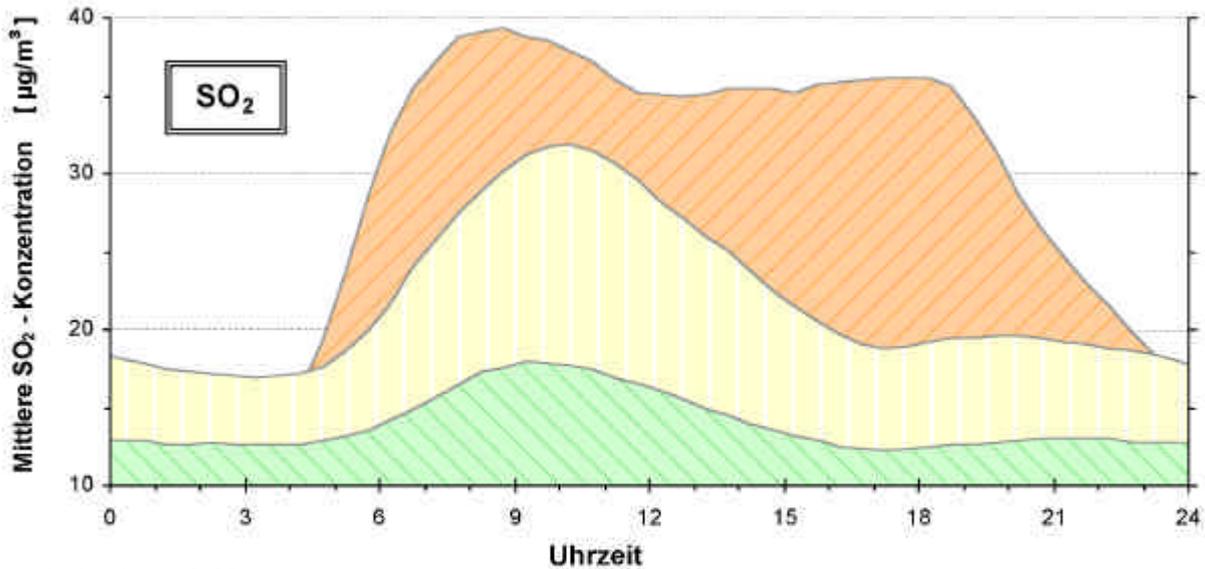


Abbildung 3.23

Mittlerer Tagesgang der Schwefeldioxid -
Konzentrationen in ausgewählten Stadtgebieten
von Wien, HMW der Jahre 1987 - 1998



Um zu klären, inwieweit das starke Verkehrsaufkommen an der Messstelle Hietzinger Kai zu diesen hohen mittleren nachmittäglichen SO₂-Konzentrationen führt, wurde eine entsprechende Auswertung getrennt für Werktagen und das Wochenende durchgeführt (siehe Abb. 3.24). Am Wochenende steigen die Schwefeldioxid-Konzentrationen während der Morgenstunden merklich später, und die Spitzenwerte am Vormittag liegen deutlich tiefer als an den Werktagen. Die Tageshöchstwerte werden am Wochenende hingegen häufig in den frühen Abendstunden registriert. Hier zeigen sich die Folgen des Wochenend-Rückreiseverkehrs auf die Schwefeldioxidbelastung.

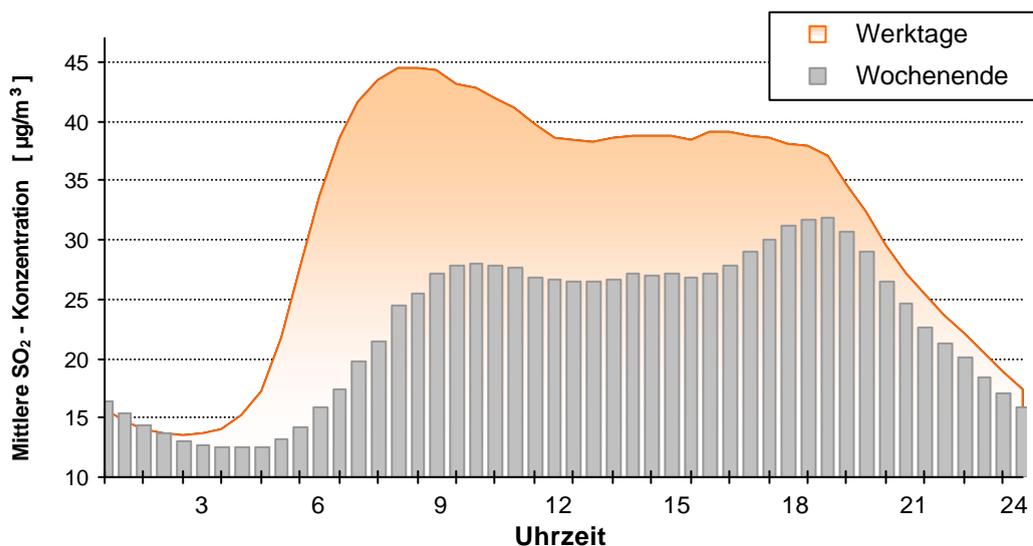
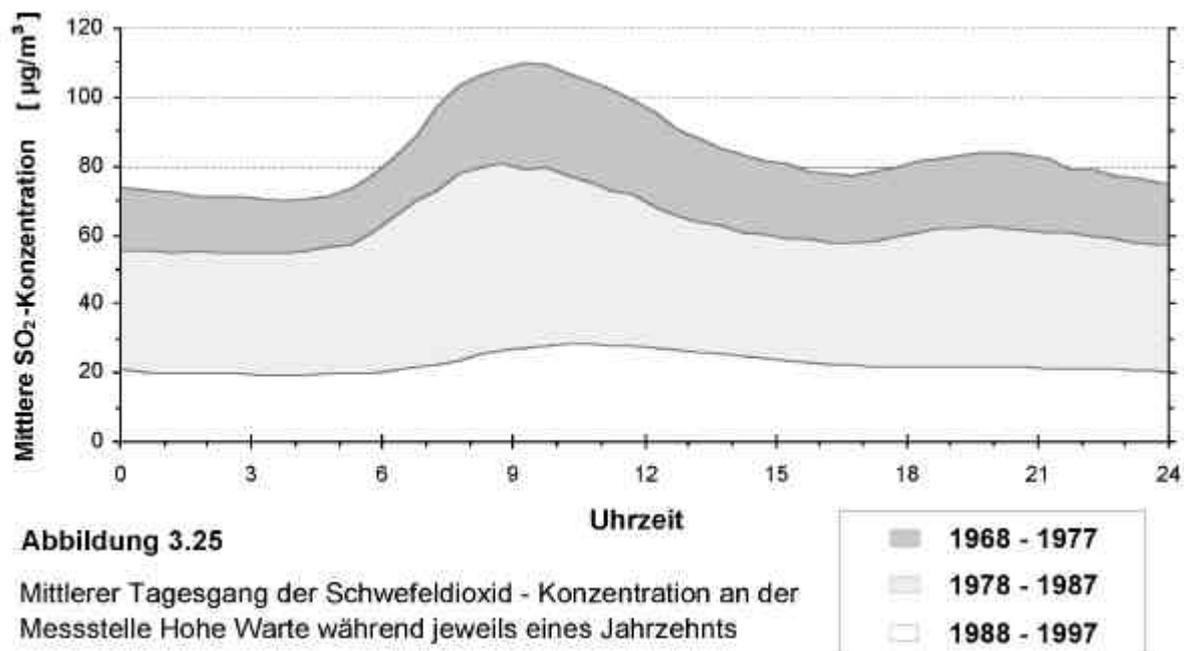


Abbildung 3.24

Mittlere Tagesgänge der SO₂-Konzentration an der Messstelle Hietzinger Kai an Werktagen sowie am Wochenende, HMW der Jahre 1987 - 1998

Bezüglich dieser Auswertung darf nicht unerwähnt bleiben, dass die Luftgütemessungen am Hietzinger Kai auf der stadteinwärts führenden Seite der Hauptstraße durchgeführt werden und aufgrund der größeren Entfernung (ca. 50 m) zur stadtauswärts führenden Fahrbahn die Messungen den Einfluss des Wochenend-Rückreiseverkehr wesentlich stärker wiedergeben. Für eine weitere Auswertung wurden die Messdaten der Winterhalbjahre 1968-1997 der Messstelle Hohe Warte berücksichtigt, und die mittleren Tagesgänge für jeweils ein Jahrzehnt berechnet. In den frühen Jahren der Luftschadstoffmessungen in Wien, als noch wesentlich höhere SO_2 -Immissionen aufgetreten sind, wurden an der städtischen Messstelle Hohe Warte auch in den Abendstunden erhöhte Konzentrationen erfasst. Das Maximum zwischen 19:00 und 21:00 Uhr war vermutlich eine Folge der am Abend erhöhten SO_2 -Emissionen durch den Hausbrand, denn die Emissionen aus Industrie und Kfz-Verkehr sinken zu dieser Tageszeit bereits deutlich. Dass dieses abendliche Maximum im mittleren Tagesverlauf der Jahre 1988-1997 nicht mehr zu beobachten war, und nur mehr an äußerst verkehrsnahen Messstellen registriert wurde (Abb. 3.25), kann folglich als ein Resultat der in den vergangenen 3 Jahrzehnten im Bereich des Hausbrandes deutlich zurückgegangenen SO_2 -Emissionen gewertet werden (z.B. gesteigerte Fernwärmenutzung). Aufgrund der Vielzahl möglicher Ursachen und der relative geringen Änderung ist allerdings eine gesicherte Aussage auf Basis dieser Auswertungen nicht möglich.



⇒ Zumeist erreicht die SO_2 -Belastung am Vormittag ein Tagesmaximum. Am Nachmittag sinken die Konzentrationen zumeist kontinuierlich ab. Lediglich in unmittelbarer Verkehrsnähe werden auch am Nachmittag SO_2 -Konzentrationen erfasst, die im Mittel 3 - 4 mal höher liegen als die Werte der Nachtstunden (Abb. 3.23).

3.6.3 Kohlenmonoxid und Schwebstaub

Bezüglich der Tagesgänge bei den Kohlenmonoxid- und Staubkonzentrationen ist festzuhalten:

⇒ Wie beim Stickstoffmonoxid zeigt sich auch beim Tagesgang der CO-Konzentration in erster Linie der Einfluss des Straßenverkehrs. Während der Verkehrsspitzen steigen die Werte im Mittel um den Faktor 3 (Hietzinger Kai) an. Zur Tagesmitte liegen die Konzentrationen im Schnitt genau zwischen dem Belastungsniveau der Nachtstunden und den Spitzenwerten während der Hauptverkehrszeit.

⇒ Nahezu unabhängig vom Standort liegen die Staubkonzentrationen während des Tages konstant um 30 bis 70 % über der mittleren Belastung während der Nachtstunden. Üblicherweise ist ein rascher Anstieg um ca. 6 Uhr und ein stetiges Absinken der Staubbelastung ab ca. 19:00 Uhr zu beobachten (Abbildung 3.27 – Messstelle Laaerberg).

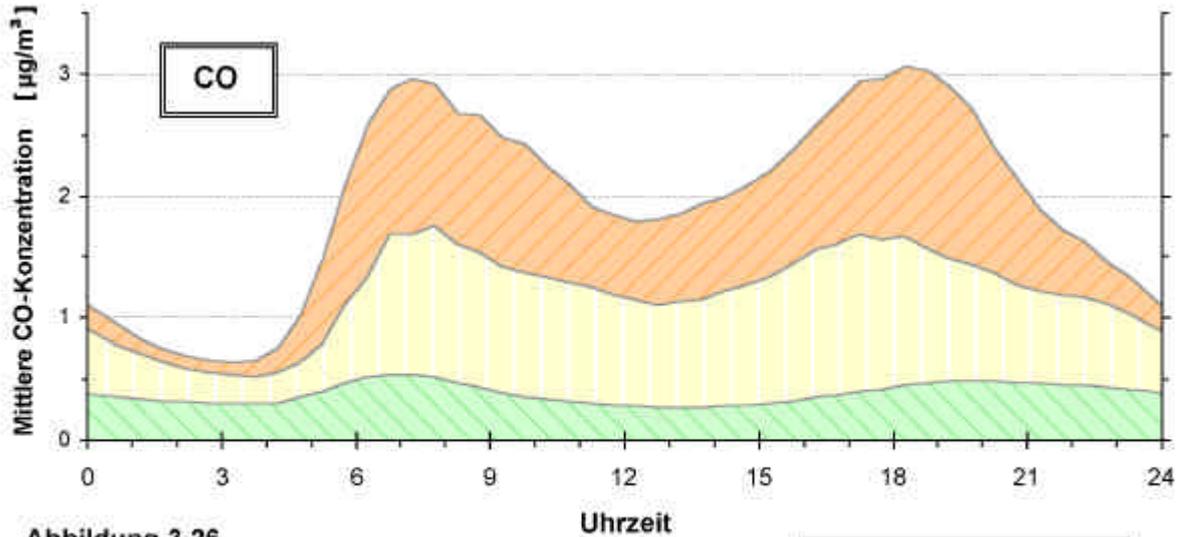
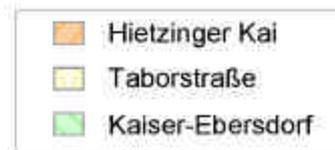


Abbildung 3.26

Mittlerer Tagesgang der Kohlenmonoxid-Konzentrationen an unterschiedlich verkehrsexponierten Messstellen Wiens, HMW der Jahre 1987 - 1998



Die hohen mittleren Staubkonzentrationen während der Morgenstunden an der Messstelle Liesing resultieren aus dem regen LKW-Verkehrsaufkommen im Nahbereich der Messstelle zu Tagesbeginn.

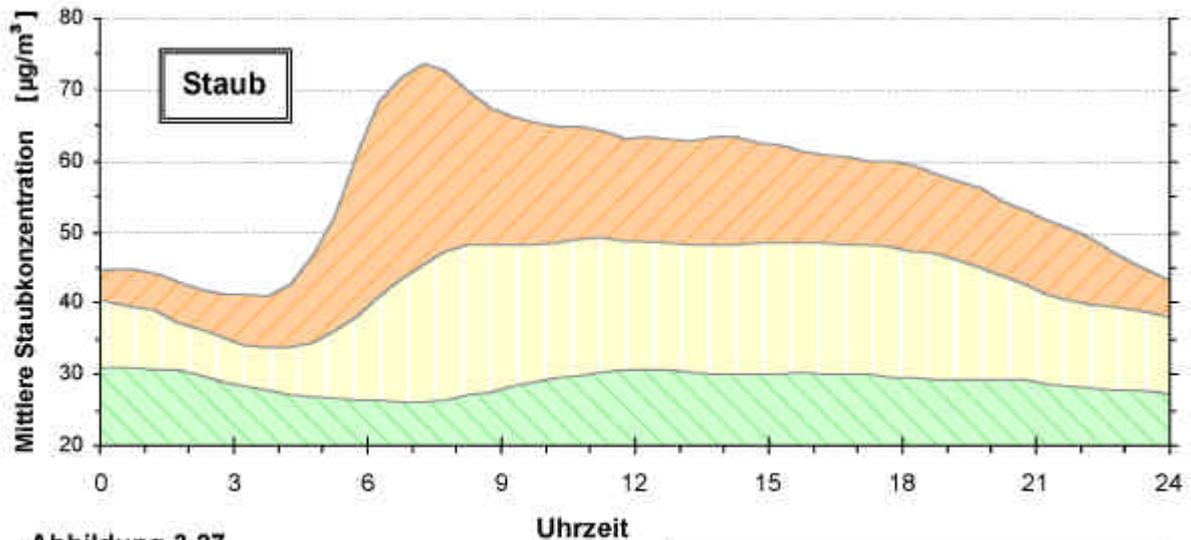
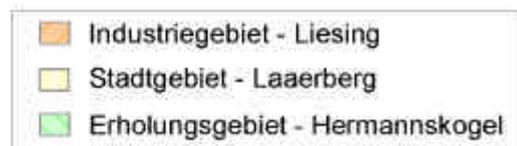


Abbildung 3.27

Mittlerer Tagesgang der Staubkonzentrationen an ausgewählten Standorten Wiens, HMW der Jahre 1987 - 1998



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.

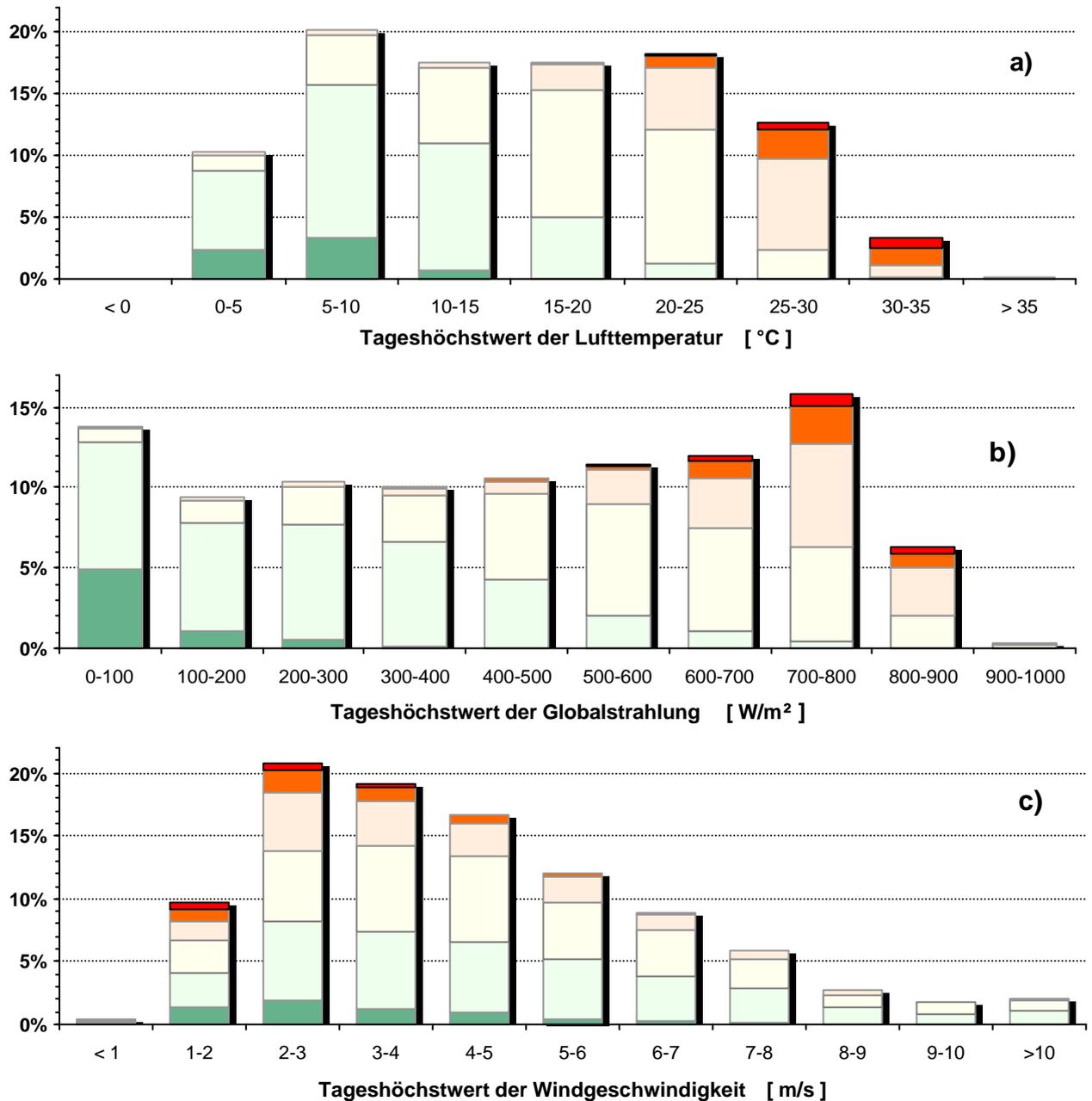
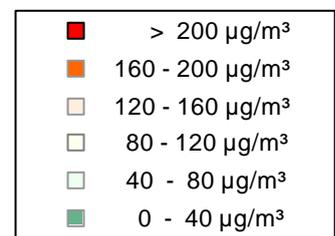


Abbildung 4.1

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 SO₂-Konzentrationen steigt mit abnehmenden Tiefstwerten der Lufttemperatur markant an (Abb. 4.2 a). Der mit sinkenden Temperaturen steigende Heizbedarf führt zu einem Ansteigen der SO₂-Emissionen insbesondere bei den zahlreichen Kleinverbrauchern, woraus die höheren Immissionen resultieren.

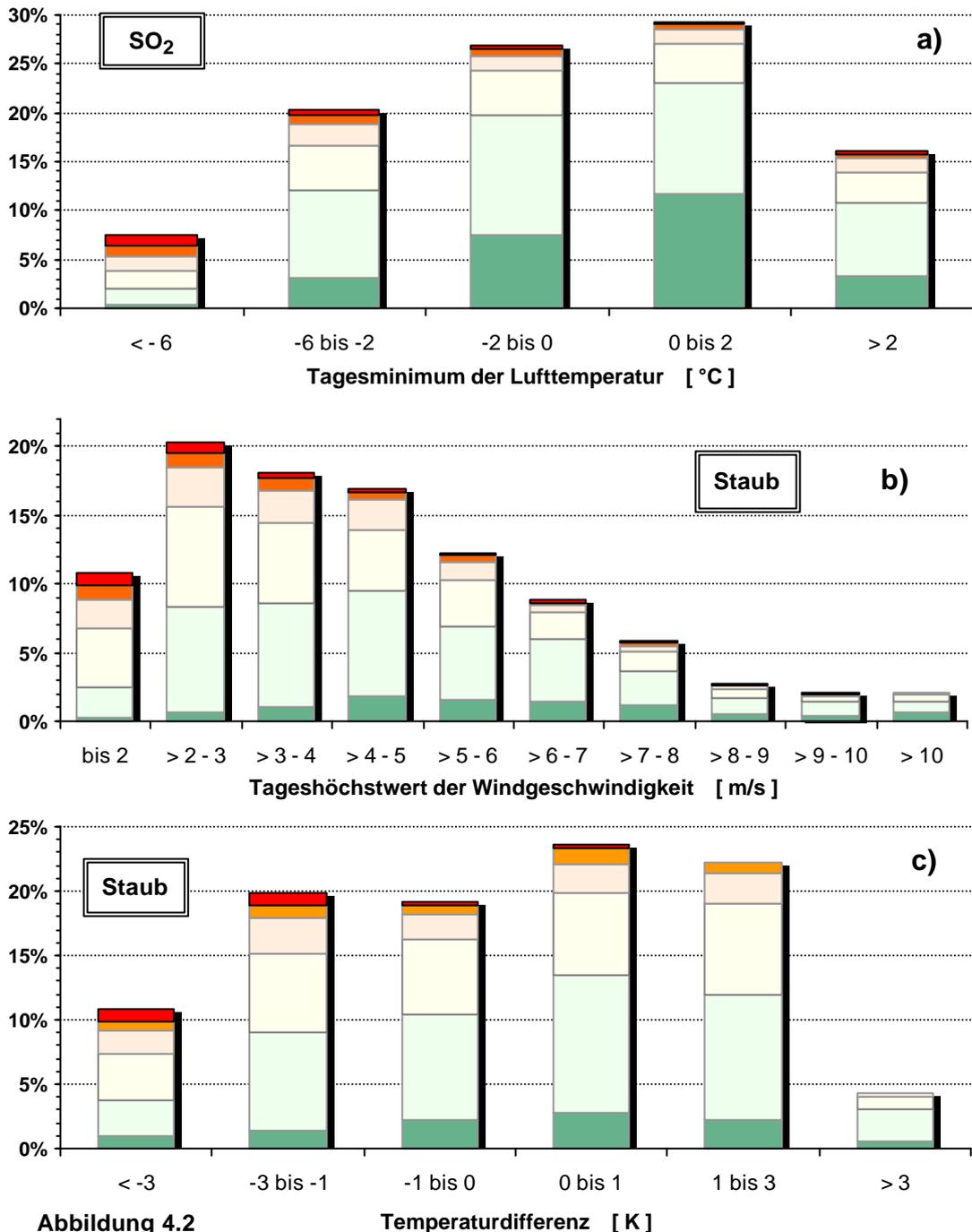
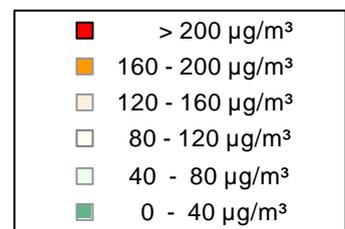


Abbildung 4.2 Temperaturdifferenz [K]

Häufigkeit des Auftretens von Tageshöchstwerten der **Staub- bzw. SO₂-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 Glätteisbildung) 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.

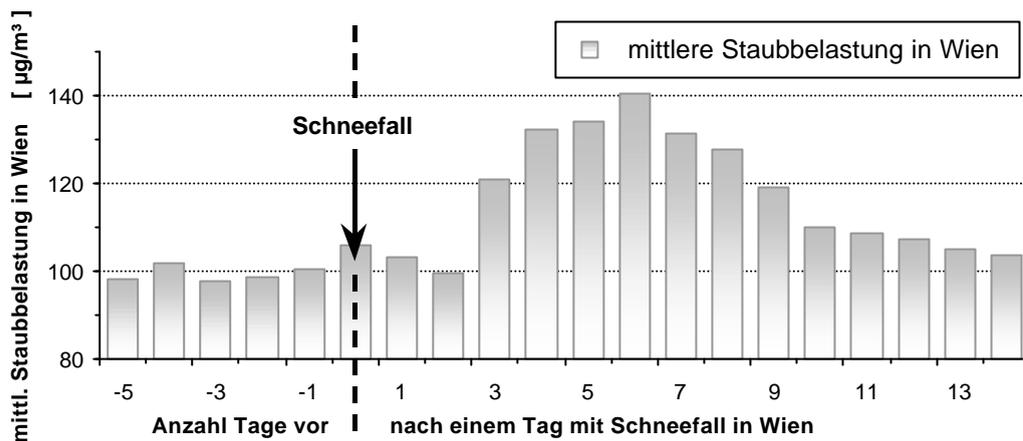


Abbildung 4.3

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

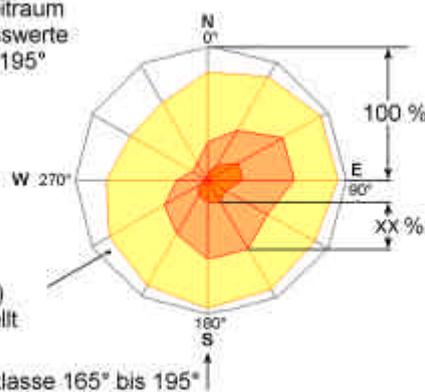
Bei Untersuchung der Schadstoffvorbelastung und der Ausbildung einer Abgasfahne auf der windabgewandten Seite der Stadt muss den jeweiligen Windverhältnissen eine besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. Schwierigkeiten bei der Interpretation bereiten dabei lokale Einflüsse auf die Windrichtungsmessungen, 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

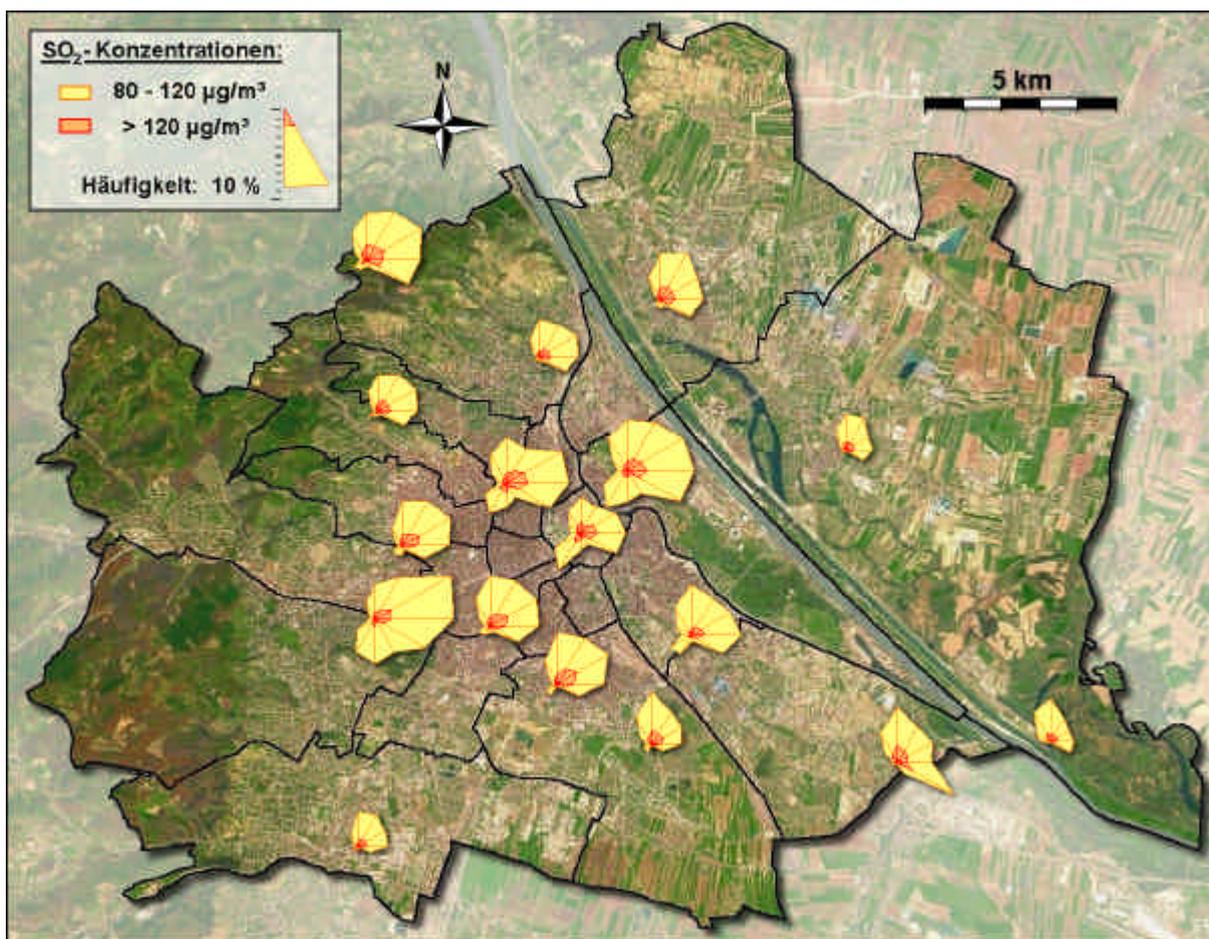


Abbildung 4.4

Mittlere Häufigkeit von 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 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 SO_2 -Vorbelastung deutlich geringer. Der regionale Beitrag von Wien zur SO_2 -Immissionssituation im Stadtgebiet ist aufgrund dieser ausgeprägten Richtungsabhängigkeit vermutlich relativ gering.

⇒ Winterliche Belastungsepisoden mit hohen 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.

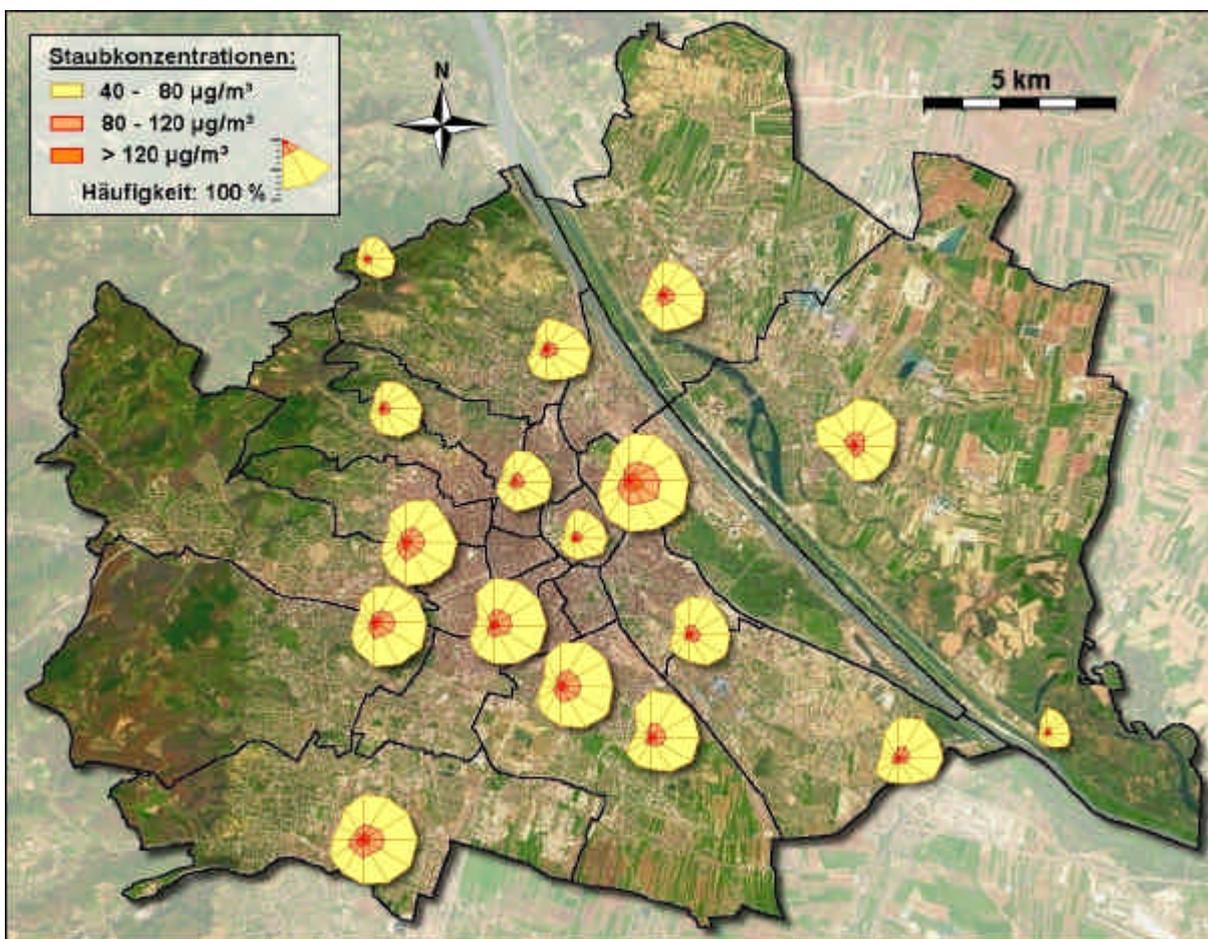


Abbildung 4.5

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

4.1.3 Stickstoffdioxid

Die NO₂-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 NO₂-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 NO₂-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 µg/m³ 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 NO_2 -Konzentrationen erfasst. Im Gegensatz dazu werden beim NO aufgrund der relativ geringen Lebensdauer in der Atmosphäre, seltener vergleichbare Konzentrationsanstiege im Einflussbereich der Stadt erfasst.

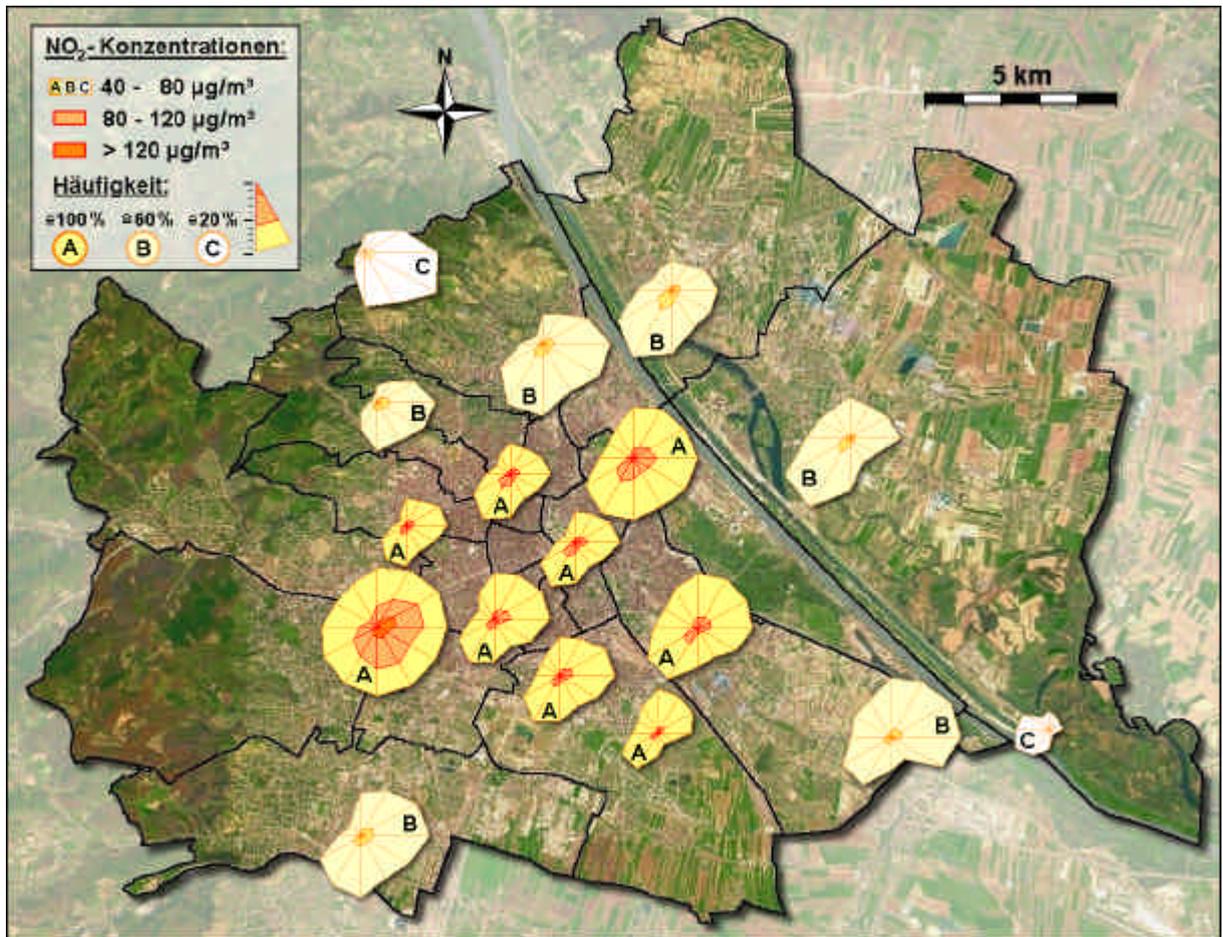


Abbildung 4.6

Mittlere Häufigkeit von 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.

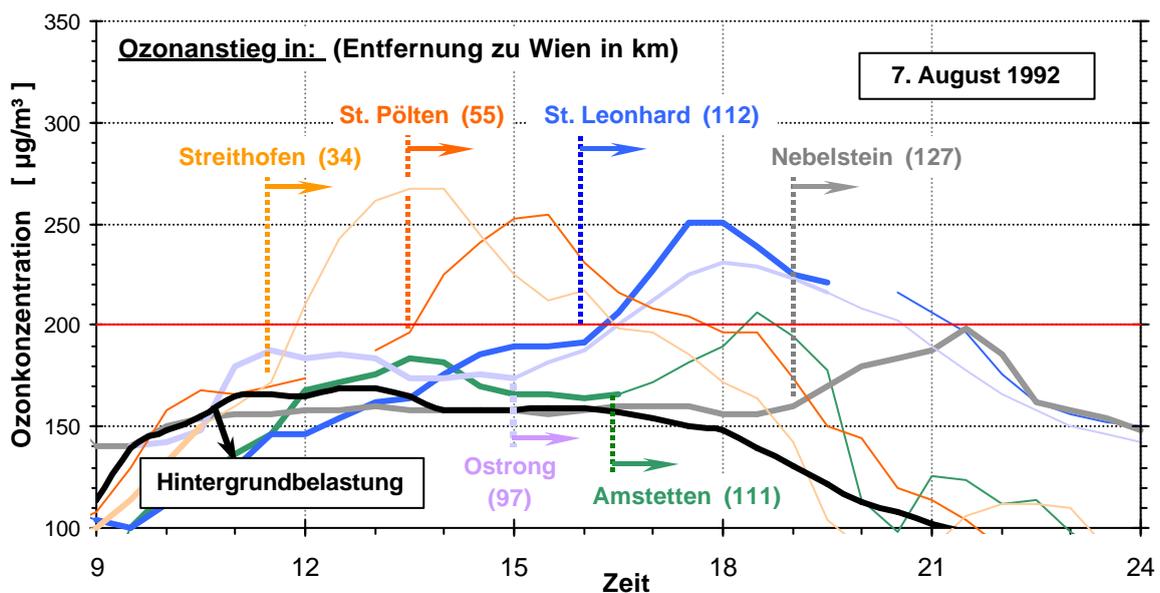


Abbildung 4.7

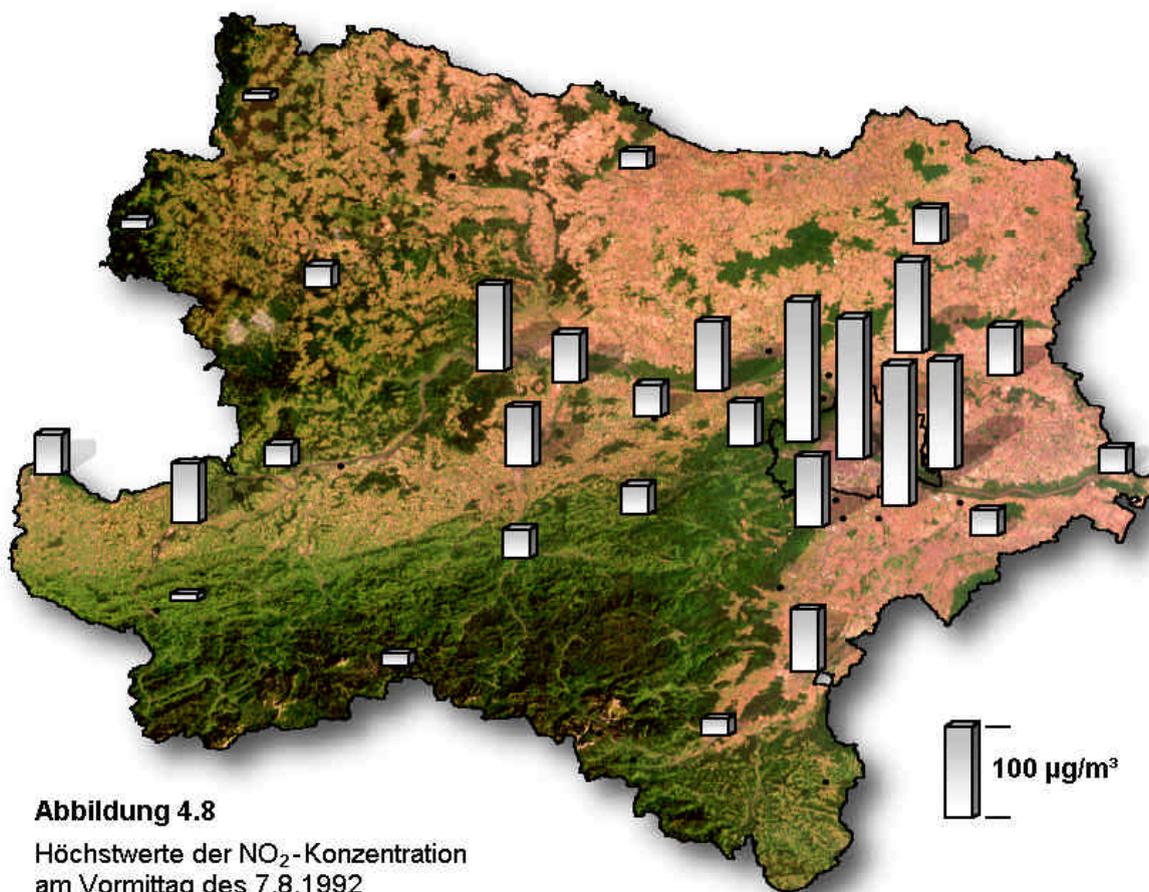
Zeitliche Entwicklung der Ozonkonzentrationen an ausgewählten Messstellen in Nordostösterreich am 7. August 1992

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 (NO_2)

Ozon ist ein Sekundärschadstoff und wird hauptsächlich aus den Stickoxiden NO und 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 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 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 °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 °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 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 berechnet¹. Abgesehen von den zum Teil fragwürdigen Ozonkonzentrationen

¹ Interpolation der Halbstundenmittelwerte aller verfügbaren Ozonmessstellen Nordostösterreichs

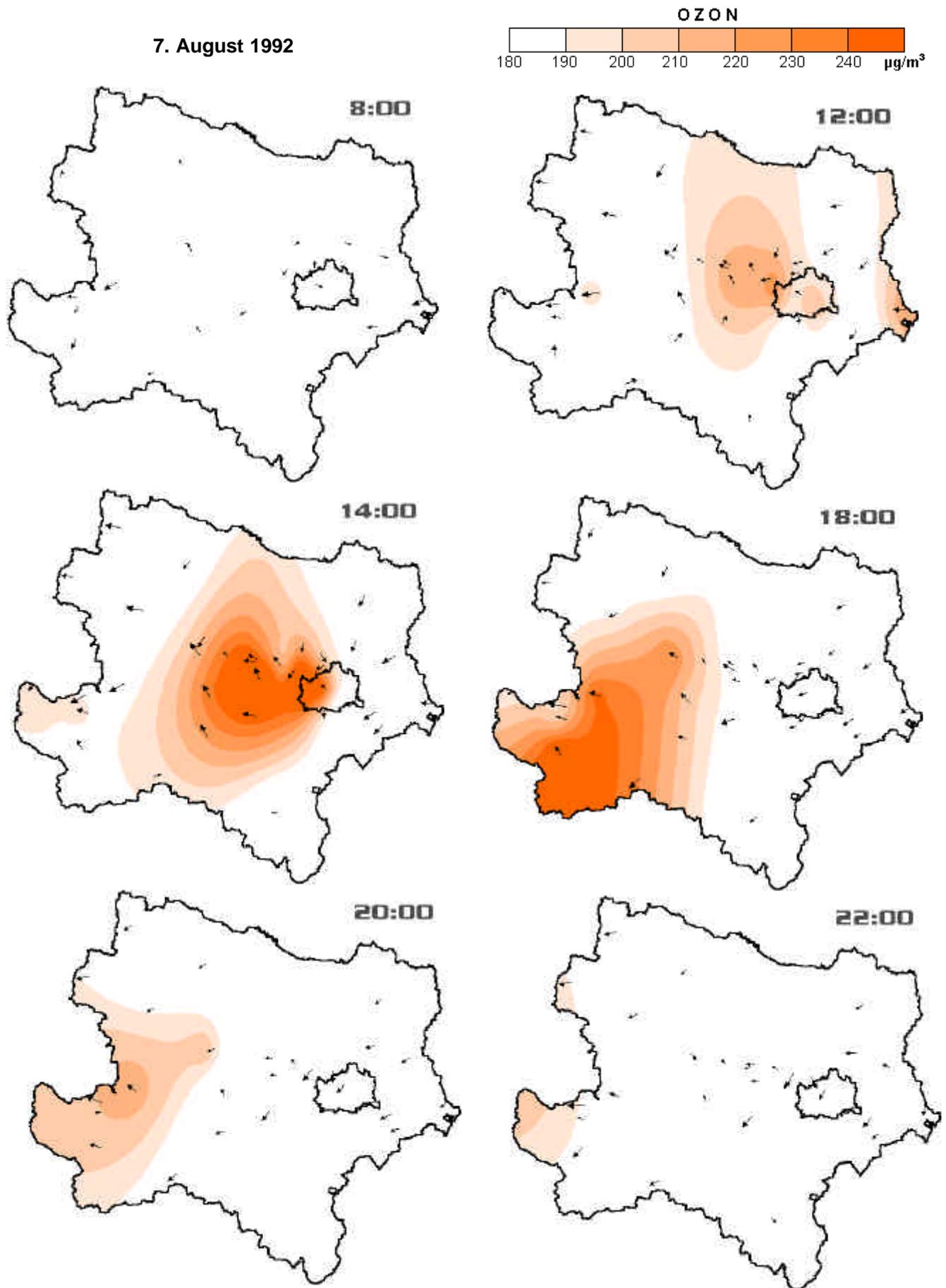


Abbildung 4.9

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.

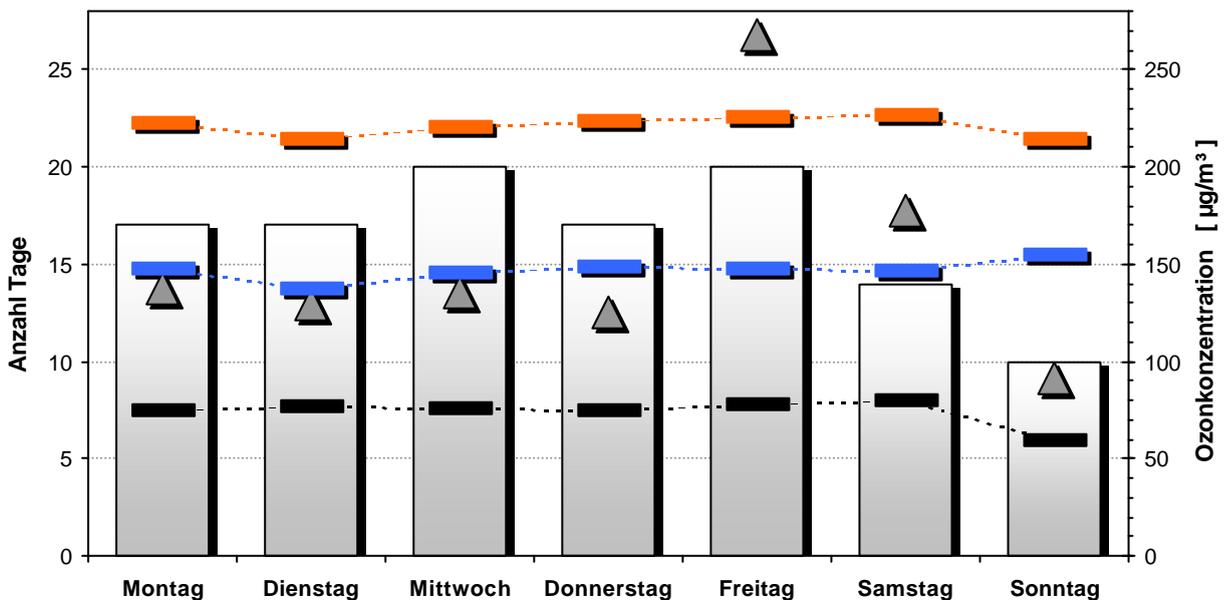
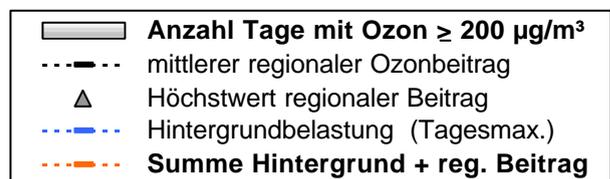


Abbildung 4.10
 Ozonepisoden in Wien & Niederösterreich
 (Anzahl Tage = 115; HMW der Jahre 1990 - 1997)
 Abschätzungen zum regional gebildeten Ozon
 Abhängigkeit vom Wochentag



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 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 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 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 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 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 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 SO_2 -Konzentrationen in Nordostösterreich mitunter um ein Vielfaches an. Selbst an den verkehrsexponierten Messstellen im Stadtgebiet von Wien werden mitunter deutlich geringere SO_2 -Immissionen erfasst als bei entsprechenden Strömungslagen an den grenznahen Messstellen in Niederösterreich.

4.4.2 Schadstoffimport

Zu Beginn der Episode lagen die 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 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 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 SO_2 -Konzentrationsverteilung in Nordostösterreich wurde zur übersichtlichen Darstellung für verschiedene Tageszeiten berechnet¹. Abbildung 4.13 bietet einen Überblick über die interessante und regelmäßig anzutreffende zeitliche Entwicklung der SO_2 -Belastung in Nordostösterreich während Strömungslagen, die einen Zustrom relativ stark vorbelasteter Luftmassen mit sich bringen.

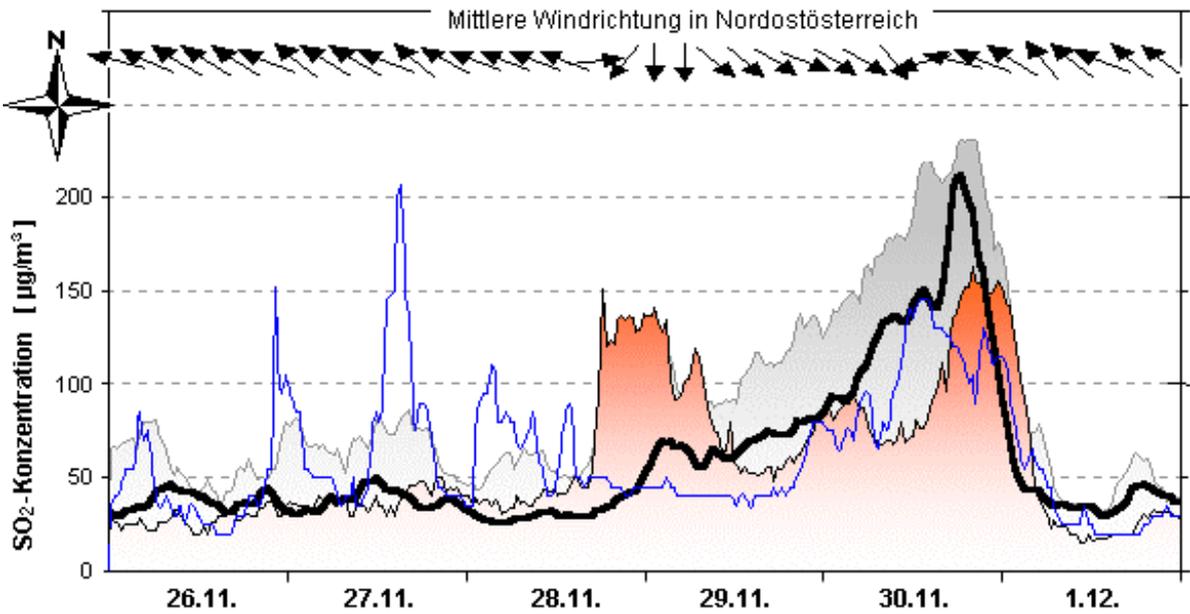


Abbildung 4.11
Mittlere Schwefeldioxidbelastung in Nieder-
österreich und Wien vom 26.11. bis 1.12.1993

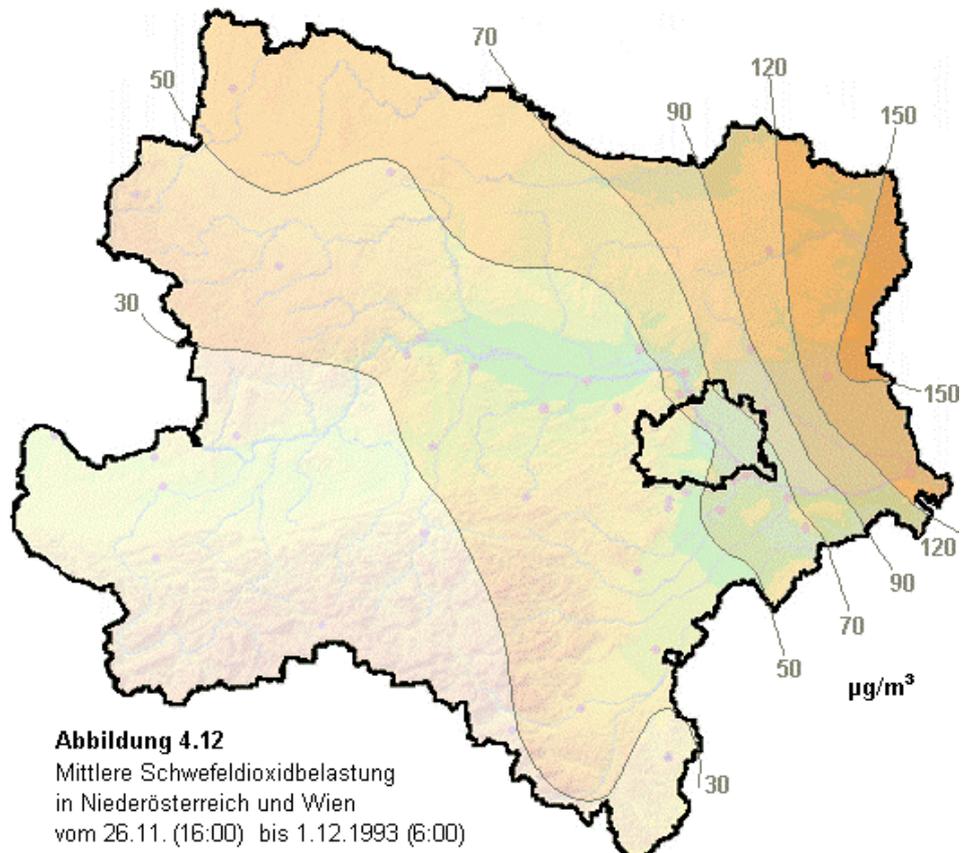
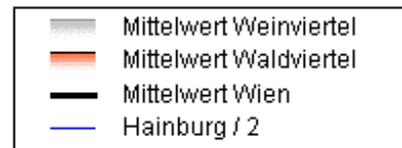


Abbildung 4.12
Mittlere Schwefeldioxidbelastung
in Niederösterreich und Wien
vom 26.11. (16:00) bis 1.12.1993 (6:00)

¹ Interpolation der Halbstundenmittelwerte aller verfügbaren SO_2 -Messstellen Nordostösterreichs

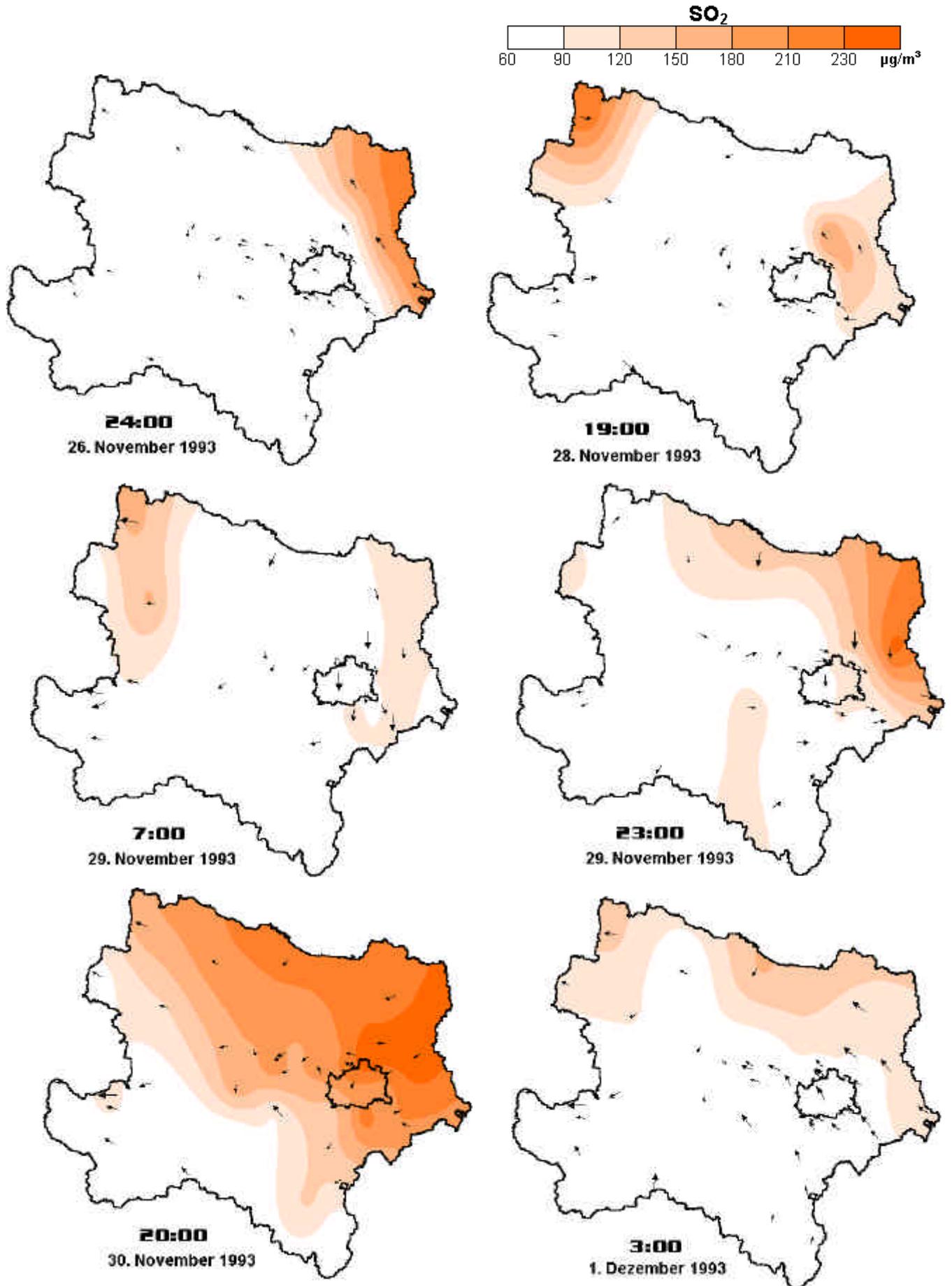


Abbildung 4.13

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 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 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 SO_2 -Belastung im Stadtgebiet von Wien in Folge des Schadstoffimports nach Nordostösterreich.

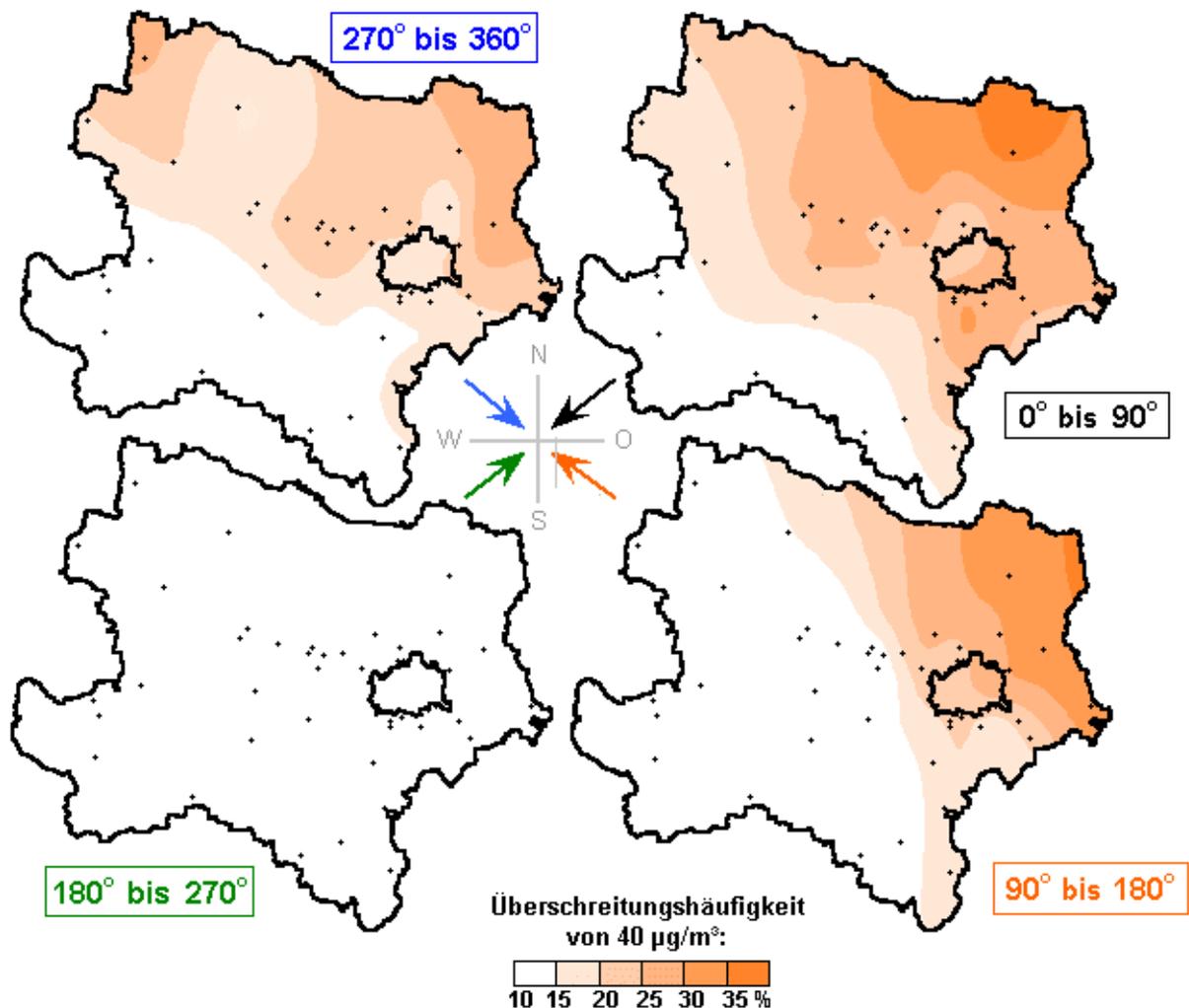


Abbildung 4.14

Überschreitungshäufigkeiten von 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 SO₂-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 SO₂-Belastung in Wien höher liegt, kann davon ausgegangen werden, daß die Überschreitung des vorsorglichen Gesundheitsschutz-Grenzwertes (200 µg/m³) 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 SO₂-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 SO₂-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.

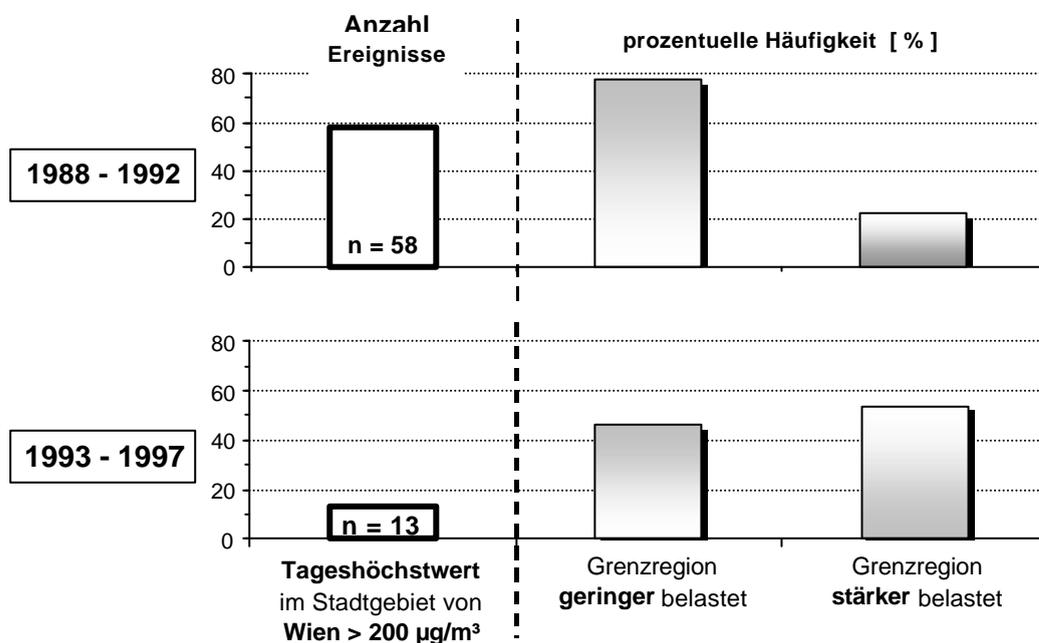


Abbildung 4.15

Zeitliche Entwicklung der Häufigkeit von Spitzenbelastungen der SO₂-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.

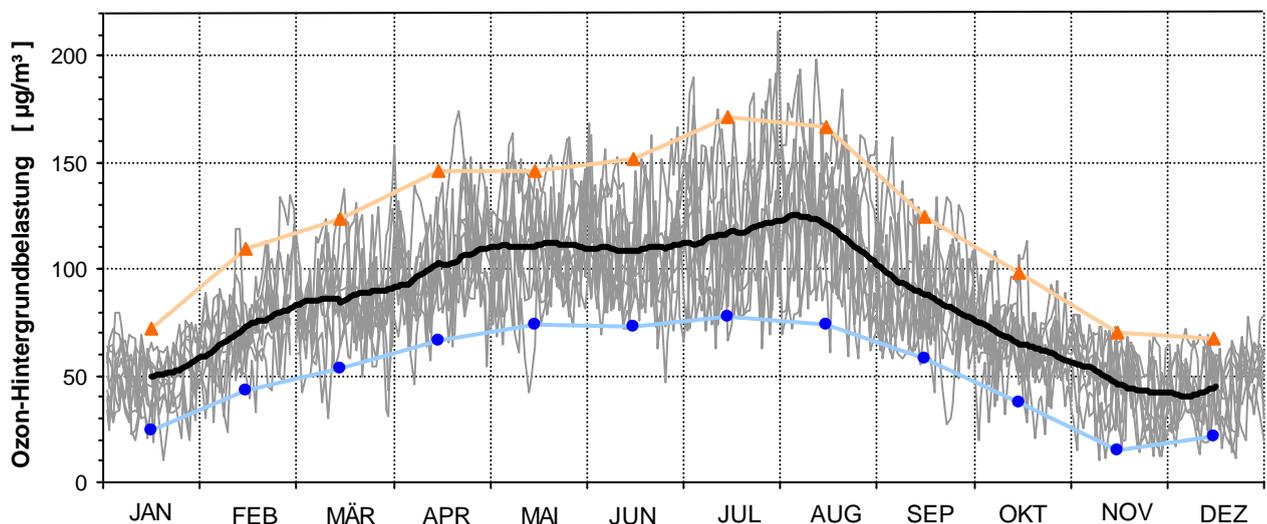
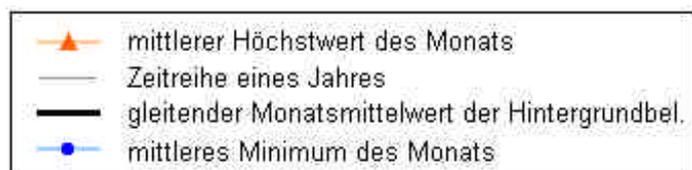


Abbildung 5.1

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/m³ 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/m³.

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.

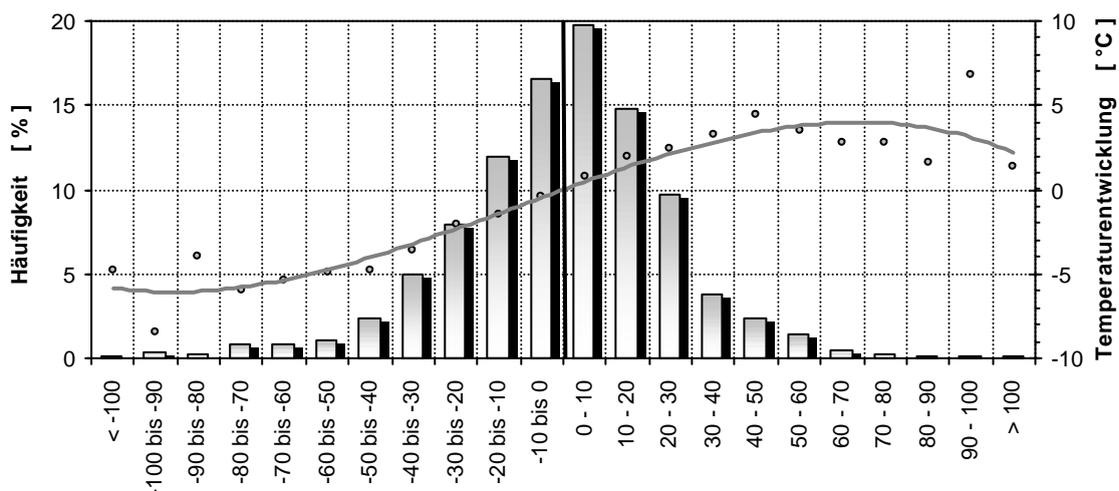
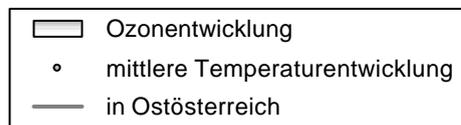


Abbildung 5.2 Zeitliche Entwicklung der Hintergrund-Ozonkonzentration [µg/m³]

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).

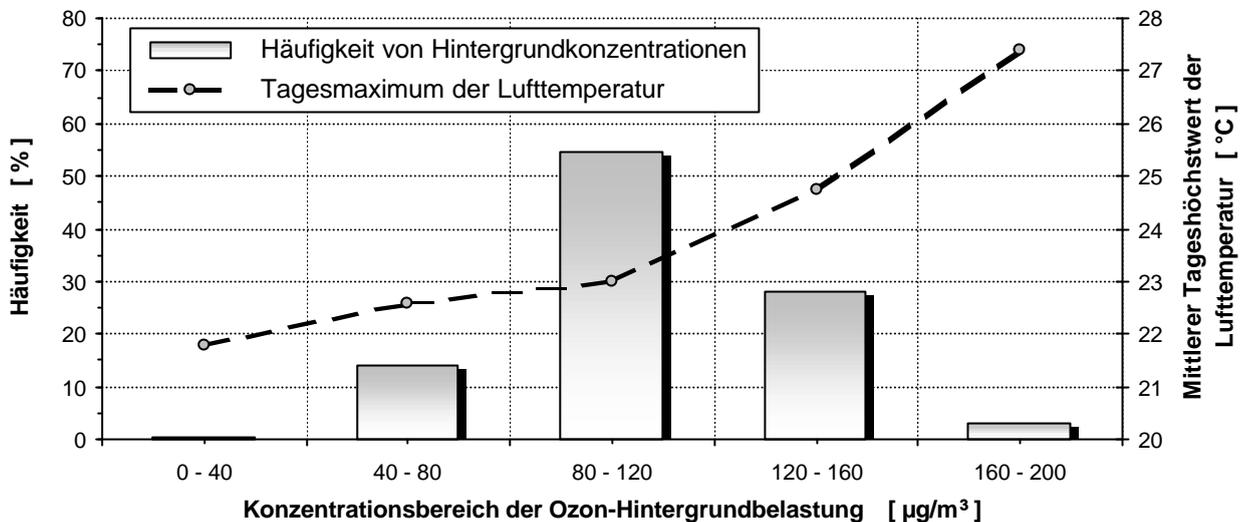


Abbildung 5.3

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 NO₂ 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.

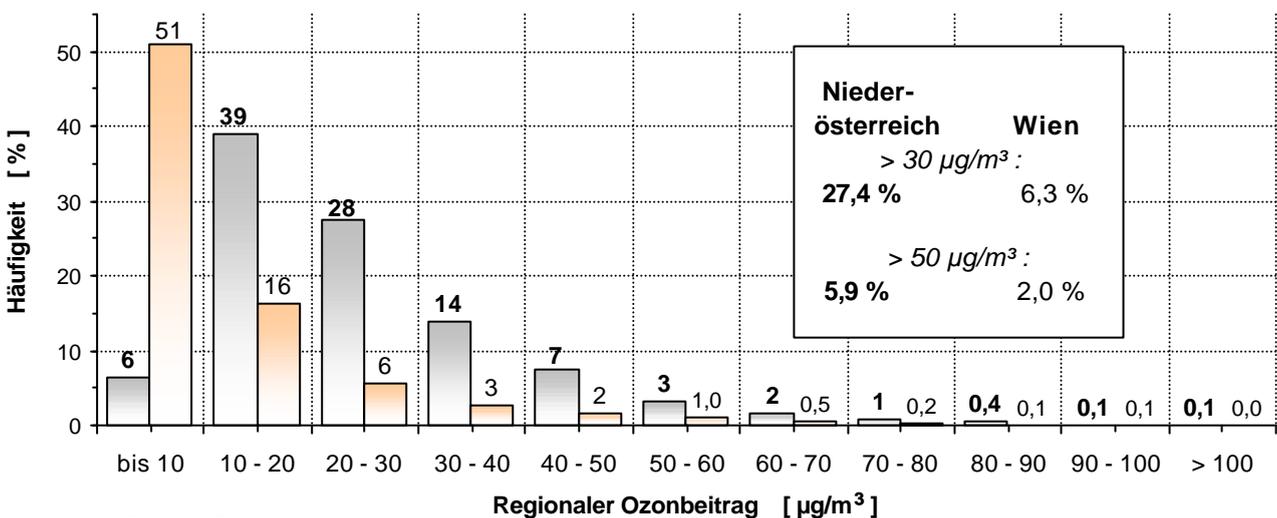


Abbildung 5.4

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.

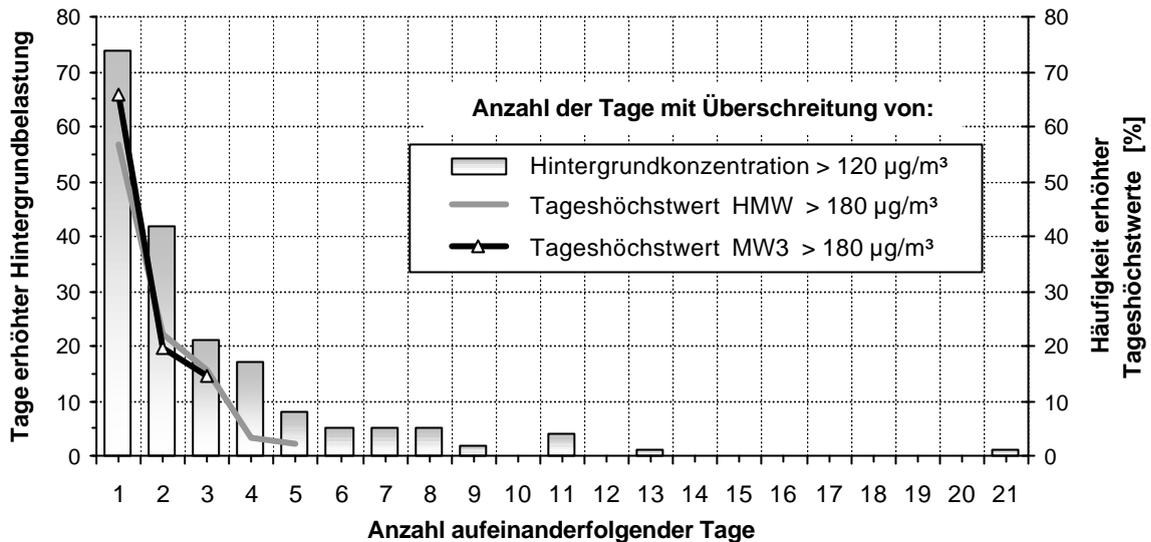


Abbildung 5.5

"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.

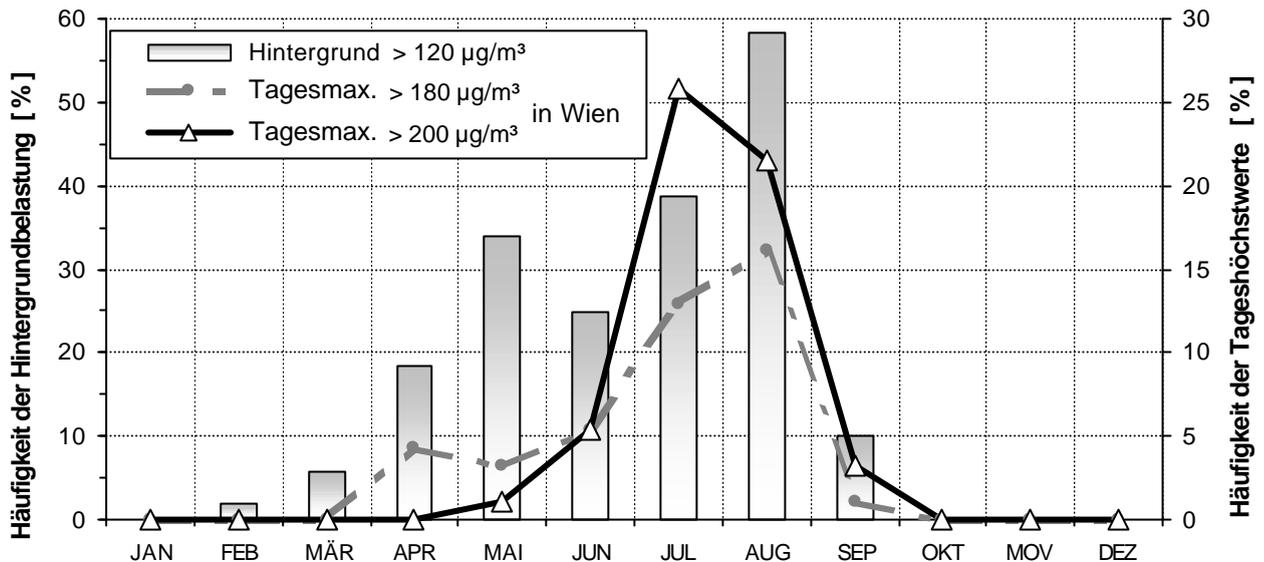


Abbildung 5.6

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

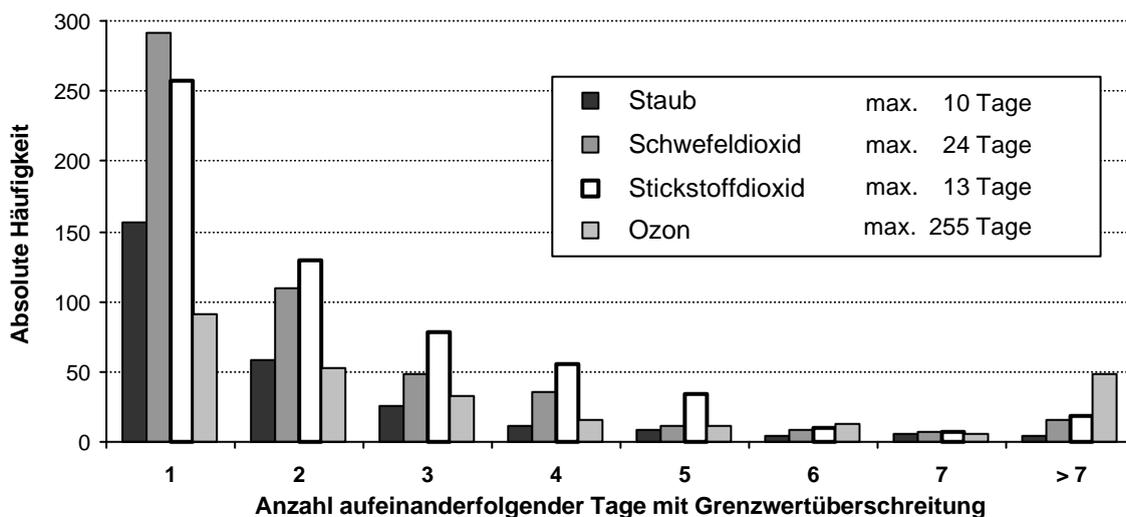


Abbildung 5.7

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 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 NO zu NO_2 ist allerdings stark temperaturabhängig, sodass zwar die höchsten NO -Konzentrationen im Winter, aufgrund der verringerten chemischen Reaktivität die höchsten NO_2 -Konzentrationen hingegen im Sommer erfasst werden.
- ⇒ Bezüglich Ozon ist im Stadtgebiet von Wien üblicherweise über das gesamte Sommerhalbjahr der Vegetationsschutz nicht gewährleistet.

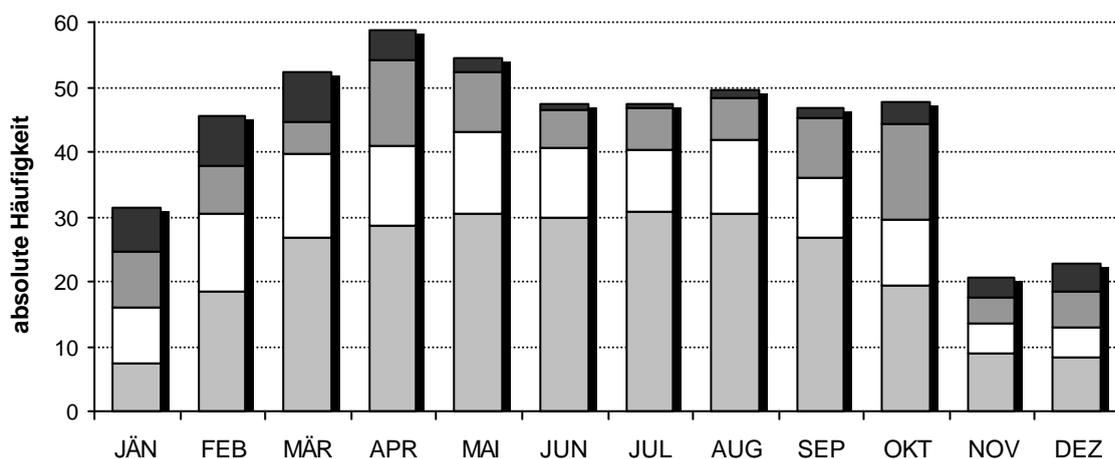
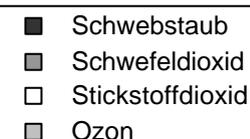


Abbildung 5.8

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 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.

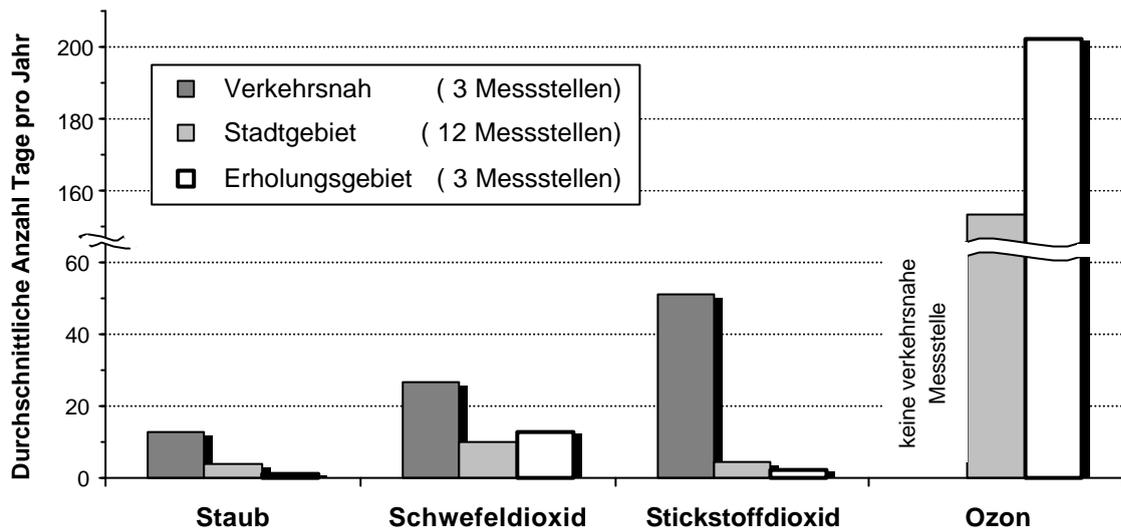


Abbildung 5.9

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)¹. Beim 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 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.

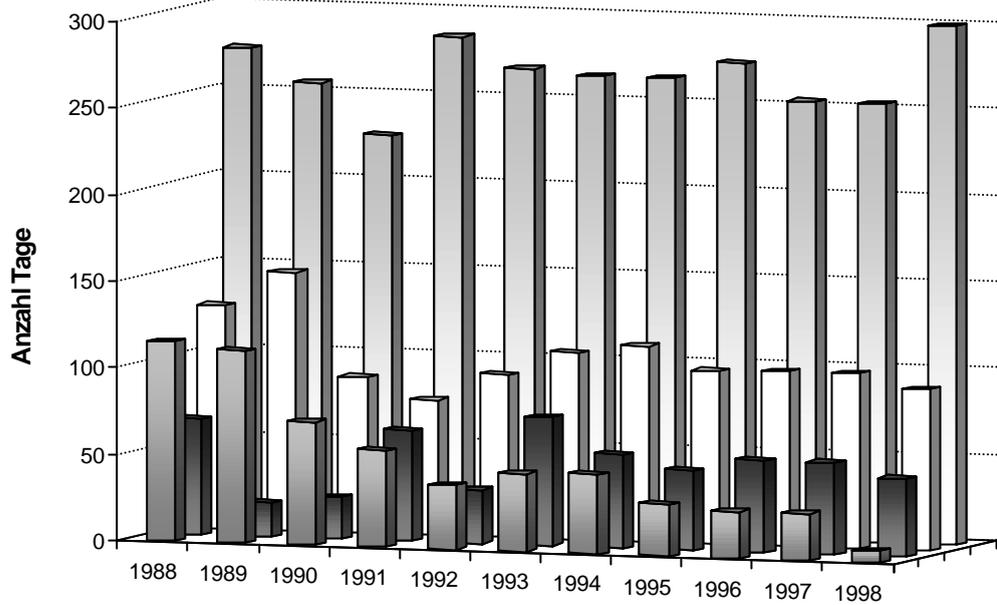


Abbildung 5.10

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



¹ 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 (NO₂) 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 SO₂-, Staub,- 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 g/m ³)
7MW	Siebenstundenmittelwert von 9-16 Uhr in der Vegetationsperiode April bis Oktober
CO	Kohlenmonoxid
HMW	Halbstundenmittelwert
JMW	Jahresmittelwert
mg/m^3	Milligramm pro Kubikmeter Luft (entspricht 0,001 g/m ³)
MW1	Gleitender Einstundenmittelwert
MW3	Gleitender Dreistundenmittelwert
MW8	Gleitender Achtstundenmittelwert
NO _x	Stickoxide; Summe der Luftschadstoffe Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO ₂)
O ₃	Ozon
ÖAW	Österreichische Akademie der Wissenschaften
ppb	parts per billion, entspricht 10 ⁻⁹ Volumsteile oder 1 mm ³ Luftbeimengung pro m ³ Luft
ppm	parts per million, entspricht 10 ⁻⁶ Volumsteile oder 1 cm ³ Luftbeimengung pro m ³ Luft
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 ₂ 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

Abbildung 1.1	Luftgütemessstellen im Stadtgebiet von Wien Wien sowie stadtnahe Messstellen der Niederösterreichischen Landesregierung (u.a. Spangl, 1995)	6
Tabelle 1.1	Lageinformationen zu den Luftgütemessstellen in Wien sowie Messziele gemäß gesetzlicher Verordnungen	8
Tabelle 1.2	Technische Daten der eingesetzten Messgeräte	7
Tabelle 1.3	Datenverfügbarkeit in den Jahren 1987-1998	9
Tabelle 2.1	Hauptverursacher von SO ₂ , NO _x - CO- sowie Staubemissionen, Hauptemissionsgebiete in Nordostösterreich, Anteil der Emittentengruppen an den Gesamtemissionen (Österreich), Auswahl an möglichen Gegenmaßnahmen:	12
Abbildung 2.1	a) Bilanz der Emissionen von Schwefeldioxid aus Verbrennungsvorgängen und Prozessen in Österreich für die Jahre 1980 bis 1997 (BMU, 1998) b) Entwicklung der NO _x -Emissionen im Verkehr in Österreich von 1950 bis 1996 (BMUJF, 1997)	13
Abbildung 2.2	Flächenhafte Verteilung der NO _x - 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)	15
Abbildung 2.3	Schema zur Ozonbildung aus O ₂ und NO ₂ unter Mitwirkung verschiedener organischer Verbindungen (Darstellung stark vereinfacht)	16
Abbildung 2.4	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.	17
Abbildung 2.5	Schema zur Bildung von Saurem Regen durch Oxidation bzw. Umwandlung von SO ₂ und NO ₂ zu Folgeprodukten unter Mitwirkung verschiedener Radikale bzw. Wassertröpfchen (Darstellung stark vereinfacht)	18
Tabelle 2.2	Umrechnungsfaktoren, Eigenschaften, Wirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Vegetation sowie anthropogene Quellen von Luftschadstoffen	20
Tabelle 2.3	Grenzwerte zum Schutz der Vegetation bzw. zum Gesundheitsschutz	19
Abbildung 2.6	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	22
Abbildung 2.7	Charakteristische Vertikalprofile der Primärschadstoff-Konzentrationen sowie der potentiellen Temperatur während einer winterlichen Inversionswetterlage	25
Abbildung 3.1	Häufigkeiten von NO-Konzentrationen an den Luftgütemessstellen in Wien, HMW der Jahre 1987 – 1998	26
Abbildung 3.2	Häufigkeiten von NO ₂ -Konzentrationen an den Luftgütemessstellen in Wien, HMW der Jahre 1987 – 1998	27
Abbildung 3.3	Häufigkeiten von SO ₂ -Konzentrationen an den Luftgütemessstellen in Wien, HMW der Jahre 1987 – 1998	28
Abbildung 3.4	Häufigkeiten von Schwebstaub-Konzentrationen an den Luftgütemessstellen in Wien, HMW der Jahre 1987 – 1998	29

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

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

	Anströmung aus jeweils einem der vier Windrichtungssektoren; Halbstundenmittelwerte aller Luftgütemessstellen in Wien und Niederösterreich der Jahre 1988 – 1997	69
Abbildung 4.15	Zeitliche Entwicklung der Häufigkeit von Spitzenbelastungen der SO ₂ -Konzentration in Wien und der jeweiligen Belastungssituation im östlichen bzw. nördlichen Niederösterreich (Grenzregion)	70
Abbildung 5.1	Zeitreihen der Ozon - Hintergrundkonzentration bzw. des 75%-Perzentils der Ozon – Tageshöchstwerte (MW3) in Nordostösterreich in den Jahren 1990 bis 1996	72
Abbildung 5.2	Zeitliche Entwicklung der Hintergrund - Ozonkonzentration sowie Temperaturentwicklung (aktueller Tageshöchstwert minus Maximum vom Vortag); Sommerhalbjahre 1990 – 1998	73
Abbildung 5.3	Häufigkeitsverteilung berechneter Ozon-Hintergrundkonzentrationen in Nordostösterreich (75%-Perzentil der Tageshöchstwerte (MW3) des gesamten Messnetzes); 1990 – 1997	74
Abbildung 5.4	Häufigkeit von Tagen mit maximalen regionalen Beiträgen zur Ozonbelastung in Niederösterreich bzw. Wien; Sommerhalbjahre (April – September) 1990 – 1998	75
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	76
Abbildung 5.6	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	77
Tabelle 5.1	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	78
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	79
Abbildung 5.8	Mittlere Häufigkeiten von Tagen mit Vegetationsschutz-Grenzwertüberschreitungen im Stadtgebiet von Wien; Datengrundlage 1987 bis 1998	80
Abbildung 5.9	Durchschnittliche Anzahl von Tagen mit Überschreitungen der Vegetationsschutz-Grenzwerte an charakteristischen Standorten im Stadtgebiet von Wien; Datengrundlage 1987-1998	81
Abbildung 5.10	Anzahl der Tage mit Überschreitungen des Vegetationsschutz-Grenzwertes in Wien in den Jahren 1988 bis 1998	82