



universität  
wien

# DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

Ozonvariabilität des ostösterreichischen Raumes

Verfasser

Beil Peter

angestrebter akademischer Grad

Magister der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Wien, 2013

Studienkennzahl lt. Studienblatt:

A 415

Studienrichtung lt. Studienblatt:

Diplomstudium Meteorologie

Betreuerin / Betreuer:

O. Univ.-Prof. Dr. Reinhold Steinacker



## Zusammenfassung

Der Einfluss meteorologischer Parameter auf die Bildung erhöhter bodennaher Ozonkonzentrationen wurde untersucht. Die Ergebnisse wurden zur Suche nach Tendenzen in der Ozonbildung benutzt.

In Österreich gibt es seit 20 Jahren operationelle Messungen von bodennahem Ozon. Diese Daten aus der Datenbank Airbase (EU) sowie einige Daten des Umweltbundesamtes (UBA), waren, neben den meteorologischen Datensätzen der ZAMG, die Grundlage des zu untersuchenden Datenbestandes.

Die Beschränkung des Gebietes auf Wien, Niederösterreich und Nordburgenland erfolgte auf der Beobachtung, dass die Häufigkeit des Auftretens hoher Ozonkonzentrationen in diesem Gebiet höher liegt als in den anderen Teilen Österreichs. In diesem Gebiet mit unterschiedlicher Topografie wurden 7 Ozonmessstationen mit 9 NO<sub>2</sub>-Stationen und 13 meteorologischen Stationen untersucht. Das Gebiet umfasst die urbanen Zentren Wien, St. Pölten, Wr. Neustadt, Eisenstadt und die natürlichen Gebiete des Weinviertels, Marchfelds, Wiener Beckens, und Teile der Buckligen Welt und der Wachau.

Es galt die Gründe und Zusammenhänge des Entstehens hoher Ozonkonzentrationen und deren langfristige Variabilität in Verbindung mit meteorologischen Parametern und NO<sub>2</sub> zu untersuchen und zu verstehen. Wegen des charakteristischen Jahregangs von Ozonkonzentrationen, sind die Monate April bis September die Zeitspanne im Jahr, in der auf Grund der meteorologischen Gegebenheiten erhöhte Ozonkonzentrationen auftreten. Diese Perioden hoher Konzentrationen von Ozon sind im Wesentlichen durch die Eigenschaften einiger meteorologischer Parameter geprägt. Intensive Globalstrahlung und lang anhaltende Sonnenscheindauer mit hohen Temperaturen, ein schwaches Bodenwindfeld und charakteristische Windrichtungen zeichnen diese Perioden hoher Ozonkonzentration aus. Dabei ist bei allen Stationen eine regionale Charakteristik in der Änderung der Windrichtung in diesen Perioden feststellbar. Man erkennt eine zwei- bis dreitägige Aufbauphase, in der sich diese meteorologischen Bedingungen einstellen und die Ozonkonzentrationen steigen. Bleibt dieser Zustand weiter bestehen kommt es zu einem mehrtägigen Erreichen hoher Ozonkonzentrationen, die erst wieder durch die Veränderung der Wetterlage bzw. einer meteorologischen Komponente reduziert werden.

Um einen Anstieg der Ozonkonzentration zu ermöglichen, müssen alle untersuchten meteorologischen Parameter zusammenspielen und in einem gewissen Wertebereich liegen. Im Zuge dieser Arbeit wurden für die einzelnen Stationen Mindestwerte für jeden meteorologischen Parameter berechnet, die mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit zu einer O<sub>3</sub>-Konzentration über 180 µg/m<sup>3</sup> (bzw. 160 µg/m<sup>3</sup> für die Station Ternitz) führen können.

Die Variabilität der meteorologischen Parameter über den gesamten Beobachtungszeitraum zeigt, dass die Globalstrahlung, Temperatur und Sonnenscheindauer die statistisch deutlichsten Zusammenhänge mit der O<sub>3</sub>-Konzentration haben. Die Windparameter liefern trotz ihres engen Wertebereiches bei den Perioden hoher Ozonkonzentrationen keine aussagekräftigen Ergebnisse bei den Korrelationen über den gesamten Beobachtungszeitraum. Dies hat mit der hohen Variabilität und den nicht vorhandenen Tages- und Jahresgängen der Windparameter an manchen Stationen über längere Zeiträume zu tun.

Man sieht aus den relativen Häufigkeiten des Auftretens dieser meteorologischen Zustände mit hohen Ozonkonzentrationen, dass neben den meteorologischen Faktoren die chemische Komponente ein wesentlicher Faktor für höhere Konzentrationen des Ozons ist.

Die Konzentrationen der Vorläufersubstanzen, wie Stickoxide und flüchtige organische Verbindungen (VOC), sind eine wichtige Voraussetzung für die Bildung von hohen Ozonkonzentrationen. Bei den Analysen der Einzelfallstudien erkennt man die Abnahme der NO<sub>2</sub>-Konzentrationen während eines Ozonanstiegs, doch liefern die Untersuchungen keine aussagekräftigen Ergebnisse für die Konzentrationen des NO<sub>2</sub>, und es bedarf Messungen weiterer chemischer Parameter in der Luftchemie, um das chemische Ozonpotential der Luftmassen an den Messstationen zu erklären.

Bei der langfristigen Ozonvariabilität über die gesamte Periode von 21 Jahren lässt sich eine leicht steigende Tendenz von 1990 bis zum Jahr 2003 erkennen, danach ist eine fallende Tendenz bis zum Jahr 2010 feststellbar. Diese Tendenzen sieht man nicht in allen Monaten unseres Untersuchungsraumes (April - September). So zeigt sich vor allem ein Anstieg der Konzentrationen von April bis Juli, während die Monate August und September eine gleichbleibende Tendenz zwischen den beiden Dekaden aufweisen. Um längerfristige Entwicklungen innerhalb des Beobachtungszeitraumes zu erkennen, wurden

bei bestimmten Analysen die Daten des Extremjahres 2003 für die Berechnung ausgeschlossen. Dies zeigt allerdings auch, dass die untersuchte Periode von 21 Jahren zu kurz ist, um relevante klimatologische Aussagen über Trends zu machen.

Zusätzlich ist zu erkennen, dass sich die jahreszeitlichen Änderungen der Ozonvariabilität speziell in den Monaten April bis Juli zwischen den einzelnen Dekaden und über die ganze Periode zu einem hohen Prozentsatz auf die Veränderungen von Globalstrahlung und Sonnenscheindauer in dieser Zeitspanne rückführen lässt.

Bei den Windgeschwindigkeiten gibt es im gesamten Zeitraum eine ähnliche Tendenz wie bei Ozon. Die Resultate zeigen eine Zunahme der mittleren Windgeschwindigkeiten in den Jahren der ersten Dekade und eine Abnahme in der zweiten Dekade. Dies spricht allerdings eher für eine gegenläufige Tendenz als die Ergebnisse, die die Ozonkonzentrationen zeigen. Bei den Untersuchungen der kurzfristigen Ereignisse zeigt sich ein deutliches Signal zu sehr geringen Windgeschwindigkeiten an den Tagen höherer Ozonkonzentrationen. Diese unterschiedlichen Ergebnisse sind auf die hohe Variabilität der Windgeschwindigkeit in den Tages- und Jahresgängen zurückzuführen.

Der Rückgang des Stickstoffdioxids über die gesamte Periode lässt keinen Zusammenhang zu der Ozonvariabilität erkennen und zeigt wie komplex die Luftchemie zur Bildung von Ozon in den unterschiedlichen Gebieten ist. Hier ist der Einfluss der Windrichtung durch Advektion verschiedener Primärstoffe in die einzelnen regionalen Gebiete bemerkbar. Die Untersuchungen zeigen, dass die einzelnen Stationen regionale Eigenschaften gegenüber bestimmten Windrichtungen aufweisen, die zu hohen Ozonkonzentrationen führen.

## Summary

We investigated the influence of meteorological parameters on the formation of increased ground-level ozone concentration. The results were used to find trends in ozone formation.

There have been operational measurements of ground-level ozone in Austria for twenty years. The data from AirBase (EU), some data from the Environment Agency Austria (UBA) and the meteorological data sets from the Central Institution for Meteorology and Geodynamics of Austria (ZAMG) provide the basis for the database to be examined.

Since it has been observed that high ozone concentrations occur more frequently in Vienna, Lower Austria and the north of Burgenland than in other parts of Austria, the study focuses exclusively on this particular area. Seven ozone-monitoring stations with nine nitrogen dioxide monitoring stations and thirteen meteorological stations were investigated in these parts of Eastern Austria, which are distinguished by different topographies. This particular area comprises the urban centres of Vienna, St Pölten, Wiener Neustadt, Eisenstadt and the rural landscape of the Weinviertel, the Marchfeld, the Vienna Basin, and parts of the Bucklige Welt and the Wachau.

The aim was to analyse and to understand the reasons for and the relationship between the formation of high ozone concentrations and their long-term variability in connection with meteorological parameters and nitrogen dioxide. Due to the meteorological conditions it is from April to September that increased ozone concentrations occur. These periods of high concentrations are primarily characterized by characteristics of several meteorological parameters: intense global radiation, long-lasting sunshine duration with high temperatures, weak surface wind field, and characteristic wind directions. It is also notably that all stations display a regional characteristic regarding the change of wind direction during these periods. It starts with a building phase that lasts for two to three days and during which these meteorological conditions are set and the ozone concentrations increase. If these conditions persist, we face high ozone concentrations lasting several days and they can only be reduced by a change of weather or a meteorological component.

To enable the increase of the ozone concentration, all of the investigated meteorological parameters have to interact and are to be within a specific

codomain. In the course of this study we calculated for each individual station the minimum value of every single meteorological parameter that is most likely to result in an ozone concentration over the  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (or  $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in case of the Ternitz station).

Throughout the sample period the variability of the meteorological parameters shows that the global radiation, the temperature, and the sunshine duration are statistically most closely connected to the ozone concentration. Despite having a narrow codomain during periods of high ozone concentrations, wind parameters do not produce convincing results with correlations throughout the observation period. This instance results from the high variability and the missing daily and annual course of wind parameters at some stations for long periods of time.

Owing to the relative frequency of meteorological conditions with high ozone concentrations, it can be assumed that not only meteorological, but also chemical components are a major factor for high ozone concentrations.

The concentrations of precursors like nitrous gases and volatile organic compounds (VOC) are required for the formation of high ozone concentrations. The analyses of the single-case studies show a decrease of nitrogen dioxide concentrations during an increase of ozone. Nevertheless, these studies do not produce convincing results about nitrogen dioxide concentrations and we have to execute measurements of further chemical parameters in air in order to explain the chemical ozone potential of air masses at measuring stations.

It can be observed that there was a slightly increasing trend from 1990 to 2003 for long-term ozone variability during the entire period of 21 years. Thereafter a downward trend could be observed until 2010.

Such trends cannot be observed throughout all months of our sample period (April to September). There is an increase of concentrations especially from April to July whereas August and September show a constant trend between the two decades. In order to distinguish longer-term developments within the sample period, some analyses excluded the data of the extreme year 2003 from calculations. This instance also shows that the sample period of 21 years is too short to make relevant climatological statements about trends.

Additionally, we can see that the seasonal changes of ozone variability can be assigned to the changes in global radiation and sunshine duration, which

happen especially from April to July between the single decades and throughout the entire period.

Regarding wind velocities we can identify a similar trend for the entire period. The results show that there was an increase of average wind velocities during the first decade and a decrease during the second decade. This instance indicates a more contrary trend than the results regarding the ozone concentrations. The observations of short-term results show a trend to very low wind velocities on days of high ozone concentrations. The results vary due to the high variability of wind velocities during daily and annual courses.

The decrease of nitrogen dioxide throughout the entire period does not provide us with a connection to ozone variability and shows how complex air chemistry must be to form ozone in the various areas. We can see here that the influence of wind direction through advection of various raw materials at individual regional areas becomes evident. The tests show that every station has regional properties with respect to certain wind directions that lead to high ozone concentrations.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung</b>	9
<b>2 Grundlagen und Vorbetrachtungen</b>	12
2.1 Ozon	13
2.1.1 Bildungsmechanismen	15
2.1.2 Richtlinien, Gesetze und Grenzwerte	19
2.2 Ozon und Stickoxide (NO <sub>x</sub> )	20
2.3 Ozon und flüchtige organische Verbindungen (VOCs)	21
2.4 Ozon und meteorologische Einflüsse	23
2.4.1 Strahlung	24
2.4.2 Sonnenscheindauer	27
2.4.3 Wind	30
2.4.4 Deposition	32
2.5 Orographische Einflüsse	33
<b>3 Messstellen-Untersuchungsgebiet</b>	34
3.1 Auswahlkriterien	35
3.2 Ozonmessstellen	36
3.3 NO <sub>2</sub> -Messstellen	37
3.4 Meteorologische Messstellen	37
<b>4 Auswertung und Ergebnisse</b>	39
4.1 Datengrundlage und Datenaufbereitung	39
4.1.1 AIRBASE Datensatz	39
4.1.2 ZAMG Datensatz	42
4.1.3 Datenaufbereitung	43
4.2 Variabilität der Ozonkonzentration	44
4.2.1 Variabilität hoher O <sub>3</sub> -Tageskonzentrationen	45
4.3 Charakteristik von Perioden hoher O <sub>3</sub> -Tageskonzentration	49
4.3.1 O <sub>3</sub> -Perioden und die Variabilität der Sonnenscheindauer	49
4.3.2 O <sub>3</sub> -Perioden und die Variabilität der Globalstrahlung	52
4.3.3 O <sub>3</sub> -Perioden und die Variabilität der Windgeschwindigkeit	55
4.3.4 O <sub>3</sub> -Perioden und die Variabilität der Windrichtung	58

4.3.5 O <sub>3</sub> -Perioden und die Variabilität des Stickoxids NO <sub>2</sub>	62
4.4 Einzelfallstudien hoher Ozonkonzentrationen	65
4.4.1 Fallbeispiel Bergern / Dunkelsteinerwald (26.8. – 9.9.1997)	65
4.4.2 Fallbeispiel Wien Hohe Warte (15.6. – 29.6.2000)	75
4.4.3 Fallbeispiel Illmitz / Burgenland (14.7. – 28.7.2006)	84
4.5 Variabilität meteorologischer Parameter	94
4.6 Korrelationen der Parameter mit Ozon	105
4.6.1 Korrelationen über die Periode 1990 – 2010	105
4.6.2 Jahreszeitliche Korrelationen der Parameter	108
4.7 Die Jahrzehnte und längerfristige Variabilität der Parameter	117
4.7.1 Dekadische Änderungen der Ozonkonzentration	117
4.7.2 Dekadische Änderungen der Sonnenscheindauer	124
4.7.3 Dekadische Änderungen der Globalstrahlung	129
4.7.4 Dekadische Änderungen der Windparameter	132
4.7.4.1 Variabilität der Windgeschwindigkeit	133
4.7.4.2 Variabilität der Windrichtung	136
4.7.5 Längerfristige Veränderungen der NO <sub>2</sub> – Konzentrationen	140
4.8 Regionale Unterschiede der Stationen	143
<b>5 Schlussfolgerungen und Ausblick</b>	<b>145</b>
<b>6 Anhang</b>	<b>148</b>
<b>Anhang A:</b> Beschreibung der Stationen	148
<b>Anhang B:</b> Beschreibung der Programmmodule	152
<b>Anhang C:</b> Programmausgaben, Grafiken und Tabellen	155
<b>Anhang D:</b> Tabellen und Grafiken	159
Anhang D1: Mittelwerte und Standardabweichungen der meteorologischen Parameter in den Zeitperioden von 1, 3 und 15 Tagen	
Anhang D2: Anzahl meteorologischer Ereignisse aller Stationen	
Anhang D3: Abbildungsverzeichniss	
Anhang D4: Tabellenverzeichniss	
<b>7 Literaturverzeichniss</b>	<b>167</b>
<b>Cirriculum vitae</b>	<b>168</b>

## 1 Einleitung

Die Berichterstattungen über Klimawandel und Umweltkatastrophen der letzten Jahrzehnte haben die Bevölkerung in den industriell entwickelten Gebieten und Ballungszentren wesentlich sensibler gegen Umweltprobleme gemacht.

Besonders die Gefährdung der Umwelt und des Menschen durch den Eintrag von Schadstoffen wurde von einer breiten Öffentlichkeit wahrgenommen. So stehen heute Begriffe wie „Treibhauseffekt“, „Ozonloch“ und „Sommersmog“ als zentrale Begriffe in öffentlichen Umweltdiskussionen.

Zum ersten Mal wurde das Phänomen hoher Ozonkonzentrationen Mitte der 40er Jahre in Los Angeles beobachtet, weshalb es auch den Namen LA-Smog trägt (Hagen-Smit 1952, Finlayson und Pitts 1986). Dieses Phänomen, im allgemeinen Photo-Smog genannt, tritt in vielen Städten der Welt auf und beschränkt sich nicht nur auf urbane Gebiete. Umgebungsgebiete von Städten und Industriezonen, die in Bereichen von charakteristischen Abluffahnen dieser liegen, gelten ebenfalls als Gebiete mit hohem Ozonpotential. Wissenschaftlich gesehen bezeichnet Smog eine durch Emissionen verursachte Luftverschmutzung mit stark erhöhten Luftschadstoffkonzentrationen, die insbesondere in Großstädten infolge besonderer meteorologischer Bedingungen auftritt. Im allgemeinen Sprachgebrauch beschreibt er die Anwesenheit von Luftschadstoffen in gesundheitsschädlichen und sichtbeeinträchtigenden Konzentrationen.

Im Gegensatz zum Wintersmog (auch London-Smog genannt), der durch hohe Partikel- und  $\text{SO}_2$ -Konzentrationen in den Wintermonaten auftritt, hat der Photo-Smog in den wärmeren Jahreszeiten (April bis September) seine Saison. Er zeichnet sich durch die hohen Konzentrationen von Photooxidantien, wie Ozon, gasförmige Salpetersäure, Peroxid-Verbindungen (z.B.: Peroxidacethylnitrat, PAN), u.w., die durch photochemische Reaktionen aus Stickoxiden und organischen Verbindungen entstehen, aus.

Die meteorologischen Faktoren dieser Episoden sind windschwache Hochdruckwetterlagen mit intensiver und langer Sonneneinstrahlung, die von einer Inversion begleitet werden. Dadurch kann der Luftmassenaustausch mit Luftmassen oberhalb der Inversionshöhe nicht stattfinden und die vertikale Ausbreitung der Luftschadstoffe wird verhindert. Auf Grund der jahreszeitlich begrenzten Möglichkeiten hoher Ozonkonzentrationen wurden bei speziellen

Analysen der Konzentrationen eine zeitliche Einschränkung über die Monate April bis September vorgenommen.

Die ersten Arbeiten, die über die photochemische Produktion von Ozon gemacht wurden, stammten von Hagen-Smit (1952), Leighton (1961), Altshuler und Bufalini (1965, 1971) und Finlayson und Pitts (1976 und 1986). Zwei wichtige Faktoren erkannte man schon bald: Stickoxide sind Katalysatoren für die Oxydation von Kohlenwasserstoffen in der Atmosphäre und Kraftfahrzeuge sind eine wichtige Quelle für Stickoxide und Kohlenwasserstoffe. Im Laufe der Zeit stellte man fest, dass auch die Industrie (z.B.: Lösungsmittel) und Landwirtschaft ein wichtiger Produzent für Luftschadstoffe (flüchtige organische Verbindungen VOC) sind. Die chemischen Prozesse der Ozonchemie in den bodennahen Luftschichten wurden weitgehend analysiert. Forschungen bestätigen, dass die chemischen Prozesse von der Temperatur und zum Teil auch von der Photochemie (solare Einstrahlung) abhängig sind. Daraus ergibt sich die Wichtigkeit der meteorologischen Parameter Sonnenscheindauer und Globalstrahlung als Untersuchungsfaktoren. Wegen der bereits wissenschaftlich belegten Zusammenhänge der Temperatur mit den Reaktionen der Ozonchemie, wurden die Analysen der Temperaturdaten vorwiegend als Erklärung und Bestätigung für die Ergebnisse der anderen Parameter benutzt. Berücksichtigt man den Befund, dass die höchsten Konzentrationen von Ozon außerhalb der Ballungszentren gemessen werden, so lässt dies auf Transporte Rückschlüsse ziehen, die die Luftschadstoffe von ihrer Emissionsquelle in die benachbarten Gebiete transportieren. Dies bedingt auch die notwendige Untersuchung der Windstärke und Windrichtung in Verbindung mit den Analysen der Ozonkonzentrationen.

Die grundlegende Motivation und Problemstellung dieser Arbeit neben der Untersuchung der Ozonkonzentrationen und ihrer Variabilität ist das Verständnis der Gründe der Entstehung hoher Konzentrationen, als auch ihrer Kontrolle und ihres Abbaus, in Zusammenhang mit den meteorologischen Parametern. Es soll untersucht werden, ob die unterschiedlichen Parameter bei den Episoden hoher Ozonkonzentrationen ein charakteristisches Verhalten bzw. auch Unterschiede zwischen den Stationen aufweisen. Gibt es regionale Unterschiede im Hinblick auf die Lage und topographische Umgebung der Stationen?

Sowohl die kurzfristigen als auch langfristigen Änderungen und Zusammenhänge der einzelnen meteorologischen Parameter mit den Konzentrationen des Ozons sind wichtige Punkte dieser Arbeit. Die Auswahl der Parameter, die von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) in einem österreichweiten Messnetz ermittelt werden, wurden auf Grund der eben erwähnten physikalischen und chemischen Prozesse, die dem Ozon in der Atmosphäre widerfahren, getroffen. Neben der Sonnenscheindauer, Globalstrahlung und Temperatur wurden noch die Windgeschwindigkeit und Windrichtung als Parameter auf Grund der bisherigen Beobachtungen ausgewählt.

Operationelle Messungen von bodennahem Ozon werden seit über 20 Jahren in Österreich durchgeführt. Das Messnetz umfasst mittlerweile an die 200 Messstationen, die unterschiedliche Luftschadstoffe österreichweit messen. Bisherige Messungen und Studien ergaben, dass die größte Häufigkeit von Ozonüberschreitungen und höchsten Konzentrationen von Ozon in den Gebieten von Niederösterreich, Wien und dem Nordburgenland festgestellt wurden. Aus diesem Grunde wurde das Untersuchungsgebiet auf dieses Gebiet begrenzt und mittels ausgewählter Stationen sowohl räumlich als auch zeitlich abgedeckt.

Nach der Beschreibung der wesentlichen Grundlagen über die Entstehung von Ozon werden weitere grundlegende Zusammenhänge zwischen dem Ozon und den wichtigsten Vorläufersubstanzen  $\text{NO}_x$  und VOCs sowie den meteorologischen Parametern und orographischen Einflüssen beschrieben. In dem anschließenden Abschnitt werden die Auswahlkriterien der Messstationen und das Untersuchungsgebiet vorgestellt. In dem darauffolgenden Kapitel sind - neben der Beschreibung des Datenmaterials - die Ergebnisse der unterschiedlichen zeitlichen Analysen der Ozonkonzentrationen und der einzelnen Parameter sowie Episoden hoher Konzentrationen von Ozon in Einzelfallstudien wiedergegeben. Ein weiterer Teil dieses Kapitels zeigt die statistischen Zusammenhänge zwischen den Parametern und den Ozonkonzentrationen auf. Den Abschluss bilden anschließend die regionalen Unterschiede zwischen den Ergebnissen der Stationen. In dem abschließenden Abschnitt folgen eine Zusammenfassung der Ergebnisse und ein Ausblick in die nähere Zukunft auf Basis der Ergebnisse und der derzeitigen Wissenslage.

## 2 Grundlagen und Vorbetrachtungen

Freigesetzte Stoffe sind in der Atmosphäre Prozessen sowohl chemischer als auch physikalischer Natur ausgesetzt, und können diese auch auslösen.

Während sie durch die Bewegungen der Luftmassen transportiert werden, können Gasmoleküle in der Gasphase chemischen Reaktionen mit anderen Luftteilchen ausgesetzt sein oder von einem Partikel oder Tröpfchen absorbiert werden und dort chemisch reagieren. Es können sowohl Transporte in die freie Atmosphäre und Stratosphäre stattfinden als auch zur Erdoberfläche, wo die freigesetzten Partikel mit der dortigen Biosphäre reagieren, diffundieren oder abgelagert werden. Wassermoleküle können Partikel wachsen lassen und durch Wassertropfen können sie aus der Atmosphäre ausgewaschen werden („wash out“, „rain out“).

Luftschadstoffe werden auf Grund der Art ihrer Einbringung in die Atmosphäre in primäre und sekundäre Luftschadstoffe unterteilt. Primäre Schadstoffe werden direkt in die Luft eingebracht, während sekundäre Schadstoffe erst durch Umwandlung oder chemische Reaktionen primärer Schadstoffe gebildet werden. Ozon gehört zu der Gruppe der sekundären Luftschadstoffe, da es aus den primär emittierten Vorläufersubstanzen, den Stickoxiden und den organische Verbindungen mit Sauerstoff gebildet wird. Seit dem Erkennen des „Sommer-SMOG“, und damit der wichtigsten chemischen und meteorologischen Ursachen, versuchte man festzustellen, bei welcher der Vorläufersubstanzen eine Reduktion am effektivsten ist, um die Bildung von Ozon zu reduzieren. Der Einfachheit halber werden die Vorläufersubstanzen in zwei Gruppen, Stickoxide und gasförmige organische Verbindungen (VOC), eingeteilt. Ein wesentlicher Vorteil für diese Aufteilung ist, dass die photochemische Bildung der Stoffe in zwei Regime aufgeteilt werden kann (Seinfeld, 1989). In einem Regime wird die Bildung von Ozon hauptsächlich von der Verfügbarkeit der Stickoxide, im anderen von der Verfügbarkeit der organischen Verbindungen geregelt.

Der Auslöser der chemischen Reaktionen ist die elektromagnetische Strahlung der Sonne, und hier besonders der ultraviolette Anteil. Sie greift durch die Bildung von Radikalen bei den photolytischen Reaktionen in die Reaktionsketten der Ozonbildung ein. Auch die Lufttemperatur ist ein weiterer wichtiger Faktor, da sie die Reaktionsgeschwindigkeiten der chemischen

Umwandlungen beeinflussen und die biogenen Emissionen von Primärstoffen verstärken kann. Die für die photochemische Bildung von Ozon notwendigen Vorläufersubstanzen der Stickoxide  $\text{NO}_x$  ( $\text{NO}$  und  $\text{NO}_2$ ), organischen Verbindungen und Kohlenmonoxid, werden aus biogenen und anthropogenen Quellen in die Atmosphäre eingebracht.

Natürliche (biogene) Quellen von Luftschadstoffen, wie Stickstoffmonoxid ( $\text{NO}$ ), können durch anthropogenen Einfluss verstärkt werden. Das durch Bakterien im Boden gebildete  $\text{NO}$ , das anschließend in die Atmosphäre ausgegast wird (Ludwig et al., 2000), kann zum Beispiel durch Stickstoffdüngung verstärkt werden. Die Emission biogener Kohlenwasserstoffe, die durch photosynthetische Prozesse von Pflanzen und Bäumen gebildet werden, sind stark von der Pflanzenart, Temperatur und der solaren Einstrahlung abhängig (Simpson et al., 1999; Guenther et al., 2000). Die anthropogen erzeugten Primärstoffe werden zu einem großen Teil durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe emittiert. Die wichtigsten Quellen dafür sind Verkehr, Industrie und Hausbrand (Obermeier et al., 1995).

Der Tagesgang gesellschaftlichen Lebens von Menschen bestimmt die zeitlichen und räumlichen Verteilungen der Emissionen, und führt so zu einem charakteristischen Tages-, Wochen- und Jahresgang der meisten Emissionen. So zeigt der jahreszeitliche Energiebedarf zum Heizen aus den verschiedensten Heizanlagen einen Jahresgang mit einem emissionsstarken Winter und einem nahezu emissionsfreien Sommer.

## **2.1 Ozon**

1840 entdeckte der deutsch-schweizerische Chemiker und Physiker Christian Friedrich Schönbein die Substanz Ozon. Ozon ist eines der wichtigsten Spurengase in der Atmosphäre und besteht aus drei Sauerstoffatomen (chemische Formel  $\text{O}_3$ ). Es ist eine stark oxidativ wirkende Substanz, die von allen photochemischen Oxidantien die höchsten Konzentrationen in der unteren Troposphäre aufweist. Ozon ist ein giftiges, farbloses Gas, das chemisch sehr reaktiv ist. Es gehört zu der Gruppe der Treibhausgase und trägt somit zur Erwärmung der Erdatmosphäre bei.

In hohen Konzentrationen ist es direkt und indirekt (Modifikation vieler anderer Stoffe) für Menschen, Tiere, Pflanzen und Materialien schädlich (Lütz, 1996). Überhöhte Ozonkonzentrationen können beim Menschen Reizungen der Atemwege, sowie Kopfschmerzen, Husten und Atembeschwerden hervorrufen, die bis zu Einschränkungen der Lungenfunktion führen und Lungenkrankheiten auslösen können. Je nach Aufenthaltsdauer und körperlicher Belastung in der ozonbelasteten Luft kann das Ausmaß der Erkrankung variieren (Magnussen und Jörres, 1996; Dierkesmann und Sandermann 2000). Nachdem die Episoden hoher Ozonkonzentrationen immer in Begleitung hoher Konzentrationen anderer Substanzen einhergehen, konnte man den alleinigen Einfluss von Ozon auf das körperliche Wohlbefinden bei realen Bedingungen nicht bestimmen. Reizerscheinungen an Augen und Schleimhäuten sowie Befindlichkeitsstörungen werden vor allem durch Begleitstoffe des Ozons hervorgerufen. Weiters ist bekannt, dass die Beeinträchtigung jedes einzelnen Menschen von der Dauer der Exposition, der körperlichen Aktivität und der individuellen Empfindlichkeit abhängt (Kappus 1995).

In der Erdatmosphäre kommt Ozon in zwei Schichten in konzentrierter Form vor und weist eine starke Höhenabhängigkeit auf. In der Stratosphäre in einer Höhe von ~20 km schützt eine natürliche Ozonschicht die Erdoberfläche vor der schädlichen Ultraviolettstrahlung der Sonne. In dieser Schicht befinden sich ~90% des gesamten Ozons der Erdatmosphäre. In Bodennähe kommt Ozon ebenfalls in geringen Konzentrationen natürlich vor. Zusätzlich wird aber durch Reaktionen von Luftverunreinigungen, die zum überwiegenden Teil aus menschlicher Aktivität kommen, Ozon gebildet. Im Vergleich zu den Stickoxiden  $\text{NO}_x$  hat Ozon eine längere Aufenthaltsdauer in der Atmosphäre.

Ozon zeigt in seinen Veränderungen einen charakteristischen Tagesgang und auch eine jahreszeitliche Variabilität der Ozonkonzentrationen. Der Tagesgang weist einen Anstieg während der Vormittags- und Mittagsstunden auf und hat sein Maximum mit einer zeitlichen Verzögerung von 2-3 Stunden zum Sonnenhöchststand (zw. 14 – 17 h). Die zeitlichen Verschiebungen treten infolge des Aufbaues der chemischen Reaktionsketten der Vorläufersubstanzen auf. Danach kommt es zu einer Abnahme der Konzentrationen, die sich im Normalfall bis in die Morgenstunden zieht. Nachts wird Ozon entweder durch Reaktionen mit Stickoxiden und Alkenen abgebaut,

an der Erdoberfläche oder der Vegetation deponiert, oder auf Grund von Inversionslagen in einer Reservoirschicht gespeichert.

Aus der jahreszeitlichen Veränderung der Ozonkonzentration ist zu erkennen, dass in der Zeitspanne von April bis September alle notwendigen meteorologischen Voraussetzungen erfüllt sind, um erhöhte Ozonkonzentrationen auftreten lassen zu können.

Wenn man sich die Regionen ansieht, in welchen die höchsten Ozonwerte auftreten, so sind diese paradoxerweise nicht bei den Quellen der Vorläufersubstanzen, sondern eher am Stadtrand und in den angrenzenden ländlichen Gebieten. Das liegt daran, dass Stickstoffmonoxid (NO), das über die Autoabgase ausgestoßen wird, mit Ozon reagiert und es zerstört. Dadurch wird Ozon abgebaut, so dass die Ozonbelastung in Innenstädten deutlich niedriger ist. Auf der anderen Seite können die Vorläufersubstanzen mit der bodennahen Windströmung aus den Städten heraus transportiert werden und ermöglichen so, entfernt von den Ursprungsquellen der Substanzen, die Bildung höherer Ozonkonzentrationen.

### **2.1.1 Bildungsmechanismen**

Ozon wird als sekundärer Luftschadstoff bezeichnet, was bedeutet, dass es nicht direkt freigesetzt wird, sondern bei intensiver Sonneneinstrahlung und hohen Temperaturen durch komplexe photochemische Prozesse aus Vorläufersubstanzen, überwiegend Stickstoffoxiden und flüchtigen organischen Verbindungen, gebildet wird.

Im Gegensatz zu den primären Luftschadstoffen wie CO, NO, SO<sub>2</sub> und organischen Stoffen (mit der Ausnahme von Aldehyden), spielen NO<sub>2</sub> und Ozon eine wichtige Rolle als Absorber solarer Strahlung, von Wellenlängen, die in der unteren Atmosphäre vorherrschend sind. NO<sub>2</sub> hat in dem Bereich zwischen 290 – 420 nm eine Absorption von 90% aller Moleküle mit der daraus folgenden Dissoziation in NO und O. Auch im ultravioletten Bereich besitzt NO<sub>2</sub> Absorptionsbanden im Bereich von 200 – 250 nm. Das Absorptionsspektrum von Ozon erstreckt sich vom UV-Bereich mit Wellenlängen ≤ 315 nm bis hin zum Infrarotbereich im Bereich von 780 – 1200 nm. Ozon wird in der Troposphäre ausschließlich über die Reaktion von O<sub>2</sub> mit O gebildet. O ist ein

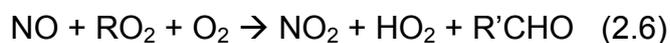
Sauerstoffatom das im photochemischen Zyklus von NO<sub>x</sub> (Summe von NO und NO<sub>2</sub>) und O<sub>3</sub> bei der Photolyse entsteht.



$h\nu$  steht für die kurzwellige Sonnenstrahlung und M repräsentiert N<sub>2</sub> oder O<sub>2</sub> oder ein anderes drittes Molekül das die abgegebene Energie aufnimmt und somit das O<sub>3</sub>-Molekül stabilisiert. Berücksichtigt man nur die drei Gleichungen 2.1 – 2.3 und nimmt man zusätzlich das photostationäre Gleichgewicht dieser Substanzen an, so kann man sich die einstellende Ozonkonzentration aufgrund der chemischen Umwandlungen ausrechnen.

$$[\text{O}_3] = \frac{J_1[\text{NO}_2]}{K_3[\text{NO}]} \quad (2.4)$$

$J_1$  ist die Frequenz der Photolyse von Gleichung 2.1, und  $K_3$  bezeichnet die Reaktionsgeschwindigkeitskonstante der Gleichung 2.3 (Leighton, 1961). Nur durch die Reaktionen des photostationären Gleichgewichtes können die auftretenden hohen Konzentrationen von Ozon nicht erklärt werden. Aus diesem Grund muss ein weiterer Mechanismus in diesen Reaktionszyklus eingreifen, der das NO zu NO<sub>2</sub> oxidiert ohne dabei das Ozon zu zerstören. Dies geschieht mit Hilfe von Peroxyradikalen, die mit dem NO Reaktionen eingehen (Glg. 2.5 + 2.6). Dadurch kommt es zu einer starken Abhängigkeit der Ozonkonzentration von der Konzentration der Peroxyradikalen.

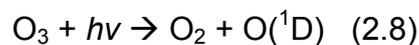


Aus den Reaktionen von VOCs (flüchtige Kohlenwasserstoffe, **V**olatile **O**rganic **C**ompounds) mit OH (Hydroxylradikal), sowie in geringerem Maße aus der Photolyse der VOCs und der Reaktion der VOCs mit Ozon entstehen die Peroxyradikale HO<sub>2</sub> und RO<sub>2</sub>. An Hand dieser Reaktionsketten sieht man, weshalb die VOCs als Vorläufersubstanz für Ozon angegeben werden. Reagieren Peroxyradikale miteinander, so entstehen Peroxide, die chemisch sehr träge sind und nur langsam mit OH reagieren. So wird für die

Peroxyradikale eine Senke ihrer Konzentrationen gebildet. Die durch den VOC-Abbau gebildeten Peroxyradikale reagieren wieder mit NO (Glg. 2.5+2.6) und fördern somit wieder die Ozonbildung. Nebenbei werden über die Oxidation von Kohlenmonoxid wiederum Hydroperoxyradikale gebildet (Glg. 2.7).

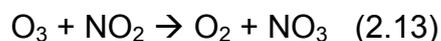
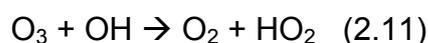
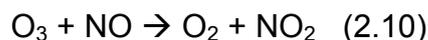


Die Peroxyradikale werden zum größten Teil über die Oxydation der VOCs mit den Hydroxylradikalen OH gebildet. Die Photolyse von Ozon (Glg. 2.8) bei Wellenlängen <310 nm mit der anschließenden Reaktion des freien angeregten Sauerstoffatoms mit Wasserdampf (Glg. 2.9) bildet die Hauptquelle der Hydroxylradikale (OH).



Es gibt daneben noch weitere Quellen für OH, wie die Photolyse von salpetriger Säure und von Peroxiden, sowie die Reaktion von NO mit HO<sub>2</sub> (Glg. 2.5) und andere.

Neben den Quellen von Ozon gibt es natürlich auch Reaktionen, die die Konzentrationen von Ozon senken, wie die Photolyse von Ozon (Glg. 2.8). Der Vollständigkeit halber werden die wichtigsten neben der eben genannten hier aufgelistet, mit denen der Abbau von Ozon in der Gasphasenchemie der Troposphäre beschrieben wird.



Bei den Alkenen sind sowohl die anthropogen (Ethen, Propen, Buten) als auch die biogen (Isopren, Monoterpene) emittierten Stoffen gemeint. Die Bezeichnung RO<sub>2</sub> steht für alle Peroxyradikale und als Rest sind andere Substanzen zusammengefasst. Bei allen Reaktionen, bei denen Ozon abgebaut wird, entstehen Stoffe, die wiederum bei den Reaktionen zur Ozonbildung eine wesentliche Rolle spielen. Sie sind nur Teile einer Reaktionskette, bei denen Ozon gebildet und zerstört wird. Zusammenfassend

kann die Bildung von Ozon, bei ungestörten meteorologischen Bedingungen und vorhandenen Konzentrationen der Vorläufersubstanzen, als ein Kreislauf mit ineinandergreifenden Prozessen gesehen werden.

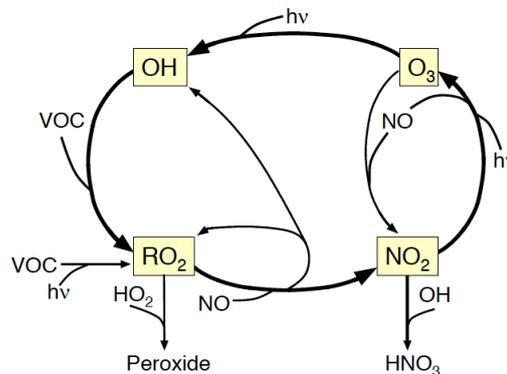


Abb.: 2.1: Schema der Ozonbildung bei ungestörter solarer Einstrahlung und ausreichenden Konzentrationen von Vorläufersubstanzen. Die VOC beinhalten auch den Stoff CO, RO<sub>2</sub> steht für HO<sub>2</sub> und organische Peroxylradikale [M.U.Hammer, 2001]

Bleiben die chemischen und meteorologischen Bedingungen bestehen, so laufen die Prozesse kontinuierlich in diesem Kreislauf weiter, bis sie durch eine Änderung der notwendigen Bedingungen abgebrochen werden. Dies ist in urbanen Gebieten mit hohen Stickoxidkonzentrationen der Fall, wo die Reaktionskette des photostationären Gleichgewichtes zwischen NO<sub>2</sub>, NO und Ozon durch diese hohen Konzentrationen zu einem Ozonabbau führt. Die Reaktionen zwischen O<sub>3</sub> und NO führen rascher zu einem NO<sub>2</sub>-Anstieg als das NO<sub>2</sub> durch die Photolyse wieder abgebaut wird. Infolge dessen werden weniger Radikale auf Grund der geringen Ozonkonzentration gebildet, was das Ozonbildungspotential stark heruntersetzt. Werden in Folge von Strömung die Konzentrationen verfrachtet, so senkt sich die NO-Konzentration durch die chemischen Prozesse und die turbulente Diffusion in der Luft, und das NO<sub>2</sub> steht für die Ozonbildung zur Verfügung. Um einen zeitlichen Verlauf der Ozonkonzentration an einem bestimmten Ort erklären zu können, müssen somit neben der Globalstrahlung, Sonnenscheindauer und Temperatur, auch die statische Stabilität sowie Windrichtung und -geschwindigkeit berücksichtigt werden. Dazu spielt der Zeitraum, der für die Bildung von Ozon und anderen sekundären Luftschadstoffen zur Verfügung steht, für die Konzentrationen und deren Akkumulation eine wichtige Rolle.

Die Gesamtmenge an Ozon in der Atmosphäre über einem Ort wird pro Flächeneinheit in Dobson-Einheiten angegeben. Die Konzentrationen von Ozon werden meistens als Mischungsverhältniss in ppm (parts per million), ppb (parts

per billion), oder ppt (parts per trillion), angegeben, welches mit einem nachgestellten v auf Volumen bezogen wird. Eine weitere Möglichkeit ist die SI-konforme Angabe als Dichteeinheit in  $\text{mg}/\text{m}^3$  oder  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Masse / Volumen). Die Umrechnung (Glg. 2.15) zwischen den beiden Einheiten erfolgt über die molare Masse und das molare Volumen, das sich über die Gasgleichung berechnen lässt.

$$\text{ppm} = \text{mg}/\text{m}^3 \cdot \frac{V_m}{m_m} \quad (2.15)$$

$V_m$  ... molares Volumen [ l/mol ]

$m_m$ ... molare Masse [ g/mol ]

Berechnung des molaren Volumens aus der Gasgleichung:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad \text{bzw.} \quad p \cdot V_m = R \cdot T$$

p ... Druck 1013,25 hPa

n ... Stoffmenge

R ... universelle oder molare Gaskonstante 8,314472 J/Kmol

T ... Referenztemperatur [K] = T[°C]+273,15

Daraus ergibt sich ein molares Volumen bei 20°C von 22,414 l/mol.

Die molare Masse ergibt sich aus den Elementen der Verbindung. Ein Sauerstoffatom besitzt eine molare Masse von 16 g/mol was in Summe für Ozon eine molare Masse von 48 g/mol ausmacht. Das ergibt zwischen den Einheiten ppm und  $\text{mg}/\text{m}^3$ , bzw. ppb und  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , einen Umrechnungsfaktor von 2 (1 ppm = 2  $\text{mg}/\text{m}^3$ ) bei Standardbedingungen.

## 2.1.2 Richtlinien, Gesetze und Grenzwerte

Zum Schutz vor gesundheitlichen Schäden für den Menschen und die Umwelt wurden bundesweite Gesetze zur Reinhaltung der Luft beschlossen. Im Immissionsschutzgesetz-Luft (IG-L)<sup>1</sup> sind die Richtlinien und Grenzwerte für die unterschiedlichen Schadstoffe definiert. Ein für Ozonkonzentrationen spezielles Ozongesetz (OzonG)<sup>2</sup> regelt die Informations- und Warnwerte für Menschen und Vegetation. Werden an irgendeiner Messstation im Untersuchungsgebiet Nordostösterreich diese Werte überschritten, so muss die Bevölkerung in

<sup>1</sup> BGBl. I Nr. 115/1997, BGBl. I Nr. 62/2001, BGBl. I Nr. 34/2003

<sup>2</sup> BGBl. Nr. 92/1992, BGBl. Nr. 309/1994, BGBl. I Nr. 115/1997, BGBl. I Nr. 108/2001, BGBl. I Nr. 34/2003

diesen Gebieten möglichst rasch informiert werden. Diese Informationen geben Hinweise über das betroffene Gebiet, die gefährdeten Personengruppen und die zu unterlassenen Aktivitäten im Freien.

Der Informationsschwellwert ist mit einem Einstundenmittelwert von  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , der Alarmschwellwert mit einem Einstundenmittelwert von  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  festgelegt. Zum dauerhaften Schutz vor Gesundheitsschäden wurde ein Zielwert für Ozon gemäß Ozongesetz von  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  als höchster 8h-Mittelwert eines Tages festgelegt. Dieser Zielwert ist ab 2010 gültig, und darf von 2010 bis 2020 im Mittel über 3 Jahre an höchstens 25 Tagen überschritten werden. Ab dem Jahr 2020 sind keine Überschreitungen mehr zulässig (OzonG).

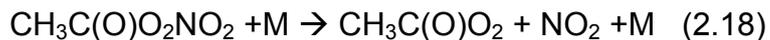
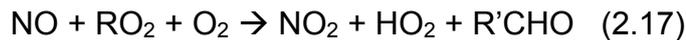
## 2.2 Ozon und Stickoxide ( $\text{NO}_x$ )

Die Oxide des Stickstoffs  $\text{NO}$  und  $\text{NO}_2$  spielen eine wesentliche Rolle in der Luftchemie der Luftschadstoffe. Ihre Hauptquellen sind die Verbrennung von Kraftstoffen im Verkehr (Straßenverkehr), in der Industrie und der Hausbrand.  $\text{NO}_2$  entsteht vorwiegend durch die Reaktion des bei der Verbrennung von Kraftstoffen ausgestoßenen Stickstoffmonoxids  $\text{NO}$  mit dem Sauerstoff der Atmosphäre (Glg. 2.16).

Die wichtigsten Faktoren, die die Menge an ausgestoßener  $\text{NO}$ -Konzentration beeinflussen, sind die Temperatur der Verbrennung, der  $\text{O}_2$ -Gehalt, die Treibstoffart und die darin enthaltenen stickstoffhaltigen Bestandteile bzw. molekularen  $\text{N}_2$ .

$\text{NO}_2$  reagiert mit Strahlung in selektiven Frequenzbereichen von 290 – 420nm (Baulch et al., 1982; DeMore et al., 1982). Das sind Teilbereiche des UV-Lichtes und der blaue Bereich des sichtbaren Lichtspektrums.

Die Photolyse von  $\text{NO}_2$  ist ein wesentlicher Prozess für die Bildung von Ozon. Die Produktionsrate von Ozon hängt somit neben der Strahlung in dem notwendigen Frequenzbereich auch von der Höhe der  $\text{NO}_2$ -Konzentration und ihren Quellen und Senken ab. Zu den Quellen zählen, neben den bereits erwähnten, die Oxidation von  $\text{NO}$  durch Ozon (Glg. 2.10) und Peroxyradikale (Glg. 2.16 und 2.17), sowie der thermische Zerfall von Peroxyacetylnitrat (PAN, Glg. 2.18).



Der Abbau von  $\text{NO}_2$  erfolgt durch die bereits in Gleichung 2.1 beschriebene Photolyse, durch trockene Deposition, Reaktionen mit OH sowie bei der Bildung von PAN. Auf Grund der ständigen Umwandlungen von NO und  $\text{NO}_2$  durch Strahlung, Ozon und Radikale werden die beiden Substanzen als  $\text{NO}_x$  zusammengefasst.

Alle in der Atmosphäre befindlichen reaktiven Stickstoffverbindungen werden als  $\text{NO}_y$  zusammengefasst. Dazu gehören die aus den beiden Substanzen NO und  $\text{NO}_2$  gebildeten Stoffe  $\text{HNO}_2$  (salpetrige Säure),  $\text{HNO}_3$  (Salpetersäure),  $\text{HNO}_4$  (Peroxosalpetersäure),  $\text{NO}_3$  (Nitrat),  $\text{N}_2\text{O}_5$  (Distickstoffpentoxid), PAN und andere organische Nitrate.

Für die photochemische Bildung von Ozon ist eine minimale Konzentration von NO in den unteren Luftschichten der Troposphäre erforderlich. Sinkt das Volumenmischungsverhältnis von NO unter einen Grenzwert von wenigen ppt (parts per trillion), so wird Ozon abgebaut. Die Konzentrationen von NO liegen im Normalfall in der Troposphäre der nördlichen Hemisphäre über dem notwendigen Grenzwert.

Durch den Einfluss der Ozonkonzentration auf die Umwandlung von NO in  $\text{NO}_2$  kommt es im Sommer zu einem höheren  $\text{NO}_2/\text{NO}_x$ -Verhältnis als im Winter. In Gebieten mit sehr hohen  $\text{NO}_x$ -Konzentrationen ist die  $\text{NO}_2$ -Konzentration im Sommer höher als im Winter, da die Menge von Ozon oxidiertem NO zu  $\text{NO}_2$  einen höheren Einfluss auf den Jahresgang hat als die bodennahe Schadstoffanreicherung im Winter (Quelle: UBA, REPP-0325, Wien 2011).

### 2.3 Ozon und flüchtige organische Verbindungen (VOCs)

Mit den flüchtigen organischen Verbindungen sind kohlenstoffhaltige Stoffe gemeint, die leicht verdampfen bzw. unter niedrigen Temperaturen im gasförmigen Zustand bestehen. Eine Untergruppe bilden die NMVOCs (non methane volatile organic compounds), bei denen Methan  $\text{CH}_4$  ausgeschlossen wird. Methan ist eines der wichtigsten Treibhausgase und CH-Reservoir der

Atmosphäre. Es entsteht durch biologische und geologische Prozesse in der Natur und ist Bestandteil von Erdgas. Weitere Quellen sind die chemische Industrie, sowie Vieh- und Landwirtschaft. Durch die Verwendung von Lösemitteln, die sich in vielen Produkten wie Farben, Lacke, Reinigungsmittel, Klebstoffe, uvm. befinden, werden bis zu 50% der flüchtigen organischen Stoffe freigesetzt. Ein weiterer Emittent ist die unvollständige Verbrennung von Kraftstoffen im Bereich Verkehr.

Wie bereits bei den Bildungsmechanismen von Ozon festgestellt, müssen zusätzliche Substanzen in der Luft vorhanden sein, bei deren photochemischen Abbau Peroxyradikale ( $\text{RO}_2$ ) entstehen. Diese Stoffe sind die gasförmigen, flüchtigen organischen Verbindungen und Kohlenmonoxid  $\text{CO}$ .  $\text{CO}$  ist zwar keine organische Verbindung, produziert aber durch die Reaktion mit  $\text{OH}$  ein H-Atom, das wiederum mit  $\text{O}_2$  das Peroxyradikal  $\text{HO}_2$  erzeugt, das  $\text{NO}$  in  $\text{NO}_2$  oxidiert (Glg. 2.17).

Durch ihre wichtige Rolle neben den Stickoxiden in der Ozonchemie ist die Bildung und der Abbau dieser organischen Stoffe sehr wichtig für die Ozonbildung. In der Abbildung 2.2 sehen wir die schematische, photochemische Reduktion der VOCs.

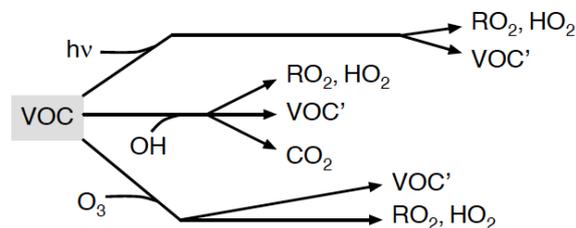


Abb. 2.2: Schema des photochemischen Abbaus von VOC und CO [M.U.Hammer, 2001]

Sowohl beim photolytischen Abbau als auch bei den Reaktionen mit  $\text{OH}$  und Ozon ist die Bildung von Peroxyradikalen  $\text{RO}_2$  und  $\text{HO}_2$  der wichtigste Mechanismus im Ozonkreislauf. Diese Radikale oxidieren die  $\text{NO}$  ohne Ozon zu zerstören und neues Ozon wird gebildet. Über die Oxidation der VOCs mit  $\text{OH}$  werden die Peroxyradikale wieder zurückgebildet. Allerdings muss man zusätzlich erwähnen, dass nicht alle Substanzen, die zu den VOC gezählt werden, mit Ozon reagieren. Hier sind speziell die Alkene gemeint, die mit Ozon reagieren. Ein weiterer wichtiger Punkt bei den Abbaumechanismen ist die Bildung neuer, anderer VOCs ( $\text{VOC}'$ ), die dann in weiterer Folge wieder am Anfang eines neuen VOC-Abbauzyklus stehen und weitere Radikale bilden. Das Endprodukt am Ende aller Zerfallsketten ist die Bildung von  $\text{CO}_2$ .

## 2.4 Ozon und meteorologische Einflüsse

Neben den Messergebnissen der Luftschadstoffe liefern die Daten der meteorologischen Größen die notwendigen Informationen, die zur Interpretation der Konzentrationen von Immissionen und ihren Veränderungen benötigt werden. Die Konzentrationen der emittierten Schadstoffe werden durch Strahlung und Wind in der Atmosphäre umgewandelt, verfrachtet, durchmischt und verdünnt. Das bewirkt einen großen Unterschied zwischen den Mengen der emittierten und immittierten Substanzen, da je nach meteorologischen Verhältnissen die Immissionskonzentrationen entscheidend beeinflusst werden können. Daraus entwickeln sich die charakteristischen Tages- und Jahresgänge der Konzentrationen von primären und sekundären Schadstoffen.

So ist die Frage nach der Herkunft der gemessenen Schadstoffe und ihrem Transport an den Messort durch die Windkomponenten besonders wichtig und aufschlussreich. Dazu kommen noch Messungen von Temperatur, Sonnenschein und Strahlung, die uns Informationen über die vertikale Durchmischung geben. Aus den Bildungsmechanismen von Ozon ist zudem erkennbar, wie wichtig diese drei Parameter für die Beurteilung des Ozonbildungspotentials sind.

Für die primär emittierten Schadstoffe, wie z.B. NO, VOCs, CO oder SO<sub>2</sub>, spielen Ausbreitungsbedingungen eine wesentliche Rolle für ihre Lebensdauer und Konzentration in der Luft. Durch ungünstige Bedingungen wie stabile Temperaturschichtungen oder niedrige Windgeschwindigkeiten kann es zu erhöhten Immissionskonzentrationen in Bodennähe kommen. Diese kommen vorwiegend nachts und im Winter vor, während es tagsüber und im Sommer durch die stärkere Sonneneinstrahlung zu einer stärkeren Durchmischung der bodennahen Luftschichten kommt. Die Folge daraus ist eine schnellere Verdünnung der Schadstoffkonzentrationen durch instabile Konditionen. Stabile bzw. instabile Konditionen werden durch das Temperaturprofil (Temperaturänderung mit der Höhe) der Atmosphäre beschrieben. In der Troposphäre nimmt die Temperatur, auf Grund der Abnahme des Druckes, mit der Höhe im Normalfall ab. Nimmt die Temperatur schneller als der vertikale Temperaturgradient bei trocken-adiabatischen Prozessen (0.98 K / 100 m) ab, so spricht man von instabilen Bedingungen. Ein Luftpaket (Emissionsblase) kühlt beim Aufstieg langsamer ab als seine Umgebungsluft und wird somit nach

oben beschleunigt. Dies führt zu einem vertikalen Transport und zur Verdünnung bodennaher Schadstoffe → turbulente Diffusion. Anderenfalls wird das Luftpaket in Bodennähe gehalten und am Aufsteigen gehindert. Die bestimmenden Faktoren für das Temperaturprofil der Atmosphäre sind die Absorption der Strahlungsenergie durch den Erdboden und die Atmosphäre, sowie die advektiven Einflüsse von Luftmassen. Die dadurch ausgelöste Turbulenz kann thermisch (buoyancy) oder mechanisch durch Windscherung und Oberflächenreibung angetrieben werden. Je nach Konzentration der Schadstoffe in der Atmosphäre spielen die Prozesse der Streuung und Absorption solarer Strahlung eine signifikante Rolle in der Energiebilanz der Atmosphäre. Die dadurch sich verändernden Lufttemperaturen können ein wichtiger Faktor für die Reaktionszeiten chemischer Prozesse in der Atmosphäre sein.

### **2.4.1 Strahlung**

Die Strahlung der Sonne ist für die Erde die Energiequelle, die für das Wettergeschehen global und lokal verantwortlich ist. Die Prozesse der Absorption, Emission, Reflexion und Streuung der solaren (kurzwelligen) und langwelligen Strahlung durch Atmosphäre und Erdboden sind entscheidend für die Energiebilanz der Erde. Obwohl die Atmosphäre fast durchsichtig zu sein scheint, spielt sie die wesentliche Rolle für die Strahlung, die einerseits den Erdboden erreicht, und andererseits wieder in den Weltraum reflektiert wird. Die einzelnen Bestandteile der Luft absorbieren und emittieren mit unterschiedlichen Eigenschaften die kurzwellige und langwellige Strahlung in unterschiedlichen Wellenlängen. So schützen uns die Hauptbestandteile der Luft, Stickstoff und Sauerstoff, vor der energiereichen UV-Strahlung. Die Abbildung 2.3 zeigt, welcher Teil der UV-Strahlung in welcher Höhe von den unterschiedlichen Stoffen  $N_2$ ,  $O$ ,  $O_2$  und  $O_3$  absorbiert wird, bzw. bis zu welcher Höhe die unterschiedlichen Strahlungen vordringen können. Bis zur Erdoberfläche gelangt nur Strahlung mit Wellenlängen  $>300$  nm (UV-A Strahlung, sichtbares Licht und Infrarot). Ohne stratosphärisches Ozon würde die energiereiche UV-B und UV-C Strahlung den Erdboden erreichen.

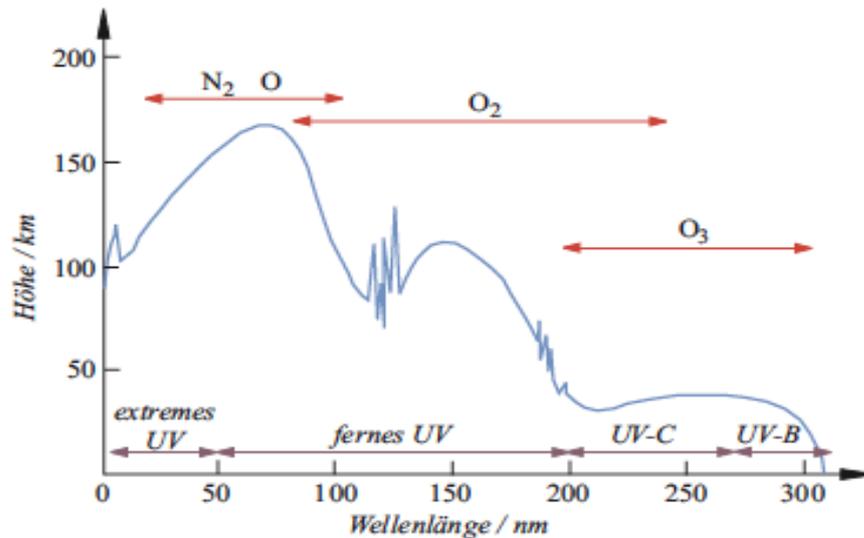


Abb. 2.3: Höhen in der die UV-Strahlung unterschiedlicher Wellenlängen vordringen kann. (Mayer, 2009)

Eine Studie (Rieder et al., 2008) über erythemische Erkrankungen (rötliche Hautreizungen) auf Grund von veränderter UV-Belastung ergab eine Zunahme an UV-Strahlung an der Erdoberfläche in den letzten beiden Jahrzehnten in Österreich. Die Zunahme war in den Winter- und Frühlingsmonaten höher, was durch eine höhere Abnahme im gesamten Ozongehalt der Atmosphäre über Österreich in Kombination mit einer Zunahme der Sonnenscheindauer in diesem Zeitraum erklärt werden konnte. Generell stellte man fest, dass eine Abnahme im gesamten Ozongehalt einen größeren Einfluss auf die empfangene UV-Strahlung an der Erdoberfläche hat als die Änderung in der Bewölkung. Trotz dieser Ergebnisse fand man heraus, dass die Änderungen in der Bewölkung über dem Gebiet von Wien in den letzten Jahren eine Änderung der UV-Strahlung am Boden bewirkte.

Im Bereich des sichtbaren Lichtes (400–700nm) ist die Atmosphäre fast durchlässig. Im Infrarotbereich wirkt besonders Wasserdampf als Absorber.

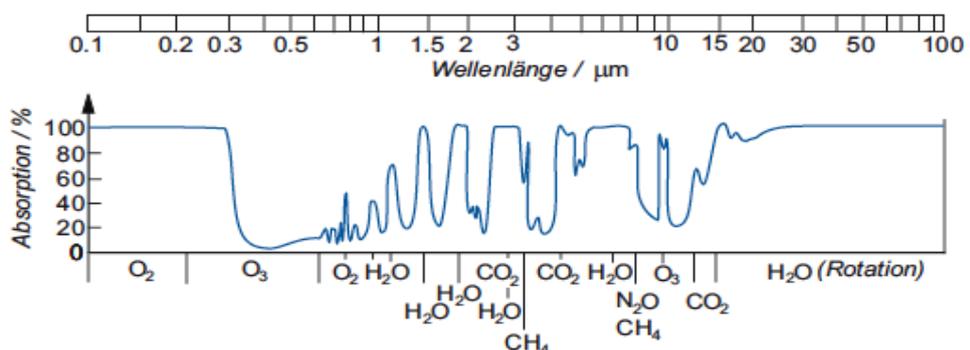


Abb. 2.4: Absorptionsbanden der wichtigsten Spurengase der Atmosphäre (Miller, 1966)

Abbildung 2.4 zeigt die unterschiedlichen Absorptionsbanden der wichtigsten Spurengase in Abhängigkeit der Wellenlänge. So ist zu erkennen, dass neben dem Wasserdampf (H<sub>2</sub>O), Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und Methan (CH<sub>4</sub>) auch Ozon im langwelligen Bereich von 9-10 µm eine Absorptionsbande besitzt.

Auf Grund der Plank'schen Strahlungsfunktion der Erde ist bekannt, dass das Maximum der langwelligen Abstrahlung der Erde, bei einer Strahlungsgleichgewichtstemperatur von 15°C (288 K), in dem Wellenlängenbereich von 10-15 µm liegt. Aus diesem Grund kann Ozon auch im langwelligen Bereich Strahlung absorbieren. Alle diese Absorptionsprozesse wirken sich auf den Treibhauseffekt und damit auf die Lufttemperatur und die Luftchemie der Atmosphäre aus.

Die Globalstrahlung ist die pro waagrechter Fläche auf der Erdoberfläche eintreffende direkte und indirekte kurzwellige Strahlungsleistung der Sonne. Sie ist eine Funktion von geographischer Breite, Tages- und Jahreszeit, Bewölkung, sowie der Durchlässigkeit, bzw. Trübung der Atmosphäre. Von der Atmosphäre (Wolken und Luftteilchen) und der Erdoberfläche werden im Durchschnitt 30% (Albedo) der von der Sonne empfangenen Strahlung wieder in den Weltraum reflektiert. Weitere 20-25% werden durch die Atmosphäre absorbiert, so dass ungefähr 45-50% der Strahlung die Erdoberfläche erreichen. Das ergibt bei einer Solarkonstanten<sup>3</sup> von 1368 W/m<sup>2</sup>, einen Strahlungsfluss von 160-170 W/m<sup>2</sup>. Dies berechnet sich aufgrund des Strahlungsgleichgewichtes der Erde, demnach die empfangende Fläche der Globalstrahlung eine Kreisfläche mit dem Erdradius darstellt ( $A_e = r_e^2 \cdot \pi$ ), die abstrahlende Fläche jedoch über die gesamte Erdoberfläche ( $A_a = 4 \cdot r_e^2 \cdot \pi$ ) erfolgt. Daraus ergibt sich für die Berechnung der empfangenen Globalstrahlung nur  $\frac{1}{4}$  der Solarkonstanten. Die Einheit W/m<sup>2</sup> steht für die Energie (Joule) des Strahlungsflusses pro Zeit- und Flächeneinheit (1 W = 1 J/s).

Die empfangene Globalstrahlung wird gemessen als Energie, die auf einer bestimmten Fläche auftrifft, ihre Einheit wird in J/cm<sup>2</sup> angegeben. Das hat den Vorteil, dass man im Gegensatz zu einer Leistungseinheit wie W/m<sup>2</sup>, Summen und Mittelwerte über unterschiedliche Zeiträume einfacher bilden kann. Die Umrechnung erfolgt über einen Faktor, der durch den jeweiligen Zeitraum gegeben ist. Für die Umrechnung auf Tages-, Monats- oder Jahreswerte

---

<sup>3</sup> Die von der Obergrenze der Atmosphäre (extraterrestrische) empfangene Strahlungsleistung der Sonne pro Flächeneinheit. Sie ist eine Naturkonstante mit einer Schwankungsbreite auf Grund der Bahnexzentrizität der Erde zur Sonne von 1325 W/m<sup>2</sup> bis 1420 W/m<sup>2</sup>.

ergeben sich somit unterschiedliche Umrechnungsfaktoren. Die Umrechnung der Tagessummen an Globalstrahlung von  $J/cm^2$  auf  $W/m^2$  ist mit einem Faktor von  $1/8,64$ , die Stundenwerte mit einem Faktor von  $1/0,36$  zu rechnen.

## 2.4.2 Sonnenscheindauer

Unter dem Begriff Sonnenschein wird der Lichtschein der Sonne auf die Erdoberfläche verstanden. Die Sonnenscheindauer lässt auf eine Wetterlage mit geringer Bewölkung und durchlässiger Atmosphäre schließen. Sie hängt stark von den Jahreszeiten und Richtungen (Breitegrad) der Sonnenauf- und untergänge, sowie dem Lauf der Sonne am Himmelsgewölbe (Höhe des Einfallswinkels), ab. So können Gebirge und Hügel, sowie Häuser und Gebäude Abschattungen hervorrufen, die sich durch den verändernden Sonnenstand unterschiedlich auswirken können. Die Abbildung 2.4.2 zeigt den Sonnenlauf mit Richtung und Zenitwinkel der Sonne für Wien an Tagen der Winter- und Sommersonnenwende, sowie der Tages- und Nachtgleichen.

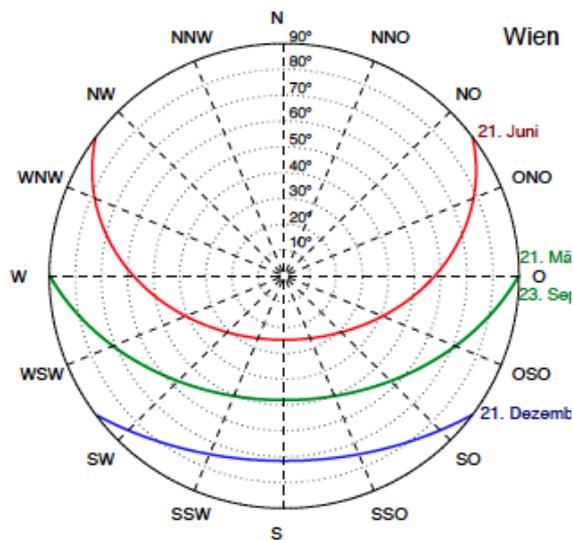


Abb. 2.5: Richtung und Zenitwinkel der scheinbaren Position der Sonne am Himmelsgewölbe für die Tage der Wintersonnenwende (21. Dezember, blau), Sommersonnenwende (21. Juni, rot) und die Tag- und Nachtgleichen (21. März und 23. September, grün) für Wien. Am Umkreis sind die Himmelsrichtungen in 45°-Schritten und von innen nach außen die Zenitwinkel von 0 bis 90° aufgetragen. Der Verlauf einer Linie durch das Zentrum würde bedeuten, dass die scheinbare Sonnenbahn durch den Zenit verläuft. (Dr.D.Mayer, 2009, Allgemeine Meteorologie, VL-Skriptum)

Für die N-Halbkugel befindet sich der Sonnenlauf am Tage der Wintersonnenwende an der südlichsten Position, wo die Sonne nur mit einem Winkel von maximal 20° (Wien) über dem Horizont steht. An den Tagen der Sommersonnenwende sind die Sonnenauf- und -untergänge am nördlichsten Punkt und die Sonne erreicht zu den Mittagsstunden einen Zenitwinkel von 25°. Zu Tages- und Nachtgleichen sind die Auf- und Abgänge der Sonne genau im

Osten und Westen und der Tag und die Nacht dauern weltweit je 12 Stunden. Die Sonne steht an diesen Tagen am Äquator genau im Zenit. Bei der Sonnenscheindauer wird in astronomische, effektive, absolute und relative Sonnenscheindauer unterteilt:

*Astronomische Sonnenscheindauer:*

Dabei handelt es sich um die maximal mögliche Sonnenscheindauer ohne den Einfluß atmosphärischer Refraktion (Brechung). Sie ist abhängig von der Neigung der Erdachse, der Jahreszeit und der von der geographischen Breite vorgegebenen Zeit zwischen Sonnenaufgang und -untergang bei horizontaler Fläche und wolkenlosem Himmel.

*Effektive Sonnenscheindauer:*

Hier werden Abschattungen durch die natürliche Topographie, Vegetation und Bebauung in der Zeit zwischen Sonnenauf- und Sonnenuntergang berücksichtigt.

*Absolute Sonnenscheindauer:*

Sie gibt die tatsächlich gemessene Sonnenscheindauer an und berücksichtigt zusätzlich zur effektiv möglichen Sonnenscheindauer die Bewölkungsverhältnisse.

*Relative Sonnenscheindauer:*

Sie ist der Quotient aus absoluter und effektiver Sonnenscheindauer und wird in Prozent angegeben. Sie wird gerne zum Vergleich von Stationen benutzt, da sie ebenfalls Bewölkungsverhältnisse berücksichtigt.

Die Mittelwerte liegen bei der astronomisch möglichen Sonnenscheindauer bei 8h in der Zeit der Wintersonnenwende und bei 16h während der Sommersonnenwende im Gebiet um Wien. Die beobachteten Werte liegen im langjährigen Mittel bei 2h im Winter und bei 8h im Sommer (Quelle: ZAMG). Die größten Einflussfaktoren sind:

- Bewölkung
- Horizontüberhöhungen bei Standorten an Hügeln und Bergen
- Abschattungen durch Gebäude

Während im Winter eher stratiforme Bewölkung den Himmel bedeckt, ist im Sommer konvektive Bewölkung für die Abschattungen verantwortlich. So stellte

man aus den Daten der Station Wien Hohe Warte fest, dass in den Monaten Mai, August und September die wenigsten Wolken vorhanden sind, im Juni und Juli vorwiegend die konvektive Bewölkung im Gebiet um Wien für Bedeckung sorgt. Jedoch zeigt sich auch, dass die Spannweite der monatlichen Sonnenscheindauer sehr hohe Werte sowohl im Winter (Februar: 10 – 80h) als auch im Sommer (Juli: 150 - 350h) annimmt.

Durch Horizontüberhöhungen an den Stationen ist der Beginn der Aufzeichnung durch den Sonnenscheinautographen in den Stunden des Sonnenaufganges verspätet, der zudem erst ab einen Sonnenwinkel von  $3-5^\circ$  eine Brandspur aufzeichnet.

Komplexe Topographien können zu einer starken Reduktion und Variation der effektiv möglichen Sonnenscheindauer führen. Besonders stark zeigt sich dieser Effekt in den Wintermonaten, wo der Einfallswinkel, den die Sonne einnimmt, nur knapp über der Horizontüberschreitung liegt. In manchen engen Gebirgstälern der Alpen kann es sein, dass über Monate hinweg kein direktes Sonnenlicht einfällt.

Dies ist speziell bei Messstationen an Berg- und Hügelhängen zu berücksichtigen. Liegt eine Station an einem nach Südosten gerichteten Hang, so kann es schon in den frühen Morgenstunden Sonnenschein geben, bei nordwestlichen Hängen kann es sein, dass die Sonne erst am Nachmittag aufgeht. Der andere Fall tritt bei Sonnenuntergängen bei Stationen an östlichen Hängen auf, wo schon am Nachmittag die Sonne untergeht.

Eine Höhenabhängigkeit von Messung der Sonnenscheindauer ist nicht auf Grund der Höhe gegeben, sondern eher auf Grund der unterschiedlichen Bewölkung in den verschiedenen Höhen. Stationen können dadurch oberhalb von Nebellagen in Becken und Tälern, oder im Einflussbereich der meist an Hügel oder Bergen entstehenden konvektiven Bewölkung liegen.

Diese unterschiedlichen Parameter bewirken, dass die Sonnenscheindauer innerhalb eines topographisch variablen und genügend großen Gebietes stark variieren kann. Damit steht auch für das Ozonbildungspotential unterschiedlich viel Energie zur Verfügung, da mit der Sonnenscheindauer die empfangene Globalstrahlung variiert und somit auch die Lufttemperatur.

### 2.4.3 Wind

Durch die Variabilität in der Sonnenscheindauer und der dadurch unterschiedlich empfangenen Globalstrahlung erwärmen sich global und regional die Luftmassen und Erdoberflächen in unterschiedlicher Weise. Dies führt zu Bewegungen der Luftmassen in den unterschiedlichen meteorologischen Skalen. Von den großen globalen Windsystemen wie z. B. den Passatwinden bis hin zu den atmosphärischen Turbulenzen in den untersten Luftschichten (Eddies) werden fühlbare und latente Wärme sowie Luftbeimengungen einschließlich der Luftschadstoffe in der Atmosphäre transportiert.

Speziell für die Anreicherung von Schadstoffen in den bodennahen Luftschichten sind die Prozesse, die Einfluss auf die atmosphärische Turbulenz in Bodennähe haben, von entscheidender Bedeutung. Die Distanz und Richtung, in die die Schadstoffe in der bodennahen Atmosphäre transportiert werden können, hängen von der Geländeform und Rauigkeit der Erdoberfläche, sowie der Lebensdauer (chemische Umwandlung, Deposition) der Schadstoffe ab. Eine Reduzierung der Ausbreitung sieht man in Tälern, in denen es zu einer Kanalisierung der Schadstofftransporte kommt. Mitunter kann man bei vielen Berg- und Hügelgebieten eigene, thermisch induzierte und topographisch kanalisierte Windsysteme feststellen. Tagsüber können Transporte von Schadstoffen tal- und hangaufwärts festgestellt werden, während in der Nacht und am Vormittag der Transport hang- und talabwärts verläuft. Diese Transporte sind sehr gut mit den Parametern der Windgeschwindigkeit und Windrichtung in diesen Gebieten zu erkennen.

Vertikal können sich Schadstoffe, je nach Stabilität der Atmosphäre und Lebensdauer der Elemente, bis in die Stratosphäre ausbreiten. Der für die Umgebungsluft des Menschen wichtigste Teil der Troposphäre zur Ausbreitung von Schadstoffen in vertikaler Richtung ist die atmosphärische Grenzschicht. Sie ist jener Teil der Atmosphäre, der direkt von der Erdoberfläche beeinflusst wird und innerhalb kürzester Zeit (1h) direkt reagiert. Die wichtigsten Faktoren, die auf die Grenzschicht Einfluss nehmen, sind der Boden, die Emissionen und vor allem die Solarstrahlung. Die Höhe der Grenzschicht kann je nach Jahres- und Tageszeit, sowie Wetterlage, stark variieren, im Winter von wenigen hundert Metern bis zu 3000m im Sommer.

Die Turbulenz ist einer der wichtigsten Vorgänge und wird deshalb zur Definition der Grenzschicht verwendet. Sie kann durch die kurzfristige Varianz der Windkomponenten erfasst werden. Dazu zählen der mittlere Wind und Welleneigenschaften des Windes. Beide sind deterministisch feststellbar und können relativ gut prognostiziert werden. Die Turbulenz ist der chaotische Anteil der Windkomponenten und ist nur stochastisch feststellbar. Probleme treten bei Messungen und Berechnungen auf, so dass sie meistens parametrisiert wird. Die Komponente des mittleren Windes (Advektion) dominiert die horizontalen Transporte, während die Turbulenz die vertikalen Transporte in der Grenzschicht beherrscht. Die Wellen transportieren weniger die Wärme, Feuchte und Spurenstoffe, sondern vielmehr Impuls und Energie. Sie werden lokal durch Windscherungen, oder durch Umströmungen von Hindernissen (Leewellen), gebildet. Die horizontalen Windgeschwindigkeiten in der Grenzschicht treten meist in einem Bereich von 2-10 m/s auf (Ausnahme: Sturm) und nehmen zum Boden hin in einer logarithmischen Spirale (Ekman-Spirale) ab, wobei in der bodennächsten Schicht (Prandtl-Schicht) eine logarithmische Geschwindigkeitsabnahme auftritt. Der Bereich der vertikalen Geschwindigkeiten liegt in Größenordnungen von  $10^{-3}$  mm/s bis  $10^{-2}$  cm/s. Unterteilt wird die Grenzschicht in drei Teile, die durch die vorherrschenden Winde und Transporte definiert sind:

- Laminare Bodenschicht
- Prandtl – Schicht
- Ekman – Schicht

In der laminaren Bodenschicht sind ausschließlich Molekularbewegungen vorhanden, die einen vertikalen Transport von Impuls, fühlbarer und latenter Wärme leisten.

In der Prandtlschicht nimmt die Windgeschwindigkeit, bei gleichbleibender Windrichtung, mit der Höhe zu. An der Obergrenze (20-100m) ist 70 - 80% der Windgeschwindigkeit der atmosphärischen Grenzschicht erreicht.

Im Bereich der Ekman-schicht dreht der Wind von der Richtung am Boden in Richtung des geostrophischen Windes der freien Atmosphäre (Ekman-Spirale). Die Obergrenze der Grenzschicht ist nicht klar eindeutig, ist aber dort definiert, wo der Wind das erste Mal die Richtung des geostrophischen Windes annimmt.

#### 2.4.4 Deposition

Die Deposition von Luftschadstoffen gehört zu jenen Prozessen, die neben der chemischen Umwandlung die Schadstoffe aus der Atmosphäre entfernen. Es wird bei der Deposition zwischen trockener, nasser und okkultur Deposition unterschieden.

Bei der *trockenen Deposition* erfolgt die Interaktion mit der Bodenoberfläche, wo sich die Luftschadstoffe durch Diffusion an den Oberflächen von Pflanzen, Gräsern, Gebäuden und Böden anhaften und sich mit diesen verbinden. Je nach Bodenbeschaffenheit ist das Ausmaß trockener Deposition größer oder geringer. Bebauungen und Vegetation erhöhen das Ausmaß durch ihre erhöhten Oberflächen im Gegensatz zu kahlen und flachen Erdböden viel stärker. Die Mechanismen der trockenen Deposition sind sehr komplex und schwierig zu beschreiben. Ein wesentlicher dynamischer Prozess dabei ist die turbulente Diffusion, die wiederum von der Windstärke abhängig ist.

Bei der *nassen Deposition* gibt es zwei Prozesse, die dafür sorgen, die Konzentrationen der Schadstoffe zu reduzieren: die Aufnahme der Luftschadstoffe in Wolken- und Regentropfen („wash out“) und deren Niederschlag als Regen oder Schnee („rain out“). Dadurch ist die nasse Deposition stark vom Wettergeschehen abhängig und kann örtlich und zeitlich sehr stark variieren.

Bei der *okkulten Deposition* wirken im Prinzip dieselben Prozesse wie bei der nassen Deposition, mit dem Unterschied, dass der Niederschlag als Nebel, Tau oder Raureif die Schadstoffe aus der Atmosphäre entfernt.

Die geringe Wasserlöslichkeit von Ozon bedingt, dass die Prozesse der nassen und okkulten Deposition nur im reduzierten Maße für Ozon ausschlaggebend sind. Wesentlich mehr werden die Konzentrationen der Vorläufersubstanzen und die an der Ozonchemie beteiligten Stoffe von der nassen und okkulten Deposition beeinflusst, was natürlich wiederum indirekt Einfluss auf die Ozonkonzentrationen hat.

## 2.5 Orographische Einflüsse

Neben den chemischen und meteorologischen Bedingungen, die für die Entstehung und die besonderen Ausprägungen von regionalen Episoden hoher Ozonkonzentrationen notwendig sind, spielen auch die topographischen Besonderheiten des Gebiets eine wichtige Rolle. Die emittierten Schadstoffe, die in der Atmosphäre transportiert und verdünnt werden, hängen in der Richtung und Distanz, in welche sie transportiert werden, wesentlich von der Geländeform (Topographie) ab.

Täler und Becken zeigen wesentlich ungünstigere Ausbreitungsbedingungen als große, weite ebene Geländeformen. Ebenso sind auf exponierten höhergelegenen Gebieten, wie Bergkuppen und -kämmen, gute Ausbreitungsmöglichkeiten vorhanden. Weiters führen Täler zu einem kanalisierten Transport der Schadstoffe, der meistens von einem thermisch angetriebenen Zirkulationsmuster (Hang- und Talwinde) geleitet wird. In ebenem Gelände bestimmt häufig die atmosphärische Lebensdauer die Transportdistanz von Luftschadstoffen.

Das Gebiet von Österreich zeigt eine sehr komplexe Topographie, die auf Grund der Alpen (60% der Fläche Österreichs) große Höhenunterschiede auf sehr kleinem Raum aufweist. Das hat zur Folge, dass es zu Konzentrationen von Siedlungsgebieten im restlichen Bundesgebiet und in den Tälern kommt. Straßen, die sich durch die Täler ziehen, führen zusätzlich zu hohen Emissionen auf sehr engem Raum. Die Ausbreitungsbedingungen und Emissionsdichten weisen wegen der sehr unterschiedlichen Topographie sehr starke räumliche Differenzen auf.

Inversionswetterlagen können in Gebieten mit großen regionalen Höhendifferenzen zu schlechten Ausbreitungsbedingungen und damit zu hohen Gradienten der Schadstoffkonzentrationen führen, da der vertikale Luftmassenaustausch nicht stattfinden kann und der Schadstofftransport unterdrückt wird.

Die Siedlungsgebiete, Industriegebiete und Straßen sind wesentlich für die räumliche Verteilung der Emissionen verantwortlich. So stehen die sehr hohen Emissionen in den Städten und entlang der verkehrstarken Straßen den großen und großteils emissionsfreien ländlichen Gebieten und Gebirgen gegenüber.

### **3 Messstellen - Untersuchungsgebiet**

In Österreich werden Luftgütemessstellen, das sind Messstellen für gasförmige Luftschadstoffe, Schwebstaub, nasse Deposition und Staubdeposition sowie meteorologische Messstellen, von den Ämtern der Landesregierungen, vom Umweltbundesamt (UBA), der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) und diversen anderen Forschungs-, Ausbildungs- und Industriebetrieben betrieben.

Die ZAMG betreibt ein speziell auf meteorologische Messungen ausgerichtetes Messnetz, deren Messstellen meist ein großes Spektrum an meteorologischen Größen, wie Luftdruck, Temperatur, Wind (Windrichtung und Windgeschwindigkeit), Niederschlag, Feuchte, Globalstrahlung, Sonnenscheindauer, etc. erfassen.

Die Luftgütemessstellen, auch Immissionsmessstellen genannt, richten sich auf Grund ihrer Lageanforderungen (Industriegebiete, Städte, etc.) in der Regel an andere Gesichtspunkte als rein meteorologische Messstellen und erfassen, wenn überhaupt, nur eine geringe Anzahl an meteorologischen Messdaten, wie z. B. Wind und Temperatur.

Dieses Netz an Luftgütemessstellen bildet einen Teil eines europaweiten und weltweiten Schadstoffmessnetzes (EMEP – Cooperative programme for monitoring and evaluation of the long-range transmission of air pollutants in Europe, Global Atmosphere Watch (GAW)-Programm der World Meteorological Organisation (WMO), etc.), welches im Rahmen von Immissionsschutzgesetzen für Luft (IG-L), Ozongesetz und Immissionsschutzplänen die notwendigen Messdaten für die Richtlinien von Grenzwerten liefert.

Das Immissionsmessnetz in Österreich besteht derzeit aus über 140 Messstellen. Sie sind die Basis für die Beschreibung der Luftgütesituation und unterliegen im Rahmen des IG-L einer eigenen Messkonzept-Verordnung, die die Kriterien für Lage und Anzahl der Messstellen sowie deren technische Anforderungen regelt. Je nach Untersuchungsgebiet ist eine Mindestanzahl von Messstellen laut Verordnung erforderlich.

(Quellen: BGBl. Nr. 210/1992: Ozongesetz, BGBl. I Nr. 115/1997: Immissionsschutzgesetz – Luft, etc.)

### 3.1. Auswahlkriterien

Die langjährigen Ozonmessreihen der österreichweiten Stationen zeigen eine deutliche Konzentration und Häufung von Ozonüberschreitungen im nord- und südöstlichen Bundesgebiet, weshalb sich das zu untersuchende Gebiet in dieser Arbeit auf die Bundesländer Niederösterreich, Wien und Burgenland beschränkt, wobei bei letzterem der nördliche Teil betrachtet wird. Neben langen Messreihen waren die optimale Flächendeckung, sowie eine auch vom Standort (Stadtgebiet, Beckenlage, Hügel, Wald) unterschiedliche Charakteristik für die Kriterien der Ozonmessstellen-Auswahl ausschlaggebend. Ein weiterer wichtiger Punkt bei der Auswahl war es, aussagekräftige meteorologische Stationen zu den Ozonmessstationen zu finden, um die Zusammenhänge zwischen den meteorologischen Faktoren und den Ozonkonzentrationen erklären zu können. Zusätzlich wurde noch bei der Auswahl der Messstationen für Ozon darauf geachtet, dass es auch genügend lange Messreihen von Stickstoffdioxid ( $\text{NO}_2$ ) an den Stationen gab, um chemische Zusammenhänge untersuchen zu können. Da dies in manchen Fällen nicht zutraf, wurden noch drei zusätzliche  $\text{NO}_2$ -Messstationen (Wolkersdorf, Stixneusiedl und Payerbach) in die Stationsliste aufgenommen. Bei den meteorologischen Stationen war es neben der geographischen Nähe zu den Ozonstationen ein wesentliches Problem, ausreichend lange Messreihen über die Globalstrahlung zu bekommen.



Abb. 3.1: Übersicht über das Messgebiet mit den ausgewählten Stationen

Die Abbildung 3.1 zeigt eine Übersicht über das Untersuchungsgebiet mit der geografischen Lage der ausgewählten Stationen. Die Ozonstationen (orange Beschriftung) sind Bergern (Dunkelsteinerwald), Pillersdorf, Mistelbach, Gänserndorf, Wien Hohe Warte, Illmitz und Ternitz. Mistelbach, Illmitz und Ternitz besitzen zu kurze oder keine NO<sub>2</sub>-Messreihen, diese wurden durch die NO<sub>2</sub>-Stationen Wolkersdorf, Stixneusiedl und Payerbach (grüne Beschriftung) ergänzt.

Die meteorologischen Stationen in Abb. 3.1 (blaue Beschriftung) werden wie folgt den Ozonmessstationen zugeordnet:

- Krems und Jauerling für Bergern im Dunkelsteinerwald
- Retz für Pillersdorf
- Poysdorf, Hohenau und Oberleis für Mistelbach
- Groß-Enzersdorf für Gänserndorf
- Neusiedl am See und Eisenstadt für Illmitz
- Wr. Neustadt, Puchberg und Reichenau für Ternitz
- Wien Hohe Warte besitzt sowohl Ozon-, NO<sub>2</sub>- und meteorologische Messreihen

Die unterschiedliche Anzahl der zugewiesenen meteorologischen Stationen ergab sich aus dem jeweiligen Datenbestand und der zur Verfügung gestandenen Anzahl der Stationen in dem Gebiet. Die topographischen Gegebenheiten der einzelnen Stationen und deren Umgebung sind im Anhang A aufgelistet.

### **3.2. Ozonmessstellen**

Die Messreihen der ausgewählten Stationen weisen bis auf Wien Hohe Warte (1991-2010) und Pillersdorf (1992-2010) einen kompletten Datensatz über die Periode 1990 - 2010 auf. Die spezifischen Lagen der einzelnen Stationen, wie die Hügelstationen Bergern und Pillersdorf oder Wien Hohe Warte mit ihrer städtischen Gebietsstruktur, müssen bei der Analyse und Interpretation der Daten berücksichtigt werden. Die Topographie des Untersuchungsgebietes zeigt sich mit dem östlichen Waldviertel, dem Weinviertel, Marchfeld und

Wiener Becken, sowie dem Neusiedler Seegebiet und den Ausläufern des Semmering- Wechselgebietes in regional sehr unterschiedlichem Erscheinungsbild. Dadurch ergeben sich für die Anreicherung und Advektion von Primärschwebstoffen und Ozon unterschiedliche Möglichkeiten und Bedingungen.

### **3.3. NO<sub>2</sub>-Messstellen**

Die ausgesuchten Messstellen bieten größtenteils sehr lange Zeitreihen über die gesamte Periode von 1990 bis 2010 für Stickstoffdioxid an. Die Stationen Illmitz (1994 – 2010), Pillersdorf (1993 – 2010) und Ternitz (1990 – 2002) haben kürzere Messreihen und werden mit Hilfe der Stationen Payerbach (1993 – 2010) und Stixneusiedl (1990 – 2010) ergänzt, wobei im Falle Pillersdorf auf Grund fehlender Stationen mit langen Datensätzen in der näheren Umgebung die Auswertungen mit NO<sub>2</sub> nur im Zeitraum 1993 bis 2010 erfolgen. Die Station Mistelbach besitzt keine NO<sub>2</sub>-Messreihe und wird durch die Station Wolkersdorf (1990 – 2010) repräsentiert.

### **3.4. Meteorologische Messstellen**

Für die Messung der meteorologischen Faktoren musste man, bis auf die Station Wien Hohe Warte, immer auf Wetterstationen in der näheren Umgebung der Luftgütestationen zurückgreifen, da bei den meisten Ozon-Stationen meteorologische Daten nur in sehr geringem Ausmaß gemessen werden. Tabelle 3.1 zeigt einen Überblick über die meteorologischen Parameter, welche an den jeweiligen Stationen in dem jeweiligen Zeitraum zur Verfügung standen.

Tab. 3.1: Meteorologische Stationsliste mit der Messreihendauer der einzelnen Parameter

	Sonnen- scheindauer	Global- strahlung	Temperatur	Windstärke	Windrichtung
Wien Hohe Warte	1990-2010	1990-2010	1990-2010	1990-2010	1990-2010
Eisenstadt	1990-2010	1991-2010	1990-2010	1990-2010	1990-2010
Neusiedl	2004-2010	2005-2010	2005-2010	2004-2010	2004-2010
Oberleis	1998-2010	1998-2010	1998-2010	1998-2010	1998-2010
Poysdorf	1992-2010	1992-2010	1992-2010	1992-2010	1992-2010
Hohenau	2007-2010	2007-2010	2007-2010	2007-2010	2007-2010
Reichenau	1990-2010	1990-2010	1990-2010	1990-2010	1990-2010
Puchberg	1990-2010	1990-2010	1990-2010	1990-2010	1990-2010
Wr Neustadt	1993-2010	1992-2010	1993-2010	1992-2010	1992-2010
Retz	1994-2010	1994-2010	1994-2010	1994-2010	1994-2010
Jauerling	1994-2010	1994-2010	1994-2010	1994-2010	1994-2010
Krems	1996-2010	1996-2010	1996-2010	1996-2010	1996-2010
Gr Enzersdorf	1990-2010	1990-2010	1994-2010	1990-2010	1990-2010

## **4 Auswertungen und Ergebnisse**

Die Auswertungen und der Großteil der graphischen Darstellungen der Ergebnisse wurden mit der Software Matlab erstellt. Diese ist für die Lösung mathematischer Probleme entwickelt worden und ist vorwiegend für numerische Berechnungen mit Matrizen ausgelegt. Dadurch können auch statistische Berechnungen vereinfacht programmiert und berechnet werden.

Die einzelnen Programmmodule und Auswertungen in Form von Dateien, Tabellen und Grafiken werden im Anhang B bis D einzeln aufgelistet und beschrieben.

### **4.1. Datengrundlage und Datenaufbereitung**

Die Daten der Ozon- und Stickoxidkonzentrationen wurden durch die von der EEA (European Environment Agency) öffentlich zugänglichen Luftqualitäts-Datenbank AIRBASE zur Verfügung gestellt. Den Zugriff darauf erhält man über die Homepage der EEA (<http://www.eea.europa.eu/>) bzw. den AIRBASE-Link <http://acm.eionet.europa.eu/databases/airbase/> .

Die meteorologischen Daten der einzelnen Klimastationen wurden freundlicherweise von der ZAMG zur Verfügung gestellt und können in ausgewerteter Form im Internet angesehen werden.

(<http://www.zamg.ac.at/klima/klimadaten/>)

#### **4.1.1. AIRBASE Datensatz**

Die Datenbank von AIRBASE besteht aus langjährigen Zeitreihen einer repräsentativen Anzahl von Stationen, die das Gebiet der Europäischen Union und der EEA-Mitglieder abdecken. Die Datensätze bestehen nicht nur aus den Konzentrationen einer Vielzahl von Luftverunreinigungsstoffen, sondern beinhalten auch Informationen über das jeweilige Messnetzwerk, deren Stationen und die verwendeten Messmethoden. Die Mitgliedsstaaten sind verpflichtet, jährlich ihre Daten über ein sogenanntes DEM (Data Exchange Module) der EEA zur Verfügung zu stellen und einen Bericht darüber zu

verfassen. Diese Datensätze stehen entweder im CSV-, XML- oder im Rohformat (Textdatei) zur Verfügung und können länderspezifisch oder gesamt heruntergeladen werden. Weiter stehen die Daten auch in bereits berechneten statistischen Werten wie Tagesmittelwerte, 8h-Gleitmittelwert, Monats- und Jahresmittelwerte, etc. zum Download zur Verfügung. Der für diese Arbeit verwendete Datensatz waren die Rohdaten der einstündigen Mittelwertkonzentrationen von Ozon (O<sub>3</sub>) und Stickoxid (NO<sub>2</sub>). Die Genauigkeit der angegebenen Konzentrationen ist vom jeweiligen Messgerät abhängig, die Konzentrationswerte sind mit maximal einer Kommastelle genauer als der jeweilige Grenzwert angegeben.

Diese länderbezogenen ZIP-Archive, welche zum Herunterladen zur Verfügung stehen, beinhalten neben den diversen Stations- und Messinformationen die Rohdaten-Dateien, die in organisierten Textfiles für jede einzelne Messreihe angegeben werden. Alle notwendigen Informationen über die jeweilige Messreihe sind im Dateinamen beinhaltet, wie z.B.:

AT0ILL10000700500hour.1-1-1990.31-12-2009

Position 1 – 7: Europäischer Stationscode (hier: AT0ILL1, i.e. Station Illmitz)

Position 8 – 12: Code der Komponente (hier: 00007, i.e. Ozon)

Position 13 – 17: Europäischer Messmethodencode (hier: 00500)

Position 18 bis zum ersten Punkt: Datentyp (hier: hour, Stundenmittelwerte) gefolgt von der Start- und Endzeit der Messreihe.

Innerhalb des europäischen Stationscodes gibt es an der dritten Stelle noch eine eigene Bundesland- und Sonderstationencodierung, die folgende Aufteilung aufweist:

AT0 ... Sonderstationen des Hintergrundmessnetzes der UBA

AT1 ... Burgenland

AT2 ... Kärnten

AT3 ... Niederösterreich

AT4 ... Oberösterreich

AT5 ... Salzburg

AT6 ... Steiermark

AT7 ... Tirol

AT8 ... Vorarlberg

AT9 ... Wien

Diese Rohdaten-Dateien sind Tabulator-getrennte Text-Dateien, in denen das Zeilenformat der Stundenwerte innerhalb der Datei wie folgt aussieht:

Datum Wert1 Flag1 Wert2 Flag2 Wert3 Flag3 ..... WertN FlagN

Das Datum in der ersten Spalte gibt den jeweiligen Messtag an und ist im Format yyyy-mm-dd angegeben. Danach folgen die Stundenmittelwerte von 1 bis 24 der Konzentrationen und die dazugehörigen Messkennzeichnungen in Spalte 2 bis 49. Diese Messkennzeichnung (Flag) zur jeweiligen Messung gibt an, ob die Messdaten korrekt ermittelt wurden (Flag-Wert > 0), oder ob ein Messfehler oder kein Messwert (Flag-Wert < 0) vorliegt. Der angegebene Stundenmittelwert gilt für die korrespondierende Stunde des angegebenen Tages, z.B.: Wert1 (i.e.: 00:00-00:59).

Aus dieser Dateinamencodierung ergibt sich folgende Fileliste:

#### Ozon-Messreihen:

WienHoheWarte: AT900ZA0000700100hour.1-1-1991.31-12-2009  
Illmitz: AT0ILL10000700500hour.1-1-1990.31-12-2009  
Mistelbach: AT313010000700500hour.6-2-1990.31-12-2009  
Ternitz: AT315010000700100hour.1-1-1990.31-12-2009  
Pillersdorf: AT0PIL10000700500hour.27-2-1992.31-12-2009  
Bergern/Dstw: AT317010000700100hour.1-1-1990.31-12-2009  
Gänserndorf: AT304010000700100hour.1-3-1990.31-12-2009

#### NO<sub>2</sub>-Messreihen:

WienHoheWarte: AT900ZA0000800100hour.1-1-1988.31-12-2009  
Illmitz: AT0ILL10000800500hour.10-5-1994.31-12-2009  
Wolkersdorf: AT304030000800100hour.1-1-1990.31-12-2009  
Ternitz: AT315010000800100hour.1-1-1990.31-12-2002  
Pillersdorf: AT0PIL10000800500hour.1-1-1993.31-12-2009  
Bergern/Dstw: AT317010000800100hour.1-1-1990.31-12-2009  
Gänserndorf: AT304010000800100hour.1-1-1990.31-12-2009  
Payerbach: AT315020000800100hour.3-6-1993.31-12-2009  
Stixneusiedl: AT303020000800100hour.1-1-1990.31-12-2009

Da sich die Auswertung der Datenreihen mit der Veröffentlichung der Daten des Jahres 2010 überschneidet, wurden im Nachhinein die bereits bestehenden Auswertungen mit den Daten des Jahres 2010 ergänzt und neu berechnet.

#### 4.1.2. ZAMG Datensatz

Die Datensätze aller gemessener meteorologischer Daten sind für jede einzelne Station in Textfiles zusammengefasst und besitzen eine spezielle interne Dateistruktur. Jeder meteorologische Parameter besitzt eine eigene Elementcodierung, die in jeder Zeile (3.Spalte) angegeben wird. Neben der Stationsnummer und dem Messdatum werden die 24 Stunden-Messwerte in Stundenmittel oder Stundensummen in Spalten angegeben. Falsche und fehlende Messergebnisse werden nicht über eine Messkennzeichnung (Flag) festgehalten, sondern erhalten einen Messwert von 32700 in der jeweiligen Spalte. Die Elementcodierung für die untersuchten Parameter sieht wie folgt aus:

- D6X - Windrichtung in Grad, Messbereich: 0 - 360
- GSX - Globalstrahlung in  $J/cm^2$ , Messbereich: 0 - 400
- SUX - Sonnenscheindauer in 1/10 Stunden, Messbereich: 0 - 10
- TTX - Lufttemperatur (2m) in  $1/10^\circ C$ , Messbereich: -450 - +450
- VVA – Windgeschwindigkeit in 1/10m/s, Messbereich: 0 – 500

Der Dateinamen besteht lediglich aus der Stationsnummer und je nachdem wie die Datensätze heruntergeladen werden, kann man sie nach dem jeweiligen Parameter oder nach Datum geordnet vorfinden. Für unsere ausgewählten Stationen beinhaltet die Fileliste der Messreihen folgende Dateien:

10510.txt - Reichenau	5972.txt - Gr.Enzersdorf
2415.txt - Oberleis	7500.txt - Puchberg1
2503.txt - Poysdorf	7505.txt - Puchberg2
2601.txt - Hohenau	7604.txt - Wr.Neustadt
3702.txt - Jauerling	7704.txt - Eisenstadt
3805.txt - Krems	7906.txt - Neusiedl
5901.txt - Wien Hohe Warte1	905.txt - Retz
5904.txt - Wien Hohe Warte2	

Im Falle von Wien Hohe Warte und Puchberg gibt es geteilte Messreihen, die entweder durch Messsystem- oder Ortsumstellungen bedingt sein können. In beiden Fällen haben die Messreihen keine Unterbrechung und sind durchgehend vorhanden. Die Datenreihen sind lt. ZAMG verifiziert und homogenisiert, sind aber im Zuge der Arbeit noch einmal auf Extremwerte und Messfehler in Bezug auf die jeweiligen Messbereiche überprüft worden.

### 4.1.3. Datenaufbereitung

Mit Hilfe unterschiedlicher Einleseroutinen wurden die einzelnen Datensätze der chemischen und meteorologischen Parameter in vorgefertigte Matrizen eingelesen. Diese wurden für alle Komponenten so gestaltet, dass alle Stundenmittelwerte oder –summenwerte aller ausgewählten Stationen einer Komponente (z.B.: Ozon) für den ganzen Beobachtungszeitraum (1.1.1990 bis 31.12.2010) eingetragen werden konnten. Bei fehlenden Messwerten wegen späteren Beginns der Messreihe, Fehlmessungen oder falschen Messwerten wurden die Felder einheitlich mit dem Faktor 9999.9 belegt. Dadurch konnte in weiterer Folge die verschiedenen Berechnungen vereinheitlicht werden und die Matrizen unterschieden sich nur durch die Anzahl der jeweiligen Messstationen. In den jeweiligen Einleseroutinen wurde bei der Sonnenscheindauer, bei Temperatur und Windgeschwindigkeit der 1/10-Faktor beseitigt und die Windrichtungs-Daten in 8 Segmente (N, NO, O, SO, S, SW, W und NW) eingeteilt.

Bei fehlenden Messdaten in den Ozonmessreihen wurde, auf Grund der Tagesvariabilität von Ozon, auf ein Interpolationsschema verzichtet. Auch bei den anderen Messreihen wurden fehlende Daten bzw. Messfehler nicht durch berechnete Werte ersetzt. Bei den Berechnungen der diversen statistischen Werte wurde dafür allerdings ein Schwellwert (Threshold) von 70% an Datenmenge als Bedingung für die Auswertung der Daten gestellt.

Bei der Programmierung wurde auf modulare Programmgestaltung geachtet, so dass die Einleseroutinen der unterschiedlichen Daten generell nur einmal durchgeführt werden müssen und danach in eigenen Matrizen für die Auswertung zur Verfügung stehen. Bei den Programmroutinen für die Auswertungen wurden auch die einzelnen Parameter wie Ozon, NO<sub>2</sub>, Globalstrahlung, usw. separat in einzelnen Programmen behandelt. Für alle Parameter stehen diverse Ausgabegrafiken der einzelnen statistischen Verteilungen zur Verfügung. Diese können in den jeweiligen Programmen mittels Parameter konfiguriert werden. Die einzelnen Programmmodule, Ausgabematrizen und -grafiken sind im Anhang B detailliert aufgelistet und beschrieben.

## 4.2. Variabilität der Ozonkonzentration

Betrachtet man die Variabilität von Ozon, so muss der Zeitraum der beobachteten Periode mit berücksichtigt werden. Ozon zeigt neben einem charakteristischen Tagesgang auch in seinem Jahrgang eine große Variabilität. Jeder einzelne Zeitraum muss separat für sich analysiert werden und kann in weiterer Folge Hinweise für die anderen Zeitskalen geben. Als Beispiel wird die Ozon-Messreihe der Station Gänserndorf in der Abbildung 4.1 betrachtet. Die Verteilungen von Tages-, Monats- und Jahresmittelwerten über die gesamte Periode von 1990 – 2010 sind in der oberen Grafik dargestellt.

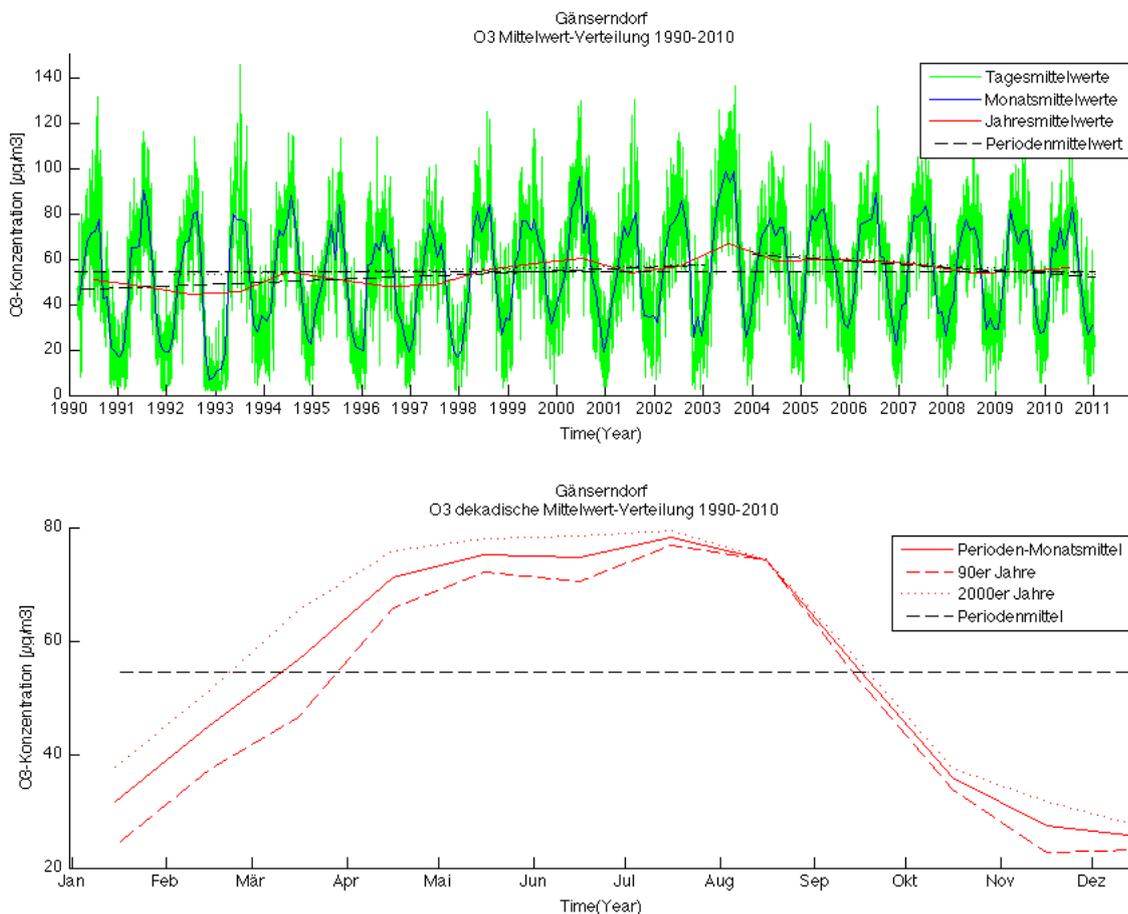


Abb.4.1: Mittlere monatliche Ozonvariabilität der Station Gänserndorf

Neben dem Periodenmittel sind zwei Regressionslinien (schwarz strichliert) in der oberen Grafik gezeichnet. Erst durch das Ausfiltern der Daten des Extremjahres 2003 und die Teilung des Beobachtungszeitraumes in die Bereiche vor 2003 und nach 2003, lassen sich in der oberen Grafik die Tendenzen in diesen Perioden statistisch erkennen.

Der Jahrgang der über die einzelnen Dekaden und der gesamten Periode gemittelten Monatsmittel ist in der unteren Grafik zu sehen. Die Variabilität der Monatsmittelwerte zeigt sich durch die Teilung in die einzelnen Dekaden. Die einzelnen Monate verhalten sich sehr unterschiedlich in den dekadischen Veränderungen. Aus dem Verlauf der Mittelwerte lassen sich keine Hinweise auf Tage hoher Ozonkonzentration erkennen. Diese können nur durch eine kürzere Zeitskala untersucht werden.

#### 4.2.1. Variabilität hoher Ozon-Tageskonzentrationen

Zunächst wurde untersucht, wie häufig die Ozonkonzentration an den Stationen gewisse Schwellwerte überschreitet. Die Abbildung 4.2 und Tabelle 4.1 zeigen die Verteilungen und Anzahl der Stundenwerte und Tage, an denen Werte über der jeweiligen Konzentration an den Ozonstationen gemessen wurden.

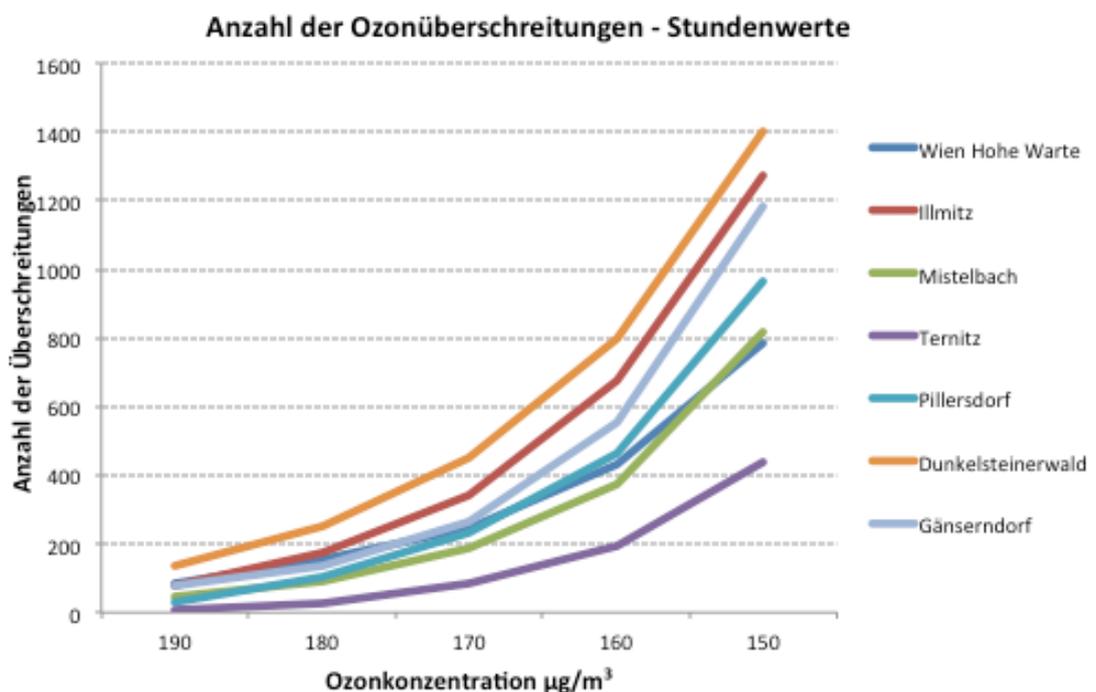


Abb. 4.2.a: Anzahl der Stundenwerte von hohen Ozonkonzentrationen

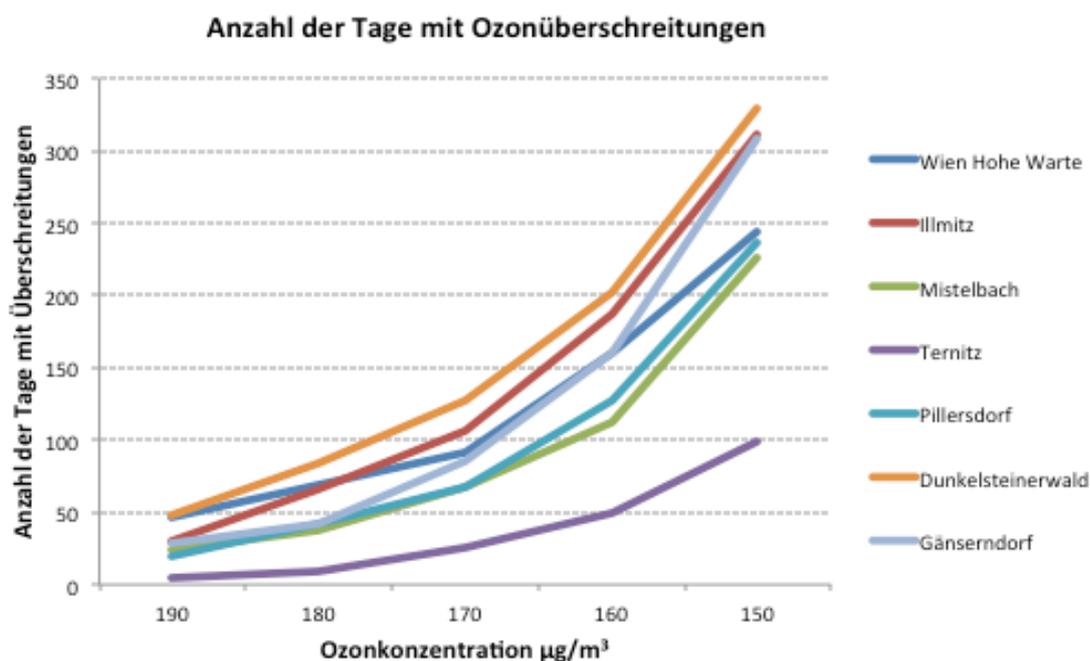


Abb. 4.2.b: Anzahl der Tage von hohen Ozonkonzentrationen

Tab. 4.1: Häufigkeiten von Stundenwerten (o.Tab.) und Tagen (u.Tab.) hoher Ozonkonzentrationen

Ozonkonzentration	190	180	170	160	150
	µg/m <sup>3</sup>				
Wien Hohe Warte	84	158	248	430	786
Illmitz	76	174	343	678	1273
Mistelbach	46	88	190	373	817
Ternitz	5	27	86	196	436
Pillersdorf	30	106	233	463	962
Dunkelsteinerwald	136	251	452	798	1403
Gänserndorf	77	134	266	556	1181

Ozonkonzentration	190	180	170	160	150
	µg/m <sup>3</sup>				
Wien Hohe Warte	46	69	91	160	245
Illmitz	30	67	107	187	311
Mistelbach	24	37	68	115	227
Ternitz	4	9	26	49	100
Pillersdorf	19	43	69	129	239
Dunkelsteinerwald	48	86	129	205	330
Gänserndorf	28	43	88	160	309

Bei einer Reduktion des Schwellenwertes um 10 µg/m<sup>3</sup> kommt es im Durchschnitt zu einer Verdoppelung der Anzahl der Stundenwerte oberhalb dieses Schwellenwertes. Im Verhältnis dazu steigt die Anzahl der Tage bei einer Änderung des Schwellenwertes etwas weniger an. Die Stationen verhalten sich in

den Verteilungen sehr ähnlich und unterscheiden sich nur durch die Anzahl der jeweiligen Vorkommnisse. Das zeigt, dass die Anzahl der Überschreitungen eines bestimmten Wertes der Ozonkonzentration pro Tag bei den verschiedenen Stationen sehr ähnlich ist (zw. 2 und 3). Das Verhältnis von Anzahl der Stundenwerte pro Tag ändert sich bei niedrigeren Untersuchungslevels der O<sub>3</sub>-Konzentration zu höheren Werten (z.B.: Wien Hohe Warte hat bei 180 µg/m<sup>3</sup> 158 höhere 1h-Werte an 69 Tagen, bei 160 µg/m<sup>3</sup> 430 höhere 1h-Werte an 160 Tagen). Aus diesen Ergebnissen heraus wurde der Ozonlevel, auf den die Zeitserien untersucht wurden, für fast alle Stationen auf 180 µg/m<sup>3</sup> festgelegt (Informationsschwelle!). Nur bei der Station Ternitz wurde auf Grund der geringen Anzahl von Tagen der Wert auf 160 µg/m<sup>3</sup> festgesetzt. Diese Levels ergaben eine genügend große Anzahl von Tagen mit hohen Ozonkonzentrationen, die untersucht werden konnten. Nachdem die Anzahl der Tage an den jeweiligen Stationen feststanden, waren auch die Verteilungen der Tage mit hohen Konzentrationen über die gesamte Periode von Interesse. Tabelle 4.2 zeigt die Anzahl der Tage pro Jahr, an denen erhöhte Konzentrationen von Ozon festgestellt wurden.

Tab. 4.2: Anzahl der Tage pro Jahr mit O<sub>3</sub>-Konzentrationen über 180 (Ternitz über 160) µg/m<sup>3</sup>

Station	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Wien Hohe Warte	0	0	16	2	35	9	5	3	12	4
Illmitz	32	8	10	4	8	4	8	0	8	0
Mistelbach	9	0	3	7	11	7	0	0	11	0
Pillersdorf	0	0	21	0	27	3	0	0	6	0
Dunkelsteinerwald	47	5	24	9	27	20	4	4	9	0
Gänserndorf	12	18	9	8	10	0	0	0	14	5
Ternitz	0	0	21	2	23	7	24	1	7	0

Station	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Wien Hohe Warte	3	2	3	22	2	9	12	14	1	0	4
Illmitz	20	0	1	26	0	0	25	17	0	0	3
Mistelbach	0	5	0	11	0	4	12	8	0	0	0
Pillersdorf	15	1	1	10	2	4	9	7	0	0	0
Dunkelsteinerwald	4	13	1	25	0	4	21	26	4	0	4
Gänserndorf	12	0	0	24	0	1	14	7	0	0	0
Ternitz	9	0	0	14	0	0	38	38	0	0	12

Es zeigt sich, dass es keine Regelmäßigkeiten oder Gesetzmäßigkeiten bei der Anzahl des Auftretens hoher Tageskonzentrationen von Ozon gibt. Zu erkennen

ist die erhöhte Anzahl bei mehreren Stationen in einem bestimmten Jahr, wie z.B. 1992 und 1994. Das brachte ein weiteres Kriterium für die Auswertung der Daten mit sich. Es wurde bei gewissen Auswertungen der Daten nicht nur nach Jahrzehnten, sondern auch in ozonreichere und ozonärmere Jahre unterteilt.

Die blau unterlegten Jahre in der Tabelle 4.2 werden zur Gruppe der ozonreicheren Jahre gezählt, die anderen bilden die zweite Kategorie. Der Schwellwert für die Aufteilung der Jahre war die zweistellige Anzahl von Tagen mit Ozonüberschreitungen an einer der Stationen in einem Jahr.

Eine weitere Auswertung zeigt die Tabelle 4.3, welche die Anzahl von 15-Tages-Perioden mit erhöhten Konzentrationen von Ozon angibt. Diese Perioden wurden so gewählt, dass bei einem Auftreten erhöhter Konzentrationen an einem Tag, jeweils sieben Tage vorher und nachher Daten aus dem Datensatz extrahiert und analysiert wurden. Das kann dazu führen, dass in diesem 15-Tages-Fenster das Tagesmaximum der Ozonkonzentration öfters als an einem Tag überschritten wurde. Deshalb ist die Anzahl der Perioden immer kleiner gleich der Anzahl der Tage des Auftretens hoher Konzentrationen. Damit keine Tage bei der Auswertung verloren gingen, kam es stellenweise zu Überlappungen der 15-Tages-Fenster.

Tab. 4.3: Häufigkeiten von 15-Tages-Perioden hoher Ozonkonzentrationen

Ozonkonzentration	190	180	170	160	150
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Wien Hohe Warte	31	38	48	76	93
Illmitz	18	29	41	66	93
Mistelbach	17	21	37	53	87
Ternitz	2	6	14	17	40
Pillersdorf	12	22	38	55	86
Dunkelsteinerwald	32	48	61	84	99
Gänsersdorf	21	26	38	63	99

Am Beispiel Illmitz zeigen die Tabellen 4.1 und 4.3, dass es 174 Überschreitungen der Ozonkonzentration mit einem Schwellwert von  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  bei den Stundenwerten gibt, diese an 66 Tagen aufgetreten sind und in 29 15-Tages-Perioden ausgewertet werden. Daraus ist zu schließen, dass es in diesem Fall bei jeder Periode im Durchschnitt zu zwei oder drei Überschreitungen des Tagesmaximums der Ozonkonzentration kommt.

### 4.3. Charakteristik von Perioden hoher O<sub>3</sub>-Tageskonzentration

Neben den einstündigen Werten der Ozonkonzentrationen wurden die NO<sub>2</sub>-Konzentrationen und meteorologischen Parameter der jeweiligen zugewiesenen Klimastation für den gleichen 15-Tages-Zeitraum extrahiert und immer ein Parameter mit den Konzentrationswerten von Ozon ausgewertet. Aus den Analysen aller Perioden können dadurch Muster erkannt und Zusammenhänge zwischen den Parametern erklärt werden.

#### 4.3.1. O<sub>3</sub>-Perioden und die Variabilität der Sonnenscheindauer

Die Sonnenscheindauer gibt die zeitliche Dauer der direkten Sonneneinstrahlung wieder und steht dadurch mit zwei anderen meteorologischen Parametern in enger Beziehung. Einerseits ist durch eine längere Sonnenscheindauer die Tagessumme an Globalstrahlung höher, was sich andererseits auf die Lufttemperatur auswirken kann. Beide Faktoren spielen eine wesentliche Rolle bei den chemischen Prozessen in der Luft und müssen bei den Analysen berücksichtigt werden.

Die Abbildung 4.3 zeigt am Beispiel der Stationen Gänserndorf und Groß Enzersdorf den Verlauf der Ozonkonzentrationen und der Tagessummen an Sonnenscheindauer während einer untersuchten 15-Tages-Periode.

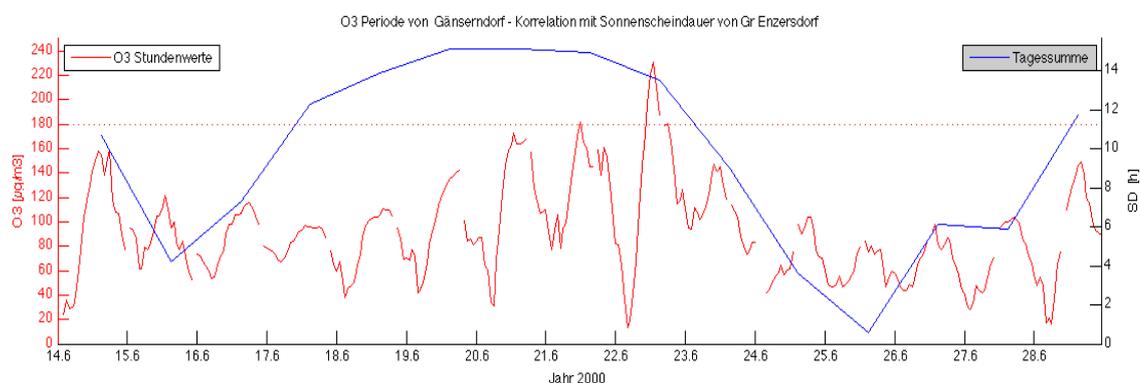


Abb. 4.3: Verlauf der Ozonkonzentration der Station Gänserndorf und Sonnenscheindauer der meteorologischen Station Gr. Enzersdorf im Zeitraum 14.6. – 28.6.2000

In den Vortagen des ersten Ereignisses (21.6.) sind Werte der Sonnenscheindauer von 13-15h pro Tag zu sehen, die am zweiten Ereignistag (22.6.) mit höherer Ozonkonzentration niedriger ausfallen. Das sind bei einer

möglichen effektiven Sonnenscheindauer von ~16h in dieser Region 80-90% der maximalen Sonnenscheindauer. Beim Verlauf der Ozonwerte ist ein mehrtägiger Aufbau der Ozonkonzentration mit ansteigenden Maximalwerten zu erkennen. Anschließend gehen die Konzentrationen mit den Werten der Sonnenscheindauer wieder zurück.

Ein weiterer interessanter Aspekt bei den Verläufen der O<sub>3</sub>-Werte ist die Variabilität der Nachtminima. Liegt das Minimum am 21.6. in der Nacht bei ~80 µg/m<sup>3</sup> und steigt tagsüber auf ein Tagesmaximum von 180 µg/m<sup>3</sup>, so fällt es in der Nacht auf den 22.6. auf ~20 µg/m<sup>3</sup> und steigt tagsüber auf ein Maximum von 230 µg/m<sup>3</sup> an. Diese unterschiedlichen Nachtminima lassen sich mit der Sonnenscheindauer nicht erklären und müssen in Kombination mit den anderen meteorologischen Parametern und advektiven Einflüssen weiterer chemischer Schadstoffe betrachtet werden. Auf die unterschiedlichen nächtlichen Verläufe der Stationen wird noch später im Kapitel über Windparameter genau eingegangen.

Eine weitere besondere Periode hoher Ozonkonzentrationen zeigt die Abbildung 4.4 am Beispiel Illmitz mit den meteorologischen Stationen Eisenstadt und Neusiedl.

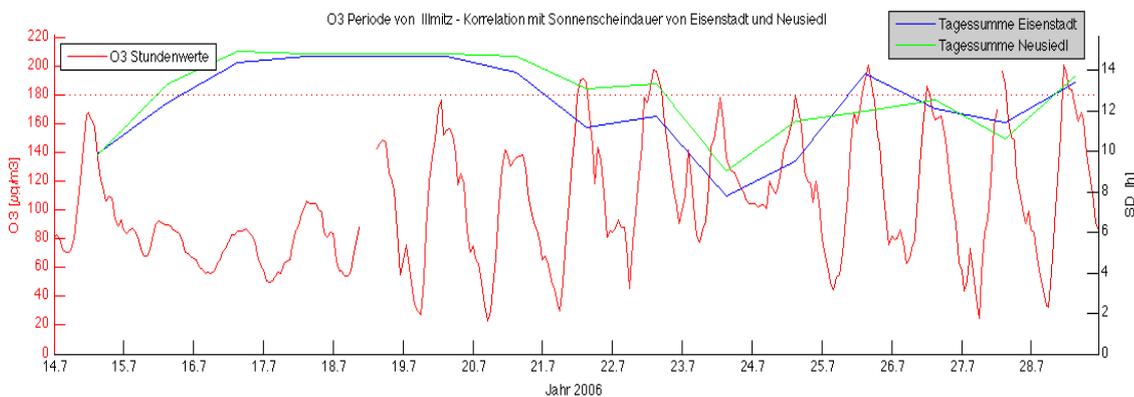


Abb. 4.4: Verlauf der Ozonkonzentration der Station Illmitz und Sonnenscheindauer der meteorologischen Stationen Eisenstadt und Neusiedl im Zeitraum 14.7. – 28.7.2006

In den Vortagen ist der Anstieg der Ozonkonzentrationen mit Werten hoher Sonnenscheindauer zu erkennen. Interessant ist der Verlauf der zweiten Woche, in der es mit variablen Werten von 8 - 14h an Sonnenscheindauer reicht, um die Maxima der Ozonwerte hoch zu halten. Durch die hohen nächtlichen Minima am 23.7. und 24.7. reichen schon Werte um 9 - 10h an Sonnenscheindauer, um kritische Konzentrationen von Ozon zu erreichen.

Durch die Analyse der einzelnen Perioden können einige Muster und Abhängigkeiten zwischen der Sonnenscheindauer und den Konzentrationen von Ozon erkannt werden. Um eine Charakteristik dieser Perioden zu finden, wurden alle Perioden einer Station ausgewertet und Perzentil-Berechnungen der Werte der Sonnenscheindauer durchgeführt. Die Abbildung 4.5 zeigt alle Perioden der Station Illmitz mit den Stundenwerten von Ozon und den Tagessummen der Sonnenscheindauer der Stationen Eisenstadt und Neusiedl. Zusätzlich wurden die 25- / 50- / 75- und 97,5-Perzentile aller Perioden eingetragen.

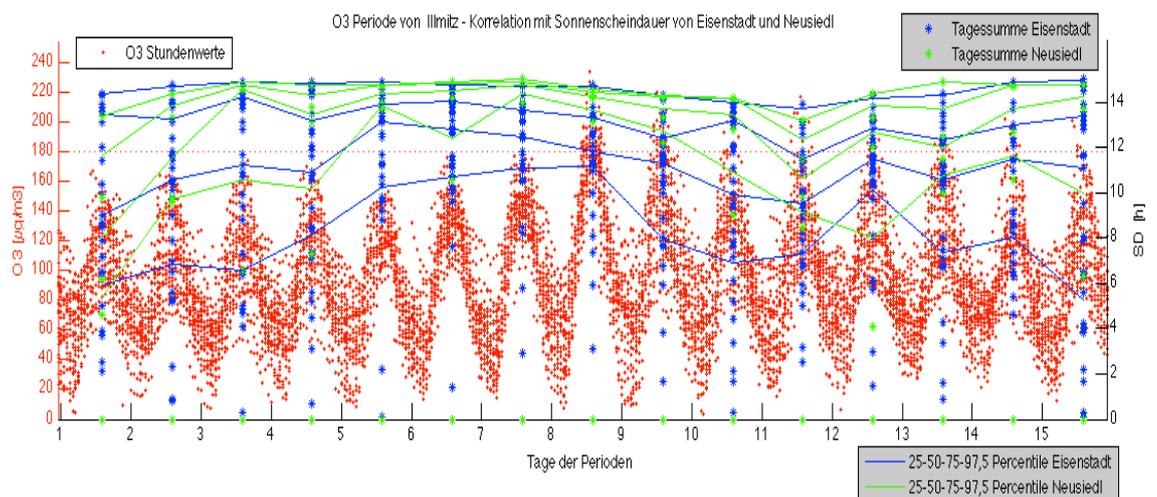


Abb. 4.5: Verlauf aller Perioden der Ozonkonzentration und Sonnenscheindauer der Station Illmitz mit den meteorologischen Stationen Eisenstadt und Neusiedl

Der Verlauf der Perzentile verdeutlicht die erhöhten Werte der Sonnenscheindauer in den Vortagen eines Ereignisses. Die geringste Streuung der Ozonwerte und der Perzentilverläufe liegt im Bereich von Tag 6 bis Tag 8 (Ereignisstag), in denen das 25-Perzentil in einem Bereich von 11-12h, und das 97,5-Perzentil bei 15h Sonnenscheindauer liegt. Die Station Neusiedl hat ihr Maximum der Perzentilwerte am Tag vor dem Ereignisstag und einen höheren Perzentil-Wertebereich vor und am Ereignisstag.

Diese Charakteristik des Verlaufes der Perzentile zeigt sich auch bei den Perioden der anderen Stationen, woraus man sieht, dass die Werte der Vortage einen wesentlichen Einfluss auf die Bildung von hohen Ozonkonzentrationen haben. Die Unsicherheit liegt in der Anzahl der Tage eines Anstiegs der Ozonmaxima, die trotz genügend vorhandener Sonnenscheindauer von einem bis vier Tagen dauern kann. Dies zeigen die Tage der geringsten Streuung der Perzentil-Verläufe, die immer in einem 2 – 3 Tagesfenster vor bzw. am

Ereignistag zu finden sind. Das Ergebnis zeigt, dass die Variabilität der Sonnenscheindauer einen deutlichen Zusammenhang zu den Tagesmaxima der Ozonkonzentration aufweist.

#### 4.3.2 O<sub>3</sub>-Perioden und die Variabilität der Globalstrahlung:

Die empfangene Globalstrahlung ist vom Zustand der Atmosphäre abhängig und steht mit der Sonnenscheindauer in engem Zusammenhang. Während bei der Sonnenscheindauer nur die direkte Sonneneinstrahlung gemessen wird, wird bei der Globalstrahlung auch die indirekte Strahlung gemessen. Wolken und Wetter können den Tagesgang der Globalstrahlung sehr stark beeinflussen und dadurch auf die Ozonvariabilität starken Einfluss ausüben. Die Abbildung 4.6 zeigt den Verlauf der Ozonkonzentration der Station Bergern im Dunkelsteinerwald mit den Globalstrahlungswerten der Stationen Jauerling und Krems im Zeitraum 13.4. bis 27.4.1996.

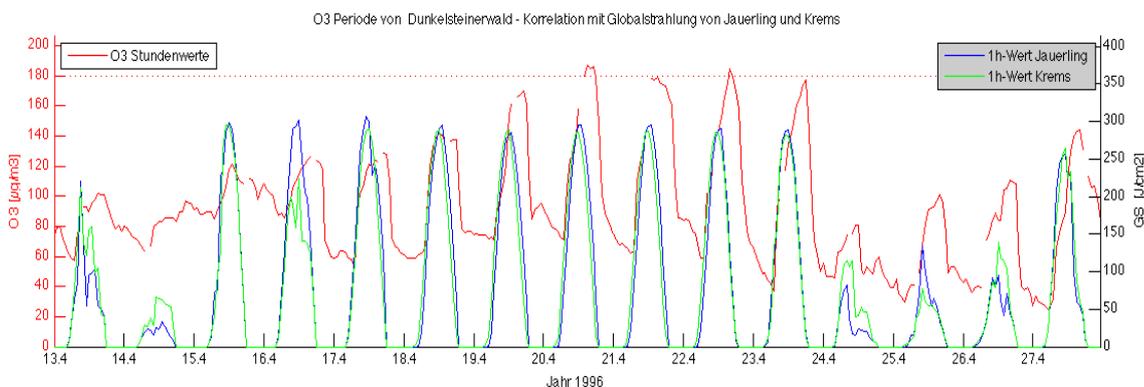


Abb. 4.6: Verlauf der Ozonkonzentration der Station Bergern/Dunkelsteinerwald und Globalstrahlung der meteorologischen Stationen Jauerling und Krems im Zeitraum 13.4. – 27.4.1996

In der Mitte der Periode ist ein 9-tägiger Zeitraum mit Maximalwerten der stündlichen Globalstrahlung von  $300 \text{ J/cm}^2$  ( $830 \text{ W/m}^2$ ) mit einem mehrtägigen Anstieg der Tagesmaxima der Ozonkonzentrationen zu erkennen. Diese bleiben mehrere Tage hindurch auf sehr hohem Level und zeigen am 24.4., korrespondierend mit der Globalstrahlung, einen starken Abfall. Außerdem ist eine charakteristische Phasenverschiebung der Ozonmaxima zum Maximum der Globalstrahlung zu sehen, die durch die verzögerten Reaktionen der Ozonchemie zustandekommt. Die annähernd gleich bleibenden Maxima der Ozonkonzentration zeigen, dass trotz hoher Globalstrahlungswerte kein

weiterer Anstieg der Konzentrationen möglich war. Dies kann durch das Fehlen notwendiger Primärstoffe oder durch das Einwirken anderer meteorologischer Faktoren verursacht sein.

In der Abbildung 4.7 ist ein Verlauf der Ozonkonzentration der Station Pillersdorf mit den Globalstrahlungswerten der meteorologischen Station Retz im Zeitraum 20.5. bis 3.6.2005 abgebildet.

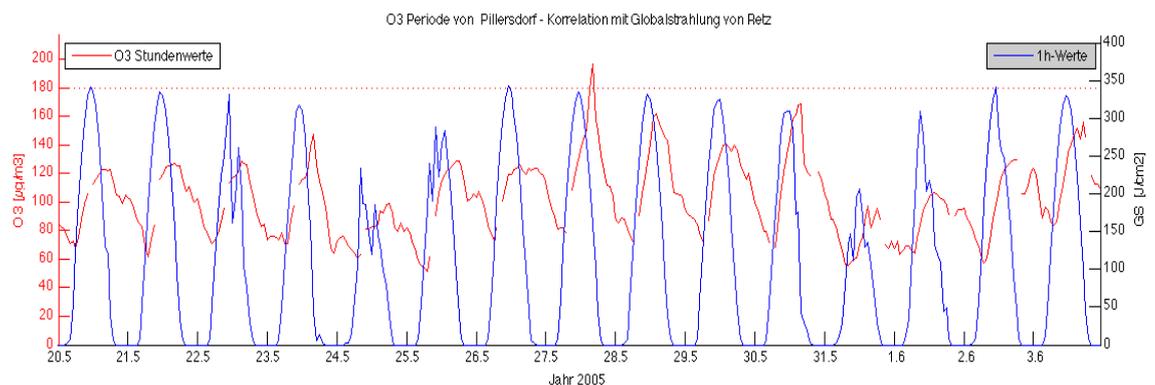


Abb. 4.7: Verlauf der Ozonkonzentration der Station Pillersdorf und Globalstrahlung der meteorologischen Station Retz im Zeitraum 20.5. – 3.6.2005

Hier zeigt der Verlauf fast über die ganze Periode sehr hohe Tagesmaxima der stündlichen Globalstrahlungswerte mit bis zu  $340 \text{ J/cm}^2$  ( $940 \text{ W/m}^2$ ). Die Reaktionen der  $\text{O}_3$ -Konzentrationen auf die variierende Globalstrahlung sind tageweise zu sehen, jedoch gibt es über die ganze Periode nur eine Überschreitung des Ozonlevels von  $180 \text{ µg/m}^3$ . Dies zeigt, dass bei dieser Station weitere Parameter (Advektion von Primärschadstoffen) wirksam sein müssen, um die Konzentrationen von Ozon auf sehr hohe Levels zu steigern. Wie bei der Sonnenscheindauer wurde durch Überlagerung aller Perioden versucht, Muster bzw. Charakteristika der Stationen zu erkennen. Durch die Berechnung der verschiedenen Perzentile ist es möglich, statistische Merkmale zu erkennen und Aussagen über das Verhalten der Konzentrationen in Bezug auf die Globalstrahlung an der jeweiligen Station zu treffen. In den Abbildungen 4.8 und 4.9 sind die Perioden der Stationen Bergern / Dunkelsteinerwald und Pillersdorf, mit den Perzentilen der Globalstrahlung der dazugehörigen meteorologischen Stationen Jauerling, Krems und Retz, abgebildet. Bei beiden Stationen ist zu erkennen, dass sich die Kurven der unteren (25, 50, 75) Perzentile in den letzten zwei Tagen vor dem Ereignisstag (Tag 8) zu höheren Werten drängen und die geringste Streuung der Kurven am Ereignisstag liegt.

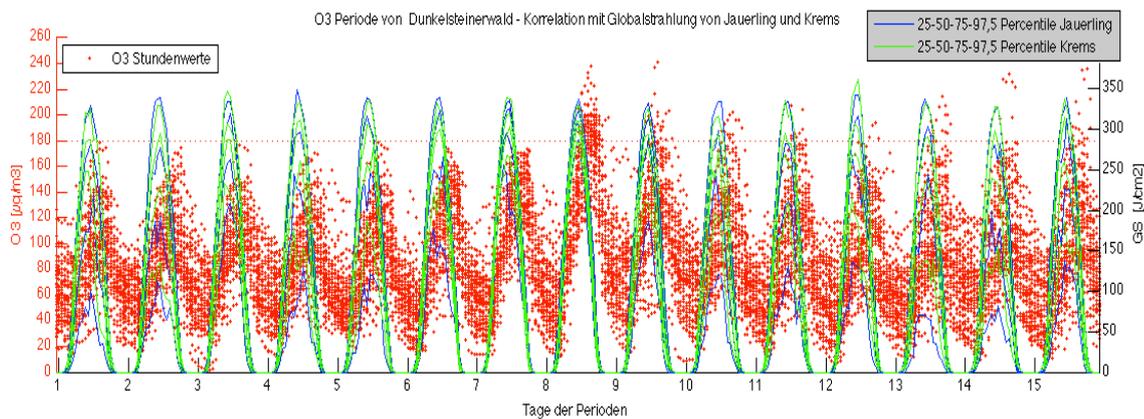


Abb. 4.8: Verlauf aller Perioden der Ozonkonzentration der Station Bergern /Dunkelsteinerwald und Perzentile der Globalstrahlung der meteorologischen Stationen Jauerling und Kreams

Wegen der geographischen Nähe und der geringen orographischen Einflüsse auf die empfangene Strahlung an den drei meteorologischen Stationen, liefern die Stationen ähnliche Ergebnisse bei der Auswertung. So liegt das 97,5-Perzentil durchgehend bei  $320 \text{ J/cm}^2$  (Kreams) bis  $350 \text{ J/cm}^2$  (Jauerling und Retz), und das 25-Perzentil steigt bis zum Ereignisstag auf  $280 \text{ J/cm}^2$  (Kreams  $250 \text{ J/cm}^2$ ). Durch die Zunahme der einfallenden Strahlungsenergie steht mehr Energie für die Photolyse der Schadstoffe zur Verfügung und begünstigt durch die Erwärmung der Luft die Reaktionen der Ozonchemie.

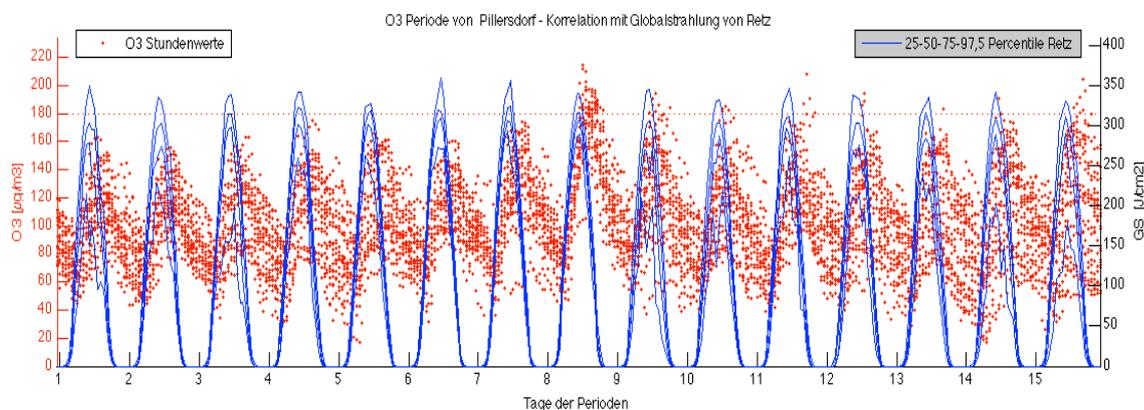


Abb. 4.9: Verlauf aller Perioden der Ozonkonzentration der Station Pillersdorf und Perzentile der Globalstrahlung der meteorologischen Station Retz

Es ist zu erkennen, dass die Globalstrahlung eine Grundvoraussetzung für hohe Tageskonzentrationen des Ozons ist, und in Verbindung mit den richtigen chemischen (Verteilung der Vorläufersubstanzen) und meteorologischen Bedingungen die Möglichkeit hat, auch mit geringeren Tagessummen an Globalstrahlung die  $\text{O}_3$ -Konzentrationen über bestimmte Schwellwerte (Informationsschwelle) ansteigen zu lassen. Diese Charakteristik ist in Verbindung mit hohen Tagessummen an Globalstrahlung in den Vortagen zu beobachten.

### 4.3.3 O<sub>3</sub>-Perioden und die Variabilität der Windstärke

Die Windstärke kann in verschiedener Art und Weise auf die Ozonbildung Einfluss nehmen. Sie ist wichtig bei der Advektion von Vorläufersubstanzen und der Verteilung von Ozonpartikeln, sowie bei der Durchmischung mit anderen Luftmassen in vertikaler und horizontaler Richtung. Sie kann durch Strahlung in Form von thermisch induzierter Turbulenz hervorgerufen werden und spielt auch in diesem Zusammenhang eine wichtige Rolle. Im Wesentlichen besitzt jede Station ihre Hauptwindrichtungen, die sich auch in den Windstärken durch höhere Werte niederschlagen. Im Gegensatz zur Sonnenscheindauer und Globalstrahlung ist die Variabilität der Windstärke im Tagesgang höher. In der Abbildung 4.10 ist eine Periode der Station Wien Hohe Warte im Zeitraum 15.6. bis 29.6.2000 zu sehen, in der die Ozonvariabilität mit den Stunden- und Tagesmittelwerten der Windstärke aufgetragen sind.

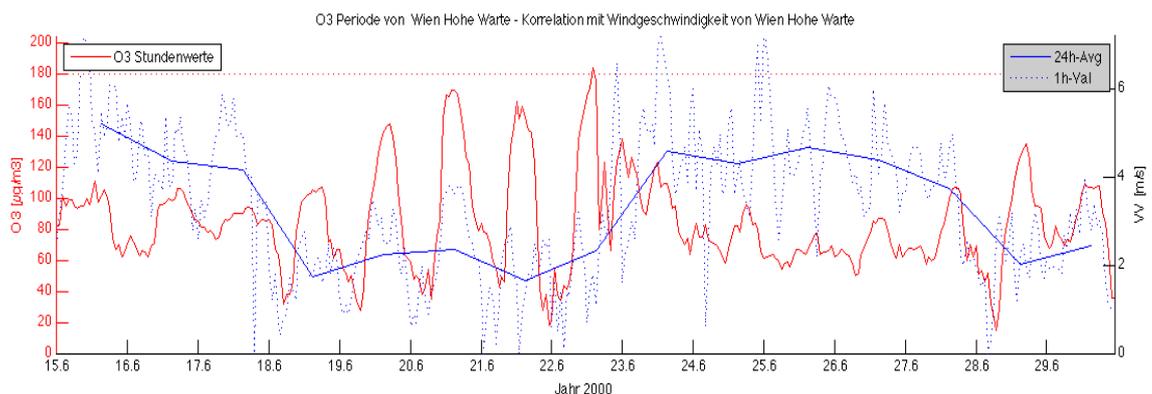


Abb. 4.10: Verlauf der Ozonkonzentration und Wineschwindigkeit der Station Hohe Warte im Zeitraum 15.6. – 29.6.2000

Der Verlauf zeigt in den Aufbau Tagen der Ozonkonzentration einen Rückgang der Windgeschwindigkeit von einem Tagesmittel  $>4$  m/s auf  $\sim 2$  m/s. Bei dem danach folgenden Anstieg der Windgeschwindigkeit sinkt die Konzentration von Ozon sofort wieder auf einen Normalwert.

Dieses Bild ist charakteristisch für die Perioden aller Stationen und unterscheidet sich meist nur in den Werten der Windstärken der Stationen. In den Vortagen kommt es zu Windgeschwindigkeiten mit bis zu 4 m/s im Stundenmittel, die sich auf die O<sub>3</sub>-Konzentration kaum auszuwirken scheinen. Im Gegensatz dazu kommt es am Nachmittag des Ereignistages (22.6.) zu einem plötzlichen Abfall der O<sub>3</sub>-Konzentration, obwohl die Windstärke erst verspätet auf Windspitzen über 6 m/s ansteigt. Erklärungen könnten die

Überschreitung einer charakteristischen Windgeschwindigkeit und die dadurch ausgelöste turbulente Diffusion oder andere Parameter sein. Bei der Betrachtung der Windrichtung ist zu sehen, dass es im Moment des Anstiegs der Windgeschwindigkeit zu einer Drehung des Windes von SO über SW auf W kommt. Dadurch ist die für Wien typische SO-Lage nicht mehr gegeben und die Schadstoffe werden in die Umgebung von Wien transportiert.

Nicht nur die urbane Station Hohe Warte mit dem umgebenden Stadtgebiet zeigt dieses Muster, auch die Talstation Ternitz in Abbildung 4.11 mit den meteorologischen Stationen Reichenau, Puchberg und Wr. Neustadt zeigt ein ähnliches Verhalten.

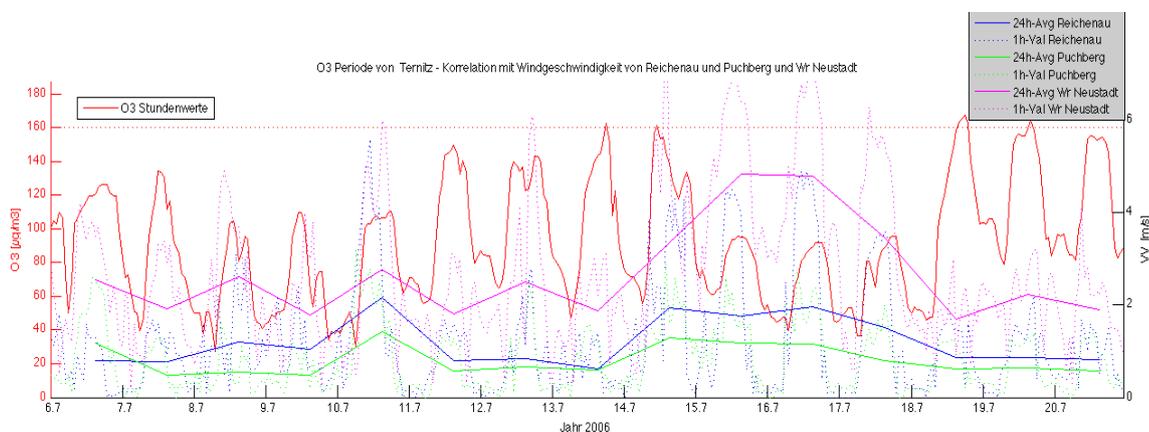


Abb. 4.11: Verlauf der Ozonkonzentration der Station Ternitz und Windgeschwindigkeit der meteor. Stationen Reichenau, Puchberg und Wr. Neustadt im Zeitraum 6.7. – 20.7.2006

Die Talstationen Reichenau und Puchberg zeigen im Mittel deutlich schwächere Windstärken als Wr. Neustadt, welches am Rande des Wiener Beckens liegend sehr stark im Einflussgebiet des Schneeberg-Rax-Wechsel-Berglandes steht. Dies kommt dadurch zustande, dass sich in diesem Gebiet sehr oft ein Berg-Talwind-System ausbildet, was auch in den Windrichtungen zu sehen ist. Prinzipiell zeigen die Verläufe der drei Stationen ein korrespondierendes Verhalten, wobei die Variabilität der O<sub>3</sub>-Konzentration zu anderen Stationen sichtbar unruhiger verläuft. Dies ist auf die beschränkte Sonneneinstrahlung (Abschattungen) des Tales und auf die advektiven Einflüsse der Berg- und Talwinde zurückzuführen. Es sind auch hier reduzierte Windstärken an den Vortagen und am Tag der Überschreitung zu sehen, die mit dem Aufkommen höherer Windstärken die O<sub>3</sub>-Konzentration abfallen lassen. Wie auch bei der Station Wien Hohe Warte zu sehen war, gibt es für jede Station eine charakteristische Windstärke, ab der sie auf die Ozonkonzentrationen Einfluss

hat. Auf die genaueren Werte dieser Windstärken wird bei den statistischen Untersuchungen der verschiedenen Stationen in einem späteren Kapitel genauer eingegangen.

Eine weitere Möglichkeit der Verdeutlichung dieser Charakteristika zeigt die Überlagerung aller Perioden am Beispiel Wien Hohe Warte in der Abbildung 4.12. Neben den O<sub>3</sub>-Konzentrationen und den Tagesmitteln der Windgeschwindigkeiten sind die unterschiedlichen Perzentile dargestellt. In der ersten Woche ist die Konzentration der Perzentile zu niedrigeren Werten mit der geringsten Streuung am Ereignisstag (Tag 8) zu erkennen. An diesem Tag liegt das 75-Perzentil der mittleren Tageswindgeschwindigkeiten bei 2 m/s, und das 97,5-Perzentil bei 3,6 m/s.

Mit Hilfe dieser Ergebnisse kann ein Wertebereich für die charakteristischen Windstärken der jeweiligen Stationen ermittelt werden. Im Wesentlichen zeigen die Bilder einen sehr deutlichen Zusammenhang zwischen den Tagen reduzierter Windstärken und den Tagen hoher Ozonkonzentrationen. In den Fällen, in welchen ein anderes Verhalten sichtbar ist, ist es ratsam die Komponente der Windrichtung und die anderen meteorologischen Parameter bei den Analysen zu berücksichtigen.

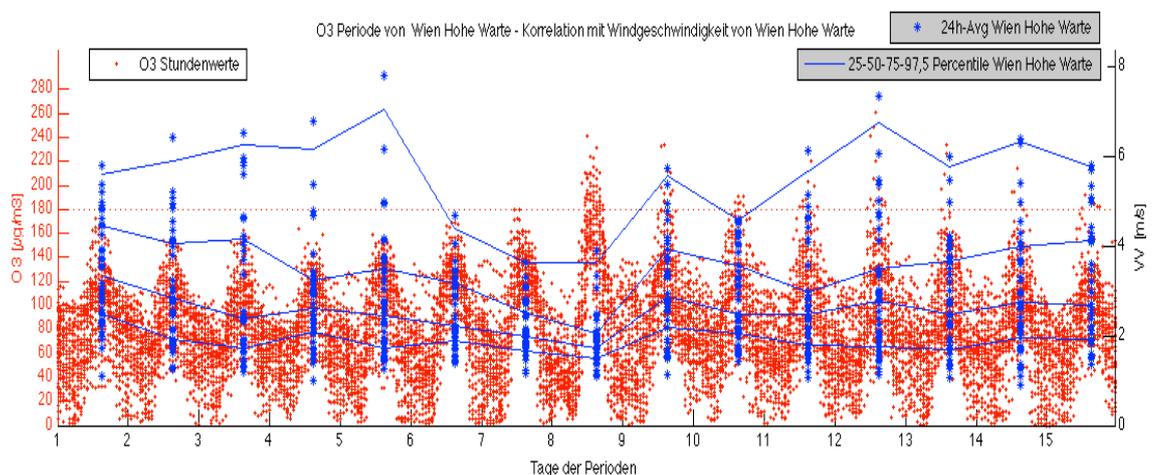


Abb. 4.12: Verlauf aller Perioden der Ozonkonzentration und Perzentile der Windgeschwindigkeiten der Station Wien Hohe Warte

Bei der Variabilität des Windes in den Stundenmittel ist es ratsamer auf noch kleinere Zeitskalen von 1-3 Tagen umzusteigen, um die genaueren Auswirkungen auf die O<sub>3</sub>-Konzentration zu interpretieren. Die Ergebnisse der Perzentile ergeben auf jeden Fall eigene Muster der Windstärke, die einen Anstieg der Konzentrationen von Ozon ermöglichen. Der Dualismus der

Windstärke, als advective und turbulente Größe von Luftmassenbewegungen, kann die O<sub>3</sub>-Konzentrationen in positiver als auch negativer Richtung beeinflussen und wird nur durch den Betrag der Windstärke geregelt.

#### 4.3.4 O<sub>3</sub>-Perioden und die Variabilität der Windrichtung

Die Windrichtung, die vor allem bei der Advektion von Luftmassen und damit auch bei der Verteilung von Luftschadstoffen eine große Rolle spielt, verhält sich in ihrer Variabilität sehr ähnlich der Windgeschwindigkeit. Jede Station weist im Prinzip eine oder zwei Hauptwindrichtungen auf, die in den meisten Fällen mit höheren Windgeschwindigkeiten korrespondieren. In der Abbildung 4.13 ist die Häufigkeitsverteilung der Anzahl der aufgetretenen Windrichtungen der meteorologischen Stationen Oberleis, Poysdorf und Hohenau als Windrose abgebildet. Bei den Auswertungen der Windrichtung wurden die 360° in 8 Sektoren zu je 45° aufgeteilt.

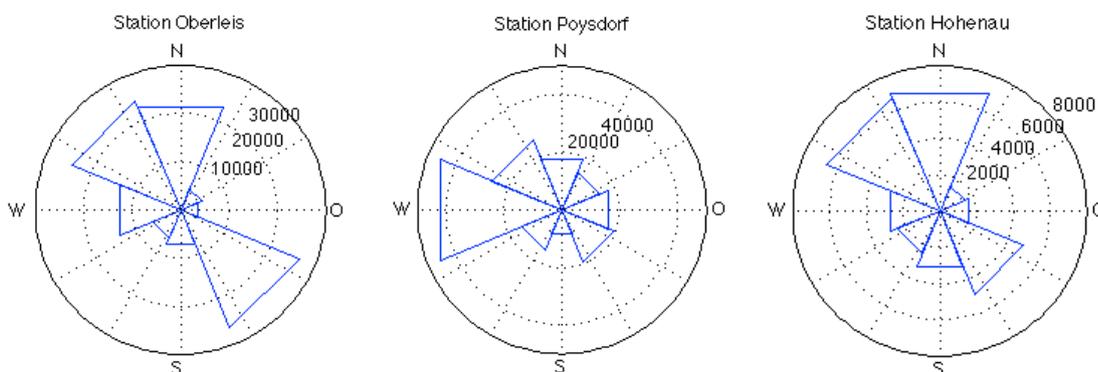


Abb. 4.13: Häufigkeitsverteilungen der Anzahl der aufgetretenen Windrichtungen (Stundenmittel) der meteorologischen Stationen Oberleis, Poysdorf und Hohenau als Rose-Plot

Alle drei Stationen sind der Luftgütemessstation Mistelbach zugeteilt. Die Station Oberleis ist auf Grund ihrer exponierten Hügellage in Bezug auf Windstärke und Windrichtung gesondert zu betrachten. Deutlich ist die westliche Hauptwindrichtung der Station Poysdorf und die Nord- und Nordwest-Richtung bei der Station Hohenau zu erkennen. Auch Oberleis zeigt diese Hauptwindrichtungen, zeigt aber noch die südöstliche Richtung als dritte Hauptwindrichtung.

Viel wichtiger als die mit höheren Windgeschwindigkeiten auftretenden Hauptwindrichtungen, sind die Richtungen der kleineren Anteile, so wie die S-, SO-Richtung bei der Station Hohenau, bzw. O-, SO-Richtung bei der Station

Poysdorf. Dies sind die Richtungen, die am häufigsten bei einem Abbruch der Hauptwindrichtung und damit auch meistens mit geringeren Windgeschwindigkeiten auftreten. Am Beispiel Mistelbach in der Abbildung 4.14, ist der Verlauf der O<sub>3</sub>-Konzentration und Windrichtung einer Periode vom 31.7. bis 14.8.2007 mit den dazugehörigen meteorologischen Stationen zu sehen.

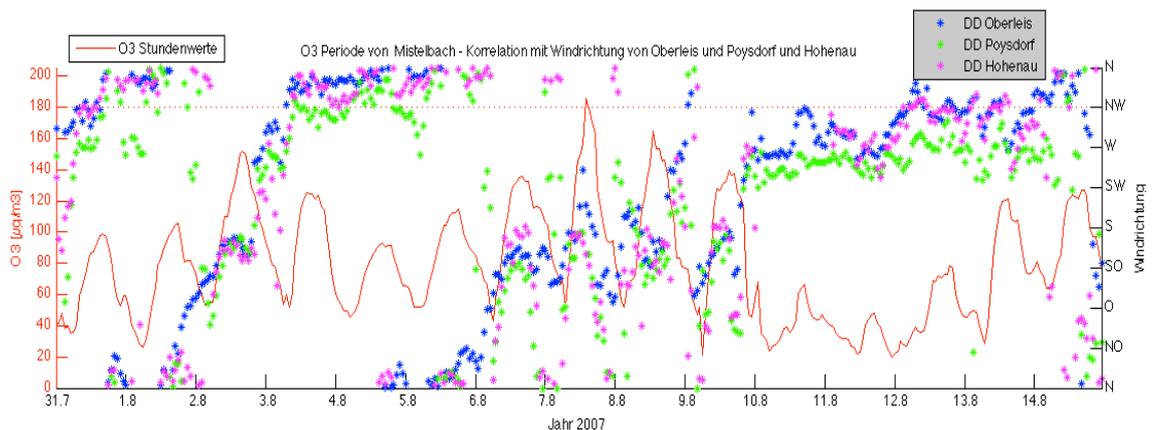


Abb. 4.14: Verlauf der Ozonkonzentration der Station Mistelbach und Windrichtung der meteor. Stationen Oberleis, Poysdorf und Hohenau im Zeitraum 31.7. – 14.8.2007

Deutlich sind die vorherrschenden Hauptwindrichtungen aus den nördöstlichen bis nordwestlichen Richtungen in der ersten Woche erkennbar, die nur am dritten Tag (2.8.) von Südwind unterbrochen werden. Gleichzeitig ist ein erhöhter Anstieg der O<sub>3</sub>-Konzentration an diesem Tag zu erkennen, der durch die weitere Winddrehung in den Folgetagen gleich wieder reduziert wird. Erst ein mehrtägiger Zusammenbruch der Hauptströmung am 6.8. ermöglicht den Aufbau der O<sub>3</sub>-Konzentration und die Überschreitung am 7.8. Hier dreht der Wind während des Tages auf südöstliche Richtungen und auf nördliche Richtungen in den Nachtstunden.

Nach dieser 4-tägigen Phase dreht der Wind wieder auf seine Hauptrichtung und die Konzentrationen bleiben im unteren Niveau. So klar dieses Ergebnis auch scheinen mag, ist es dennoch an den Tagen 8.8. und 9.8., trotz anhaltenden Windes aus den südlichen Richtungen, nur zu höheren Werten und keiner Überschreitung der O<sub>3</sub>-Konzentration gekommen. Dies deutet auf die Variabilität einer anderen Komponente hin, was nur durch die Betrachtung aller untersuchten Komponenten geklärt werden kann.

In einem anderen Beispiel in der Abbildung 4.15 sehen wir die Station Bergern im Dunkelsteinerwald mit den meteorologischen Stationen Krems und Jauerling

in einer Periode vom 13.4. bis 27.4.1996. Hier kommt es fast an fünf hintereinander folgenden Tagen zu einer Überschreitung des Ozonlevels von  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . In den ersten Tagen der Periode sind die vorherrschenden nordwestlichen Windrichtungen zu sehen, die ab dem 17.4. für eine Woche unterbrochen sind. An den darauf folgenden beiden Tagen (17.4. und 18.4.) stellten sich an der Station Jauerling N- und NO- Richtungen ein, während die Station Krems sehr indifferente Richtungen anzeigt. Sie wiesen tagsüber einen nördlichen und einen östlichen Schwerpunkt auf.

Die Konzentrationen von Ozon zeigen in diesen Tagen eine geringe Erhöhung zu den Normalwerten. Ab dem 19.4. zeigen beiden Stationen deutliche Muster der Windrichtung, die mit dem Aufkommen der nordwestlichen Hauptwindrichtungen abbrechen, und die  $\text{O}_3$ -Konzentrationen auf einem niedrigen Level halten.

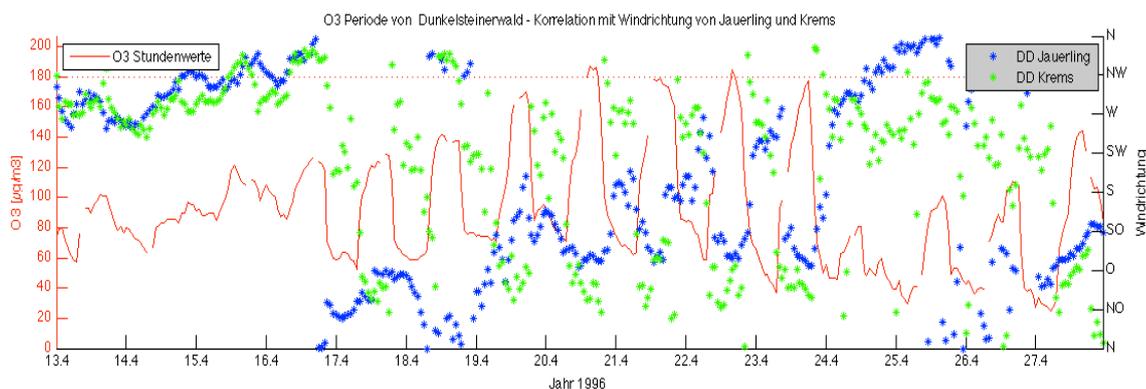


Abb. 4.15: Verlauf der Ozonkonzentration der Station Bergern / Dunkelsteinerwald und Windrichtung der meteorologischen Stationen Jauerling und Krems im Zeitraum 13.4. – 27.4.1996

Das Muster der Station Jauerling zeigt sich in ost-südöstlichen Windrichtungen tagsüber und süd-südwestlichen Richtungen während der Nachtstunden. Die Station Krems zeigt tagsüber Richtungen aus Ost und Nordost, während sie in den Nachtstunden auf westliche Richtungen dreht.

Wie in den Beispielen zu sehen ist, haben die Stationen in den meisten Fällen ihr charakteristisches Muster, das sie in den Tagen hoher  $\text{O}_3$ -Konzentrationen zeigen. Um dieses Muster zu verdeutlichen, wurden alle Perioden einer Station übereinander gelegt und graphisch ausgewertet. In den Abbildungen 4.16 und 4.17 sind die Perioden der  $\text{O}_3$ -Station Bergern im Dunkelsteinerwald mit den meteorologischen Stationen Jauerling und Krems abgebildet. Sehr deutlich und klar sind die unterschiedlichen Muster der Stationen in ihren jeweiligen Windrichtungen zu erkennen. Bei der Station Jauerling erkennt man ihre

ausgeprägten westlichen Hauptwindrichtungen und die zwei bis drei Tage vor dem Ereignisstag sich verdichtende zweite Hauptwindrichtung aus der östlichen Richtung. Gleichzeitig mit der Verstärkung der Ostrichtung sieht man die starke Reduktion der westlichen Richtungen.

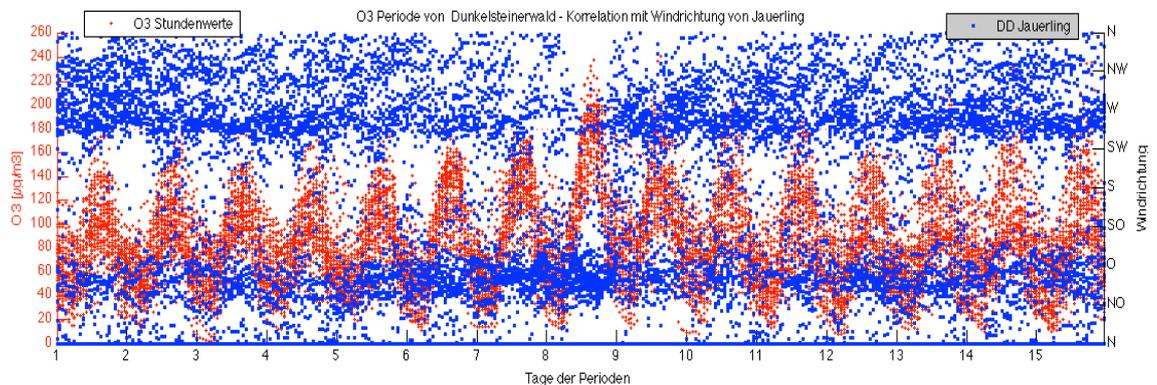


Abb. 4.16: Verlauf aller Perioden der Ozonkonzentration der Station Bergern / Dunkelsteinerwald mit der Windrichtung der meteorologischen Stationen Jauerling

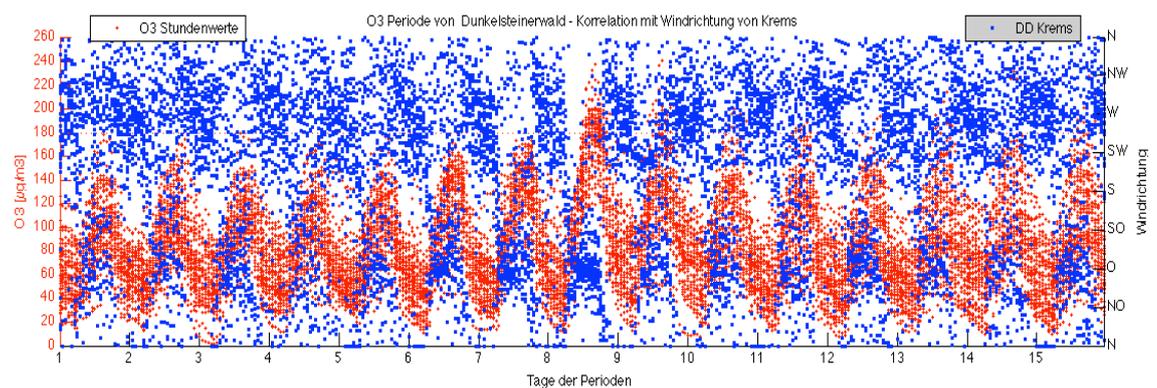


Abb. 4.17: Verlauf aller Perioden der Ozonkonzentration der Station Bergern /Dunkelsteinerwald mit der Windrichtung der meteorologischen Stationen Krems

Bei der Station Krems hingegen bemerkt man sehr gut das Muster zwischen Tages- und Nachtrichtungen. Sind es vor allem die östlichen Richtungen, die tagsüber zum Vorschein kommen, so liegt der Schwerpunkt in der Nacht auf den westlichen Richtungen. Zu beachten ist, dass die Hügelstation Jauerling in 952m Höhe stärker unter dem Einfluss der großräumigen Luftströmungen steht als die Station Krems. Trotz der geographischen Unterschiede zeigen die beiden Stationen ein sehr ähnliches Verhalten. Durch die geographische Lage der Station Bergern zu den nahegelegenen urbanen Gebieten Krems und St.Pölten wird deutlich, dass die östlichen Windrichtungen die Advektion von Luftschadstoffen zur Station positiv beeinflussen.

### 4.3.5 O<sub>3</sub>-Perioden und die Variabilität des Stickoxids NO<sub>2</sub>

Die NO<sub>2</sub>-Konzentration ist neben den Konzentrationen der VOCs einer der wichtigsten chemischen Parameter zur Bildung hoher Ozonkonzentrationen. Ihre Variabilität ist auf Grund der Kurzlebigkeit von NO<sub>2</sub> höher als die von Ozon und weist regional auch in der Höhe der Konzentrationen sehr große Unterschiede auf.

Urbane und industrielle Gebiete wie Wien und deren Umgebung weisen im Vergleich wesentlich höhere Periodenmittelwerte der NO<sub>2</sub>-Konzentration als ländliche Gegenden auf. Durch Advektion von Luftmassen aus städtischen Gebieten (sog. städtische Abluffahnen oder urban plume) können diese Gebiete dadurch höhere Ozonkonzentrationen aufweisen.

In der Abbildung 4.18 ist eine Periode der Ozon- und NO<sub>2</sub>-Konzentrationen der Station Wien Hohe Warte im Zeitraum 23.5. bis 6.6.1999 abgebildet. Die Station Hohe Warte zeigt in ihren Verläufen die größte Variabilität der NO<sub>2</sub>-Tagesmittelwerte, die ein charakteristisches Muster erkennen lassen. Typisch bei den meisten Tagesgängen der NO<sub>2</sub>-Konzentrationen in Wien sind die Spitzen, die in den Früh- und Vormittagsstunden sowie in der ersten Nachthälfte auftreten. Korrespondierend dazu stehen immer die starken Abnahmen der Ozonkonzentrationen, die z.B. in der Nacht zum 29.5. ein absolutes Minimum aufweisen. Ausschlaggebend dafür sind die Verkehrsspitzen zu den Früh- und Abendzeiten, die zu den chemischen Prozessen zwischen Ozon und NO führen. Während des Tages ist beim Anstieg der O<sub>3</sub>-Konzentrationen ein Rückgang der NO<sub>2</sub>-Konzentrationen zu einem Tagesminimum zu beobachten.

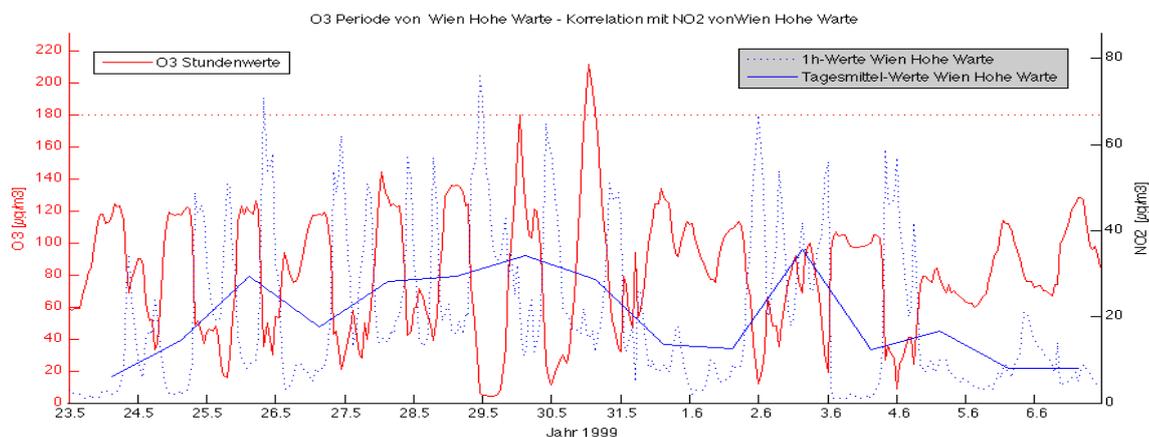


Abb. 4.18: Verlauf der Ozon- und NO<sub>2</sub>-Konzentration der Station Wien Hohe Warte im Zeitraum 23.5. – 6.6.1999

Obwohl dieses Signal in den Verläufen sehr deutlich zum Ausdruck kommt, ist aber das Ansteigen der Ozonkonzentrationen auf höhere Werte durch die NO<sub>2</sub>-Konzentrationen nicht sichtbar und erklärbar.

Auch bei ländlichen Stationen, wie am Beispiel der Station Pillersdorf in Abbildung 4.19, ist ein Tagesgang der NO<sub>2</sub>-Konzentrationen zu sehen. Diese zeigen in ihren Verläufen keinen markanten Hinweis auf einen wesentlichen Zusammenhang mit hohen Konzentrationen von Ozon. Der Tagesmittelwert der NO<sub>2</sub>-Konzentration schwankt sehr gering und auch die Tagesmaxima bleiben weit unter 20 µg/m<sup>3</sup>. Dieses Verhalten bleibt über die beiden Wochen bestehen und erklärt nicht die höheren Werte der O<sub>3</sub>-Konzentrationen in der zweiten Woche.

Der wesentliche Unterschied zwischen den beiden Stationen ist das Gebiet in dem sie stehen. Das urbane Gebiet Wien ist ein NO<sub>x</sub>-sensitives Gebiet im Gegensatz zu Pillersdorf als VOC-sensitives Gebiet. Das erklärt die unterschiedlichen NO<sub>2</sub>-Verläufe der Stationen.

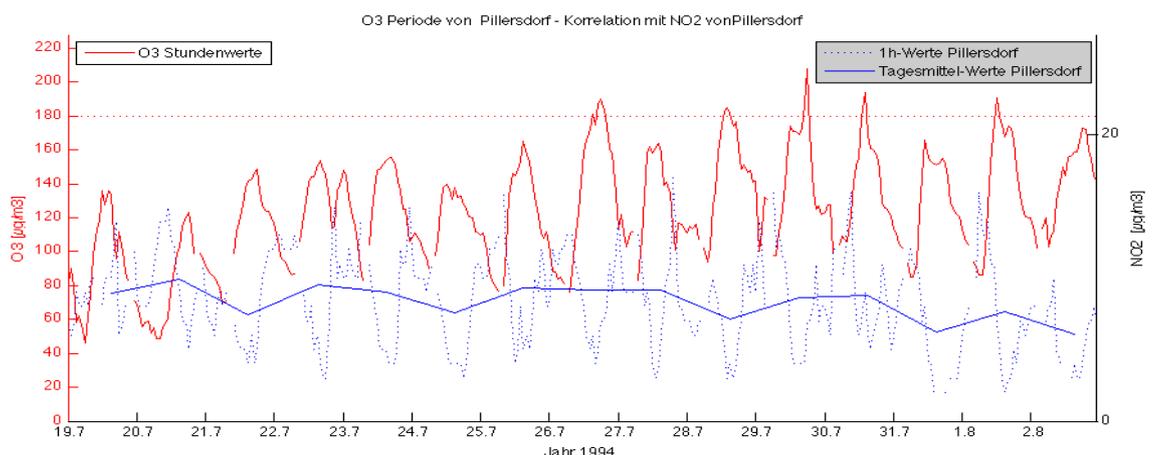


Abb. 4.19: Verlauf der Ozon- und NO<sub>2</sub>-Konzentration der Station Pillersdorf im Zeitraum 19.7. – 2.8.1994

Bei der Betrachtung aller Perioden an den Stationen zeigt sich wie schon bei den einzelnen Perioden ein sehr unterschiedliches Bild der Konzentrationen von NO<sub>2</sub>, mit gemäßigten Tagesmittelwerten und geringen Schwankungen bei den Perzentilen. Die einzige Station, die ein markanteres Signal zeigt, ist die Station Wien Hohe Warte, bei der als urbanes Gebiet mit Verkehr und Industrie die NO<sub>2</sub>-Konzentration gesondert betrachtet werden muss.

In der Abbildung 4.20 sehen wir alle Perioden der Station Wien Hohe Warte mit den Tagesmittelwerten und deren unterschiedlichen Perzentilen. Auf den ersten Blick ist ein Anstieg der 25-, 50- und 75-Perzentile in der ersten Woche auf ein

Maximum mit der geringsten Streuung am Ereignisstag zu erkennen, dem ein Abfall der Perzentile folgt. Die erhöhten  $\text{NO}_2$ -Morgenkonzentrationen am Ereignisstag bewirken einen Anstieg der Ozonkonzentrationen und mit Hilfe weiterer chemischen Primärstoffen (VOCs) die Möglichkeit eines erhöhten Ozonbildungspotentiales im Raume Wien.

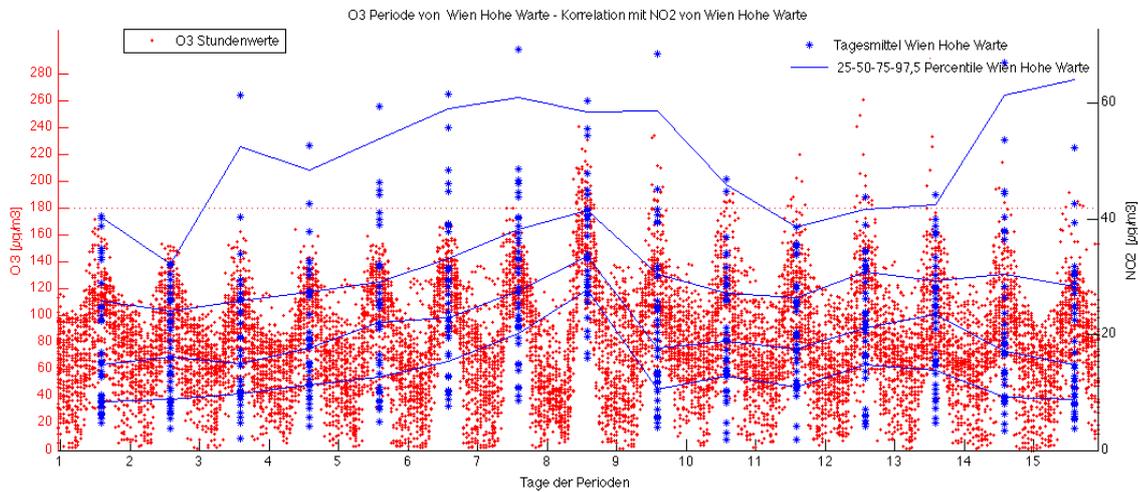


Abb. 4.20: Verlauf aller Ozonkonzentrationen und Perzentile der  $\text{NO}_2$ -Konzentrationen der Station Wien Hohe Warte

#### **4.4 Einzelfallstudien hoher Ozonkonzentrationen**

Ausgehend von den Analysen der einzelnen meteorologischen Parameter mit Perioden hoher Ozonkonzentrationen werden nun einzelne Perioden mit allen untersuchten meteorologischen Parametern betrachtet. Daraus kann man Zusammenhänge zwischen den meteorologischen Faktoren, in Abhängigkeit der O<sub>3</sub>-Konzentrationen und den spezifisch regionale Eigenschaften der Stationen, erkennen. Die Untersuchungen werden wieder in dem 15-Tages-Fenster durchgeführt.

##### **4.4.1 Fallbeispiel Bergern im Dunkelsteinerwald (26.8. - 9.9.1997)**

Bei der Untersuchung der näheren Umgebung der Luftgütestation Bergern liegt in nordöstlicher Richtung gelegen die Stadt Krems (7km Entfernung) und in süd-südöstlicher Richtung die Stadt St. Pölten (20km Entfernung) als urban erschlossene Gebiete. Die Station liegt am südöstlichen Rand des Waldviertels zur Grenze zum Mostviertels hin, auf einem südlich der Donau gelegenen Hügel im Dunkelsteinerwald.

Die dazugehörigen meteorologischen Stationen Krems und Jauerling liegen relativ zu Bergern in nordöstlicher und süd-südwestlicher Richtung, die Station Krems im Donautal in der Wachau im urbanen Randgebiet der Stadt Krems, die Station Jauerling am Jauerling (952m), der höchsten Erhebung des Waldviertels in süd-südwestlicher Richtung zu Bergern am westlichen Ufer der Donau. Auf Grund dieser exponierten Höhenlage können höhere Windgeschwindigkeiten und Strahlungswerte auftreten.

In der Abbildung 4.21 sind alle meteorologischen Komponenten der Stationen Jauerling und Krems mit der Ozonstation Bergern im Zeitraum 26.8. bis 9.9.1997 zu sehen. Die 15-tägige Periode kann in zwei Bereiche der O<sub>3</sub>-Variabilität geteilt werden, den mit Tagesgang und höheren Werten der O<sub>3</sub>-Konzentration (Tage 1-3 und 7-11) und jenen mit rauschendem Verlauf im niedrigen Konzentrationsbereich. Die ersten drei Tage zeigen trotz einer Sonnenscheindauer von 12 h/Tag im Mittel und hohen Werten der Globalstrahlung ( $\sim 300 \text{ J/cm}^2$ ) mit reduzierten Windgeschwindigkeiten nur erhöhte Tagesmaxima bei den Ozonwerten.

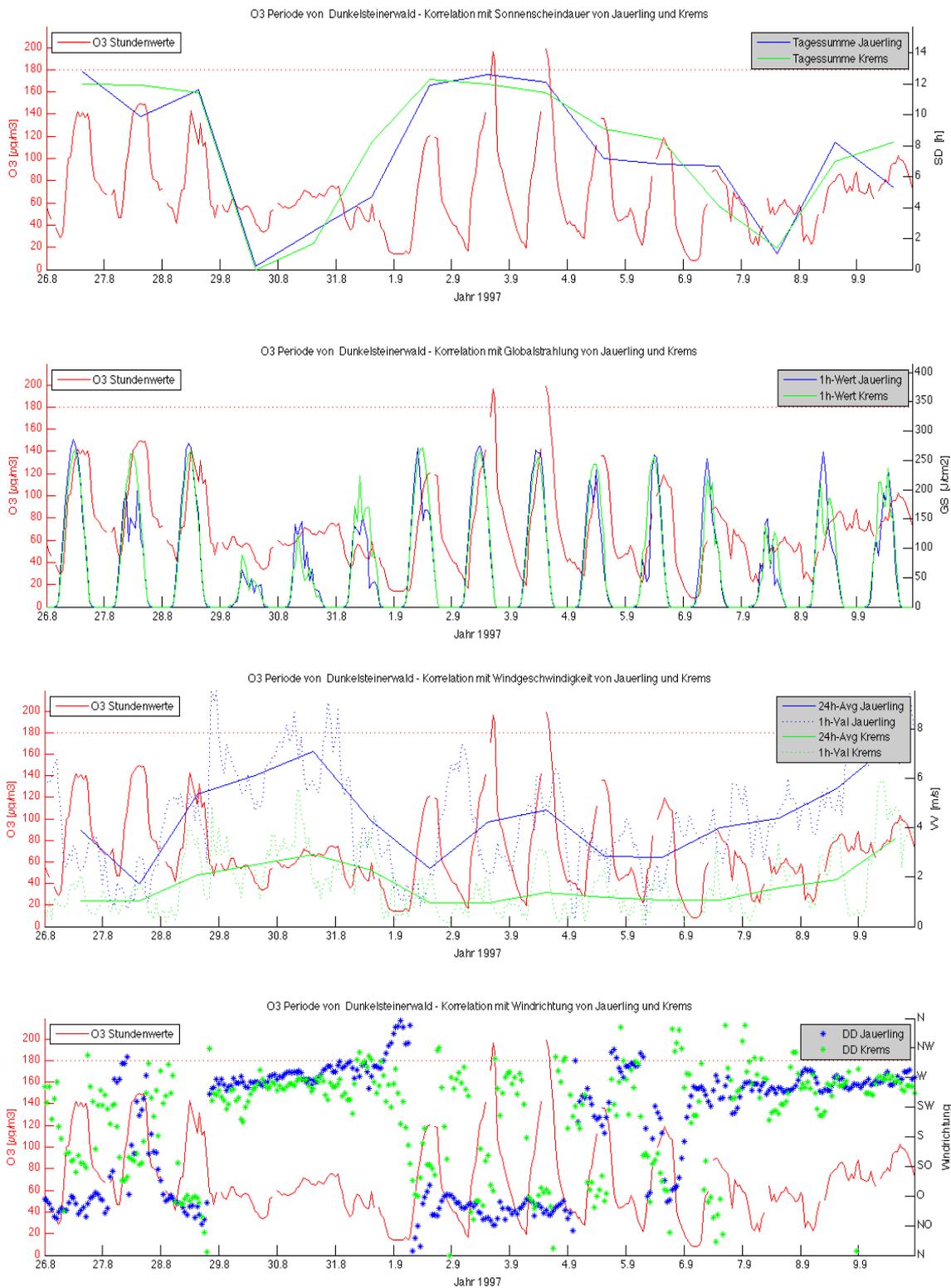


Abb. 4.21: 15 tägige Periode der Ozonstation Bergern mit den meteorologischen Stationen Jauerling und Krams im Zeitraum 26.8.-9.9.1997

Deutlich zu erkennen sind die Windrichtungsänderungen an den Tagen erhöhter Konzentrationen, die tagsüber aus östlichen und südöstlichen Richtungen kommt. Die einsetzende westliche Hauptwindrichtung am Tag 4 und 12 tritt mit höheren Windgeschwindigkeiten zu Tage und beendet die Phasen höherer Konzentrationen, begleitend bemerkbar dazu ist der Rückgang

der Sonnenscheindauer und Globalstrahlungswerte, die auf einen Durchzug einer Front hinweisen. Ab dem 1.9. stellen sich wieder hohe Sonnenscheindauer- und Globalstrahlungswerte ein, und die Windrichtung dreht wieder an beiden meteorologischen Stationen auf die östlichen Windrichtungen. Die Station Krems weist einen charakteristischen Tages- und Nachtgang der Windrichtung auf, der in den Nachtstunden auf westliche Richtungen dreht. Dies ist durch das Ausfließen von Luftmassen aus dem Hügelland des angrenzenden Waldviertels in das Donautal zu erklären. Die Windgeschwindigkeiten gehen in den Tagen erhöhter Konzentrationen auf unter 2m/s im Mittel zurück. In den darauf folgenden Tagen (4.9 und 5.9) kommt es durch den Rückgang der Sonnenscheindauer und Globalstrahlung nur zu erhöhten Tagesmaxima der O<sub>3</sub>-Konzentration.

Die Ozonkonzentrationen reagieren bei deutlichen Veränderungen in der Sonnenscheindauer und Strahlung, kleine Veränderungen zeigen oftmals keine Veränderungen der Konzentrationen. Sehr empfindlich sind die Konzentrationen gegenüber den östlichen und südöstlichen Windrichtungen. Dies ist vor allem in den Tagen erhöhter und überhöhter O<sub>3</sub>-Konzentration zu sehen. Bei der Windgeschwindigkeit zeigt die Station Krems eine deutliche Tendenz zu niedrigeren Werten vor und während der Überschreitungen der O<sub>3</sub>-Konzentrationen. Jauerling liefert als Hügelstation nicht so deutliche Signale bei der Windgeschwindigkeit. Man erkennt, dass alle vier meteorologischen Parameter mit ihrer Variabilität einen großen Einfluss auf die Konzentrationen von Ozon zeigen. Speziell in den letzten zwei bis drei Tagen vor einer Überschreitung des Ozonlevels stellen sich meistens sehr spezielle meteorologische Bedingungen ein.

In den Abbildungen 4.22 bis 4.25 werden die Histogramme der verschiedenen meteorologischen Variablen in allen 15-Tages-, 3-Tages- und 1-Tages-Fenstern der Stationen Jauerling und Krems abgebildet. Die Häufigkeitsverteilungen der Werte in diesen unterschiedlichen Zeitfenstern bestätigen diese Charakteristika der meteorologischen Parameter. Die Datenverteilungen der meteorologischen Parameter in den 15-tägigen Perioden zeigen eine sehr starke Streuung der Werte, die keine statistische Aussage über die Signifikanz der einzelnen Parameter treffen lässt. Aus diesem Grund und aus den Beobachtungen der 15-tägigen Perioden wurden kleinere Zeitfenster von drei Tagen (Ereignisstag incl. zwei Vortage) und nur den Ereignisstagen gewählt. Dadurch können für

jede Station aussagekräftige, statistische Parameter berechnet und für weitere Untersuchungen herangezogen werden. Zur Verdeutlichung der Ergebnisse werden die Resultate der 15-tägigen Auswertungen stellenweise mit angeführt.

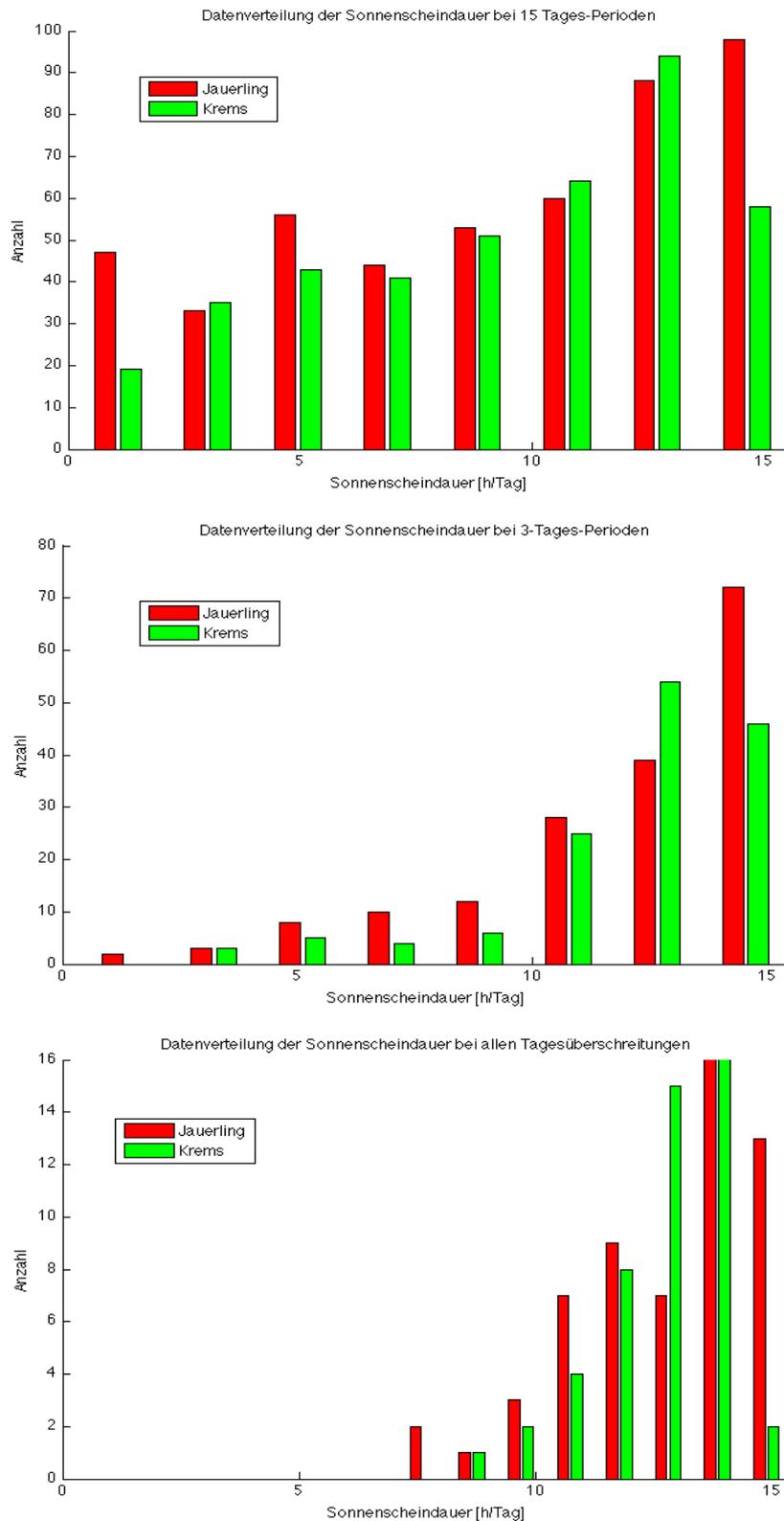


Abb. 4.22: Häufigkeitsverteilungen der Sonnenscheindauer der Stationen Jauerling und Krems in den Zeitperioden von 15 Tagen (o.Bild), 3 Tagen (m.Bild) und 1 Tag (u.Bild)

Jauerling zeigt auf Grund seiner höheren Lage eine größere Anzahl von sehr hohen Werten der Sonnenscheindauer, aber auch eine stärkere Variabilität. Bei Krems und Jauerling zeigt sich eine linksschiefe Verteilung der Daten bei den kleineren Zeitfenstern, was bedeutet, dass öfters höhere Werte als der jeweilige Mittelwert der Periode aufgetreten sind. Die Tabelle 4.4 zeigt die dazugehörigen Mittelwerte und Standardabweichungen der jeweiligen Perioden der Stationen, die das Ergebnis der Histogramme unterstützen.

Tab. 4.4: Mittelwerte und Standardabweichungen des Parameters Sonnenscheindauer aller 15- / 3- und 1-tägigen Perioden der Stationen Jauerling und Krems

MET-STATION / O3-STATION	SD15-MW	SD15-STD	SD3-MW	SD3-STD	SD1-MW	SD1-STD
	h/day	h/day	h/day	h/day	h/day	h/day
Jauerling / Bergern-Dst-Wald	9,2	4,6	12	2	12,8	2
Krems / Bergern-Dst-Wald	9,3	4	12,1	1,5	12,7	1,3

Am Beispiel der berechneten Werte der Sonnenscheindauer in Tabelle 4.4 ist zu sehen, dass die Auswertungen der 15-tägigen Periode keine statistischen Aussagen zulassen. Beide kürzeren Perioden zeigen eine ähnliche Verteilung der Daten mit dem Unterschied des höheren Mittelwertes bei den 1-tägigen Perioden. So zeigt das Ergebnis, dass in mehr als ~85% der Fälle bei den Stationen in den beiden kürzeren Perioden im Schnitt eine Sonnenscheindauer von mehr als 10 bzw. 10,8 h/Tag aufgetreten ist. In Krems liegt der untere Bereich (~85% der Fälle) mit 10,6 h/Tag (3-tägig) und 11,4 h/Tag (1-tägig) sogar etwas höher, was bedeuten würde, dass in 97,5% der Fälle eine Sonnenscheindauer von mehr als 9 bzw. 10 h/Tag in Krems aufgetreten ist. Ähnlich verhalten sich die Werte der Tagessummen der Globalstrahlung bei beiden Stationen, die in Abbildung 4.23 zu sehen sind.

Die 15-tägigen Perioden zeigen eine sehr breite Verteilung mit hohen Standardabweichungen. Bei den kürzeren Perioden ist eine deutliche Tendenz zu hohen Strahlungssummen zu sehen, die um einen Mittelwert in dem Bereich von 2500 J/cm<sup>2</sup> liegen. Die Variabilität bei den eintägigen Perioden geht mit der Verteilung der Sonnenscheindauer konform. Sehr deutlich zu erkennen ist die größere Anzahl von Tagessummen über 3000 J/cm<sup>2</sup> bei der Station Jauerling durch ihre spezifische Lage.

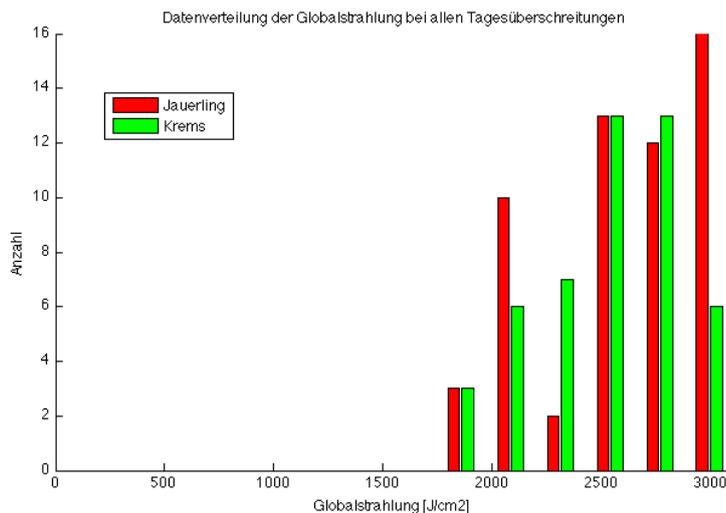
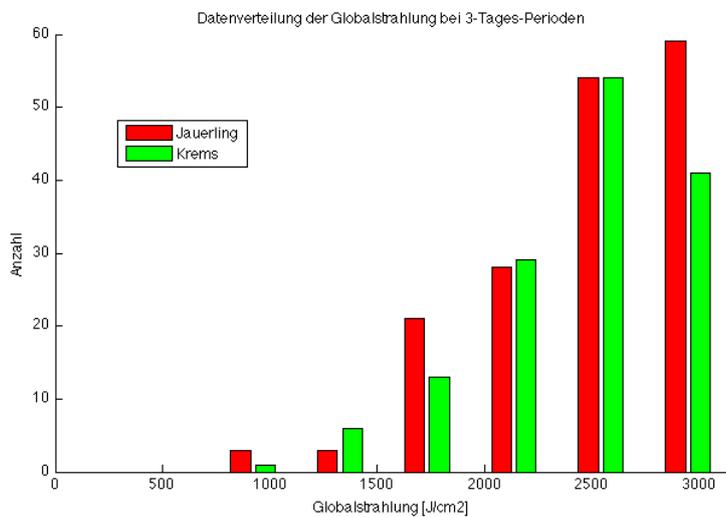
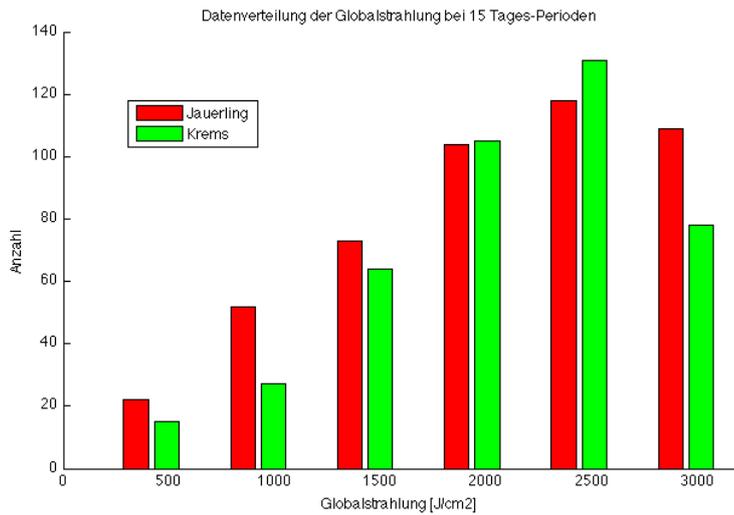


Abb. 4.23: Häufigkeitsverteilungen der Globalstrahlung der Stationen Jauerling und Krems in den Zeitperioden von 15 Tagen (o.Bild), 3 Tagen (mi.Bild) und 1Tag (u.Bild)

Die Mittelwerte zeigen einen Anstieg mit kürzer werdender Periodendauer, wohingegen die Standardabweichung bei den 3-tägigen Perioden geringere Werte aufweist als die 1-tägigen Perioden. Dies ist im Falle Jauerling auf die

höhere Variabilität von täglichen Strahlungssummen bis zu einem Wert von fast 3500 J/cm<sup>2</sup> zurückzuführen. Mit Standardabweichungen in einem Bereich von 300 – 350 J/cm<sup>2</sup> bei den kürzeren Zeitintervallen sind die Werte von einstündigen Strahlungssummen, die die Stationen um die Mittagszeit aufweisen können.

Anhand der Tabelle 4.5 ist zu sehen, dass Jauerling und Krems in ~85% der Perioden eine mittlere tägliche Strahlungssumme von mindestens 2100 – 2150 J/cm<sup>2</sup> bei den 3-tägigen Zeitfenstern und an den Ereignistagen Tageswerte von mindestens 2200 – 2250 J/cm<sup>2</sup> aufweisen.

Das bedeutet, dass speziell die Vormittags- und Mittagsstunden mit Werten hoher Einstrahlung besonders wichtig für die Erreichung hoher O<sub>3</sub>-Konzentrationen sind, da sonst die notwendige Lufttemperatur und Strahlungsenergie für die Reaktionen der Luftchemie nicht zur Verfügung stehen.

Tab. 4.5: Mittelwerte und Standardabweichungen des Parameters Globalstrahlung aller 15- / 3- und 1-tägigen Perioden der Stationen Jauerling und Krems

MET-STATION / O3-STATION	GS15-MW	GS15-STD	GS3-MW	GS3-STD	GS1-MW	GS1-STD
	J/cm2	J/cm2	J/cm2	J/cm2	J/cm2	J/cm2
Jauerling / Bergern-Dst-Wald	2030,7	728,8	2476,0	313,3	2591,3	352,4
Krems / Bergern-Dst-Wald	2078,7	633,5	2438,3	307,8	2512,9	313,4

Vergleicht man das Ergebnis mit dem der Sonnenscheindauer, so zeigt Krems mit seinen Verteilungen und Standardabweichungen ein sehr ähnliches Verhalten zwischen den beiden Parametern. Im Falle Jauerling jedoch fällt die Verteilung der Globalstrahlung schärfer aus als die der Sonnenscheindauer.

Dies kann mitunter auf die Höhenlage der Station zurückzuführen sein.

Die Verteilung der Windgeschwindigkeiten der Stationen Jauerling und Krems in den beobachteten drei Zeitfenstern sind in der Abbildung 4.24 dargestellt. Die höheren Windstärken auf Grund der exponierten Hügellage der Station Jauerling sind in allen Zeitfenstern gut zu beobachten. Jauerling zeigt eine breite rechtsschiefe Verteilung, die sich mit kürzer werdenden Zeitfenstern in ihrer Schiefe abschwächt und mit einem Mittelwert zwischen 3,7 – 4 m/s wesentlich höher ist als Krems. An der Station Krems sind die homogeneren Verteilungen zu beobachten, die deutlichere Ergebnisse über alle Zeitfenster liefern.

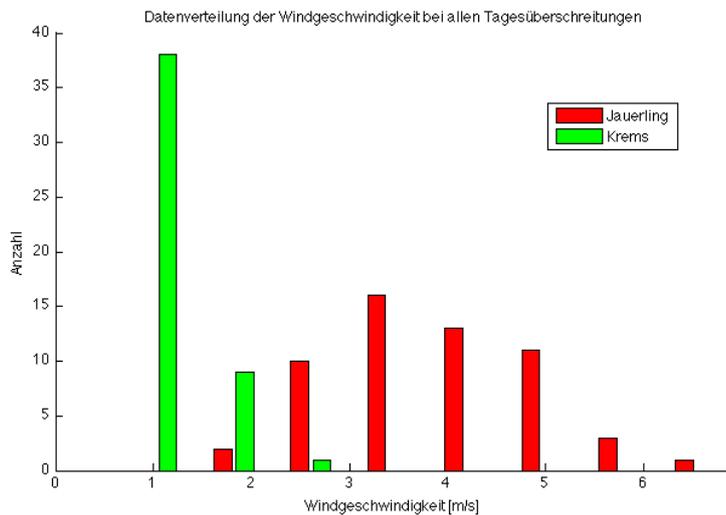
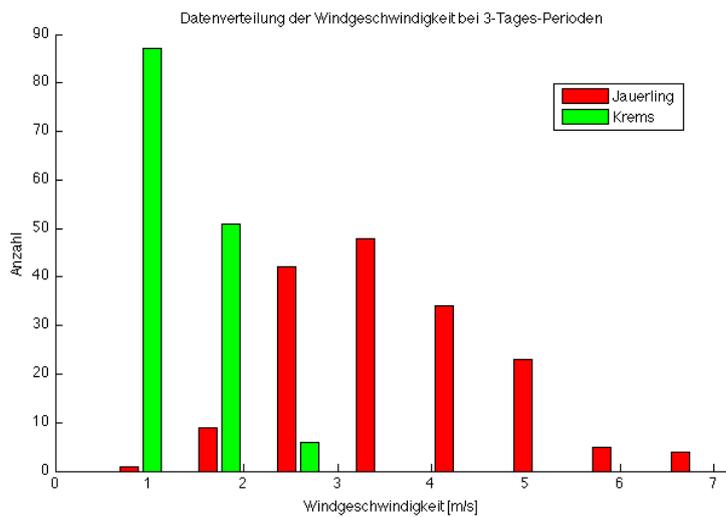
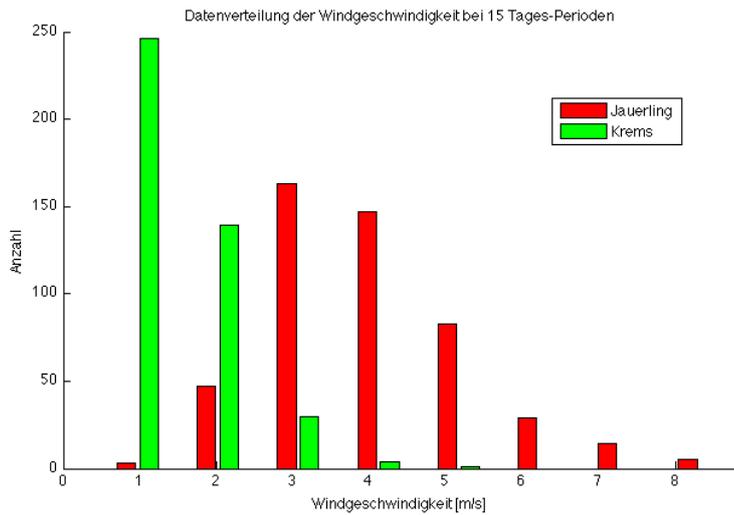


Abb. 4.24: Häufigkeitsverteilungen der Windgeschwindigkeiten der Stationen Jauerling und Krems in den Zeitperioden von 15 Tagen (o.Bild), 3 Tagen (mi.Bild) und 1Tag (u.Bild)

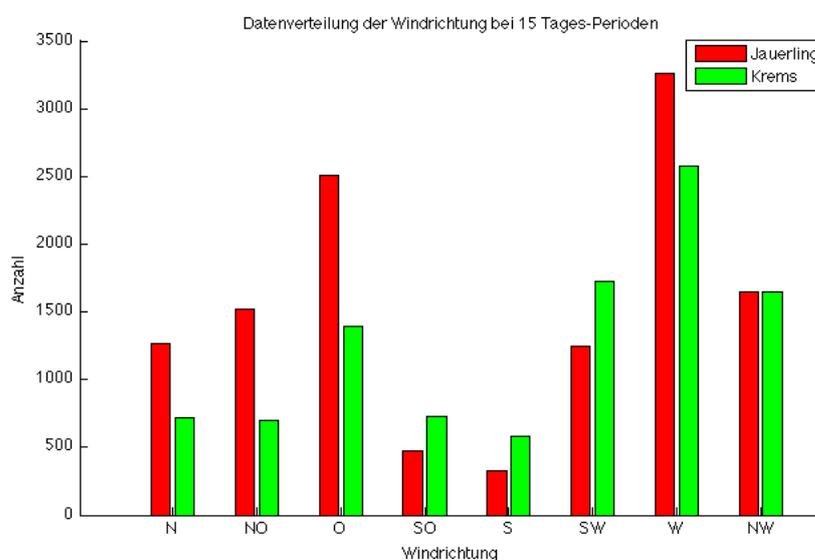
Mit einem Mittelwert von 1,3 m/s und einer Standardabweichung von 0,3 m/s bei den beiden kürzeren Zeitfenstern zeigt sich ein deutliches Signal zu sehr niedrigen Windgeschwindigkeiten. Für die Station Krems bedeutet das, dass in

97,5% der Fälle hoher Ozon-konzentrationen die Windgeschwindigkeit unter 2 m/s gelegen ist.

Tab. 4.6: Mittelwerte und Standardabweichungen des Parameters Windgeschwindigkeit aller 15- / 3- und 1-tägigen Perioden der Stationen Jauerling und Krems

MET-STATION / O3-STATION	VV15-MW	VV15-STD	VV3-MW	VV3-STD	VV1-MW	VV1-STD
	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s
Jauerling / Bergern-Dst-Wald	4,0	1,3	3,7	0,7	3,9	1,0
Krems / Bergern-Dst-Wald	1,6	0,7	1,3	0,3	1,3	0,3

Neben der Windstärke ist die Windrichtung als weiterer Windfaktor für advektive Einflüsse zu berücksichtigen und zu analysieren. Im Falle Bergern zeigen die Abbildungen 4.25 die Verteilungen der Windrichtungen in den Zeitfenstern der 15- und 3-tägigen Perioden. Da sich die Verteilungen zwischen den drei- und eintägigen Perioden kaum unterschieden, wurde im Falle der Windrichtung speziell auf die Tageszeit Rücksicht genommen und eine eigene Auswertung für die Zeit von 6h bis 21h durchgeführt. Diese Überlegung wurde wegen des charakteristischen Tag-Nacht-Wechsels der Windsysteme in dieser Region und der möglichen Zeiten, in denen die Luftchemie zur Ozonproduktion wesentlich beiträgt, durchgeführt. Des Weiteren findet die Hauptproduktion der anthropogen erzeugten primären Luftschadstoffe während der Tagesstunden statt. Bei der 15-tägigen Periode ist eine bimodale Verteilung zwischen den westlichen Hauptwindrichtungen und den nordöstlichen Richtungen zu sehen.



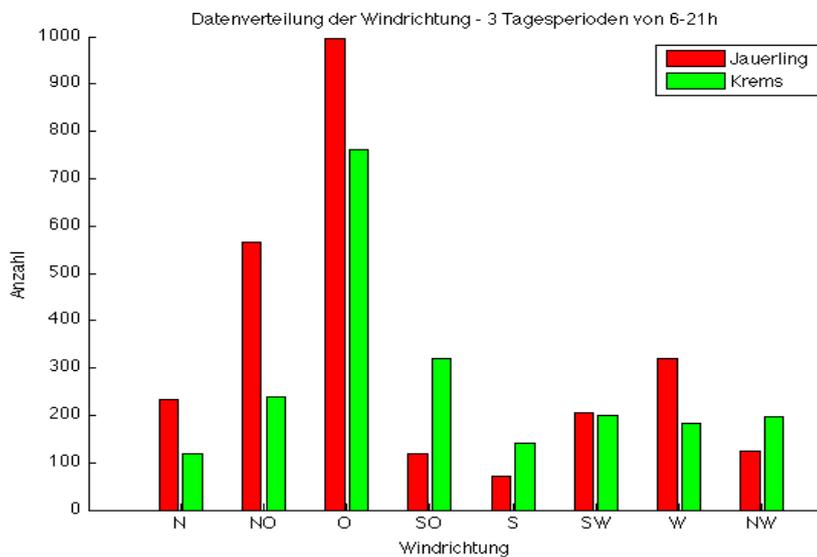
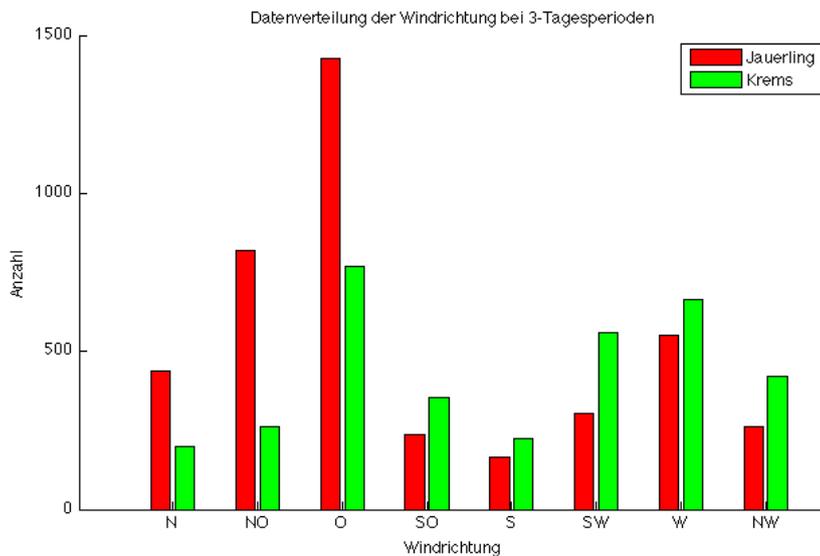


Abb. 4.25: Häufigkeitsverteilungen der Windrichtung der Stationen Jauerling und Krems in den Zeitperioden von 15 Tagen (o.Bild), 3 Tagen (mi.Bild) und 3 Tagen von 6 bis 21h (u.Bild)

Die 3-tägige Zeitspanne zeigt hingegen schon deutlich den Rückgang der westlichen Windrichtungen. Am deutlichsten kommt das Ergebnis durch das Herausfiltern der Nachtstunden heraus (Bild unten). Hier dominieren die östlichen Windrichtungen an ozonreichen Tagen. Diese Tendenz verstärkt sich bei den 1-Tages-Analysen in der Zeit von 6h – 21h, wie in Tabelle 4.7 zu sehen. Sie gibt die drei Hauptwindrichtungen mit ihren prozentuellen Häufigkeiten an den Stationen Jauerling und Krems an.

Tab. 4.7: Relative Häufigkeiten der 3 Hauptwindrichtungen der Stationen Jauerling und Krems bei Ozonüberschreitungen der Station Bergern, in einem Zeitfenster von einem Tag in der Zeit von 6h-21h

MET-STATION	DD	DD-RH	DD	DD-RH	DD	DD-RH
	dir	%	dir	%	dir	%
Jauerling	O	46.4	NO	25.9	W	7.2
Krems	O	46.0	NO	13.9	SO	11.7

Das Ergebnis zeigt, dass an Tagen hoher Ozonwerte an der Station Bergern der Wind in 70-75% der Fälle aus östlichen Richtungen an den Stationen Jauerling und Krems gekommen ist.

Im Zusammenhang mit der Windgeschwindigkeit zeigen die Windkomponenten eine sehr deutliche Tendenz an den Tagen hoher Ozonkonzentrationen in dieser Region zu östlichen Winden mit sehr geringen Windgeschwindigkeiten.

Die orographische Komplexität dieses Gebietes ermöglicht bei gradientschwacher Lage sehr deutlich auftretende Windsysteme, die durch die Sonneneinstrahlung hervorgerufen werden.

Die Ergebnisse zeigen sehr klare aber auch sehr empfindliche meteorologische Bedingungen an den Tagen hoher Ozonkonzentrationen an der Station Bergern. Ein wichtiger Faktor in diesem ländlichen Gebiet ist die Abhängigkeit von primären Luftschadstoffen, die aus urbanen Gebieten durch Windtransporte advehiert werden müssen. Das macht die Parameter des Windes für diese Gegend, neben der Globalstrahlung, zu den wichtigsten meteorologischen Faktoren für hohe Ozonkonzentrationen.

#### **4.4.2 Fallbeispiel Wien Hohe Warte (15.6. – 29.6.2000)**

Die Station Wien Hohe Warte liegt am nördlichen Stadtrand von Wien, am Gelände der ZAMG. Im Westen und Nordwesten erheben sich die Ausläufer des Wienerwaldes mit dem Hermannskogel als der höchsten Erhebung (542m ü.A.) und den Wiener Hausbergen Kahlenberg und Leopoldsberg. Südlich und östlich erstreckt sich das Wiener Stadtgebiet, durchzogen von der Donau, im Wiener Becken liegend. An der Station Wien Hohe Warte werden Luftschadstoffe und meteorologische Parameter gemessen.

In der Abbildung 4.26 ist eine Periode erhöhter O<sub>3</sub>-Konzentrationen mit den meteorologischen Parametern vom 15.6 - 29.6.2000 dargestellt. Die rote Kurve zeigt uns jeweils den Ozonverlauf, der am 22.6. die höchste Tageskonzentration aufweist. Dazu sind die Sonnenscheindauer, die Globalstrahlung, die Windgeschwindigkeit und die Windrichtung (als Marker) in blau geplottet.

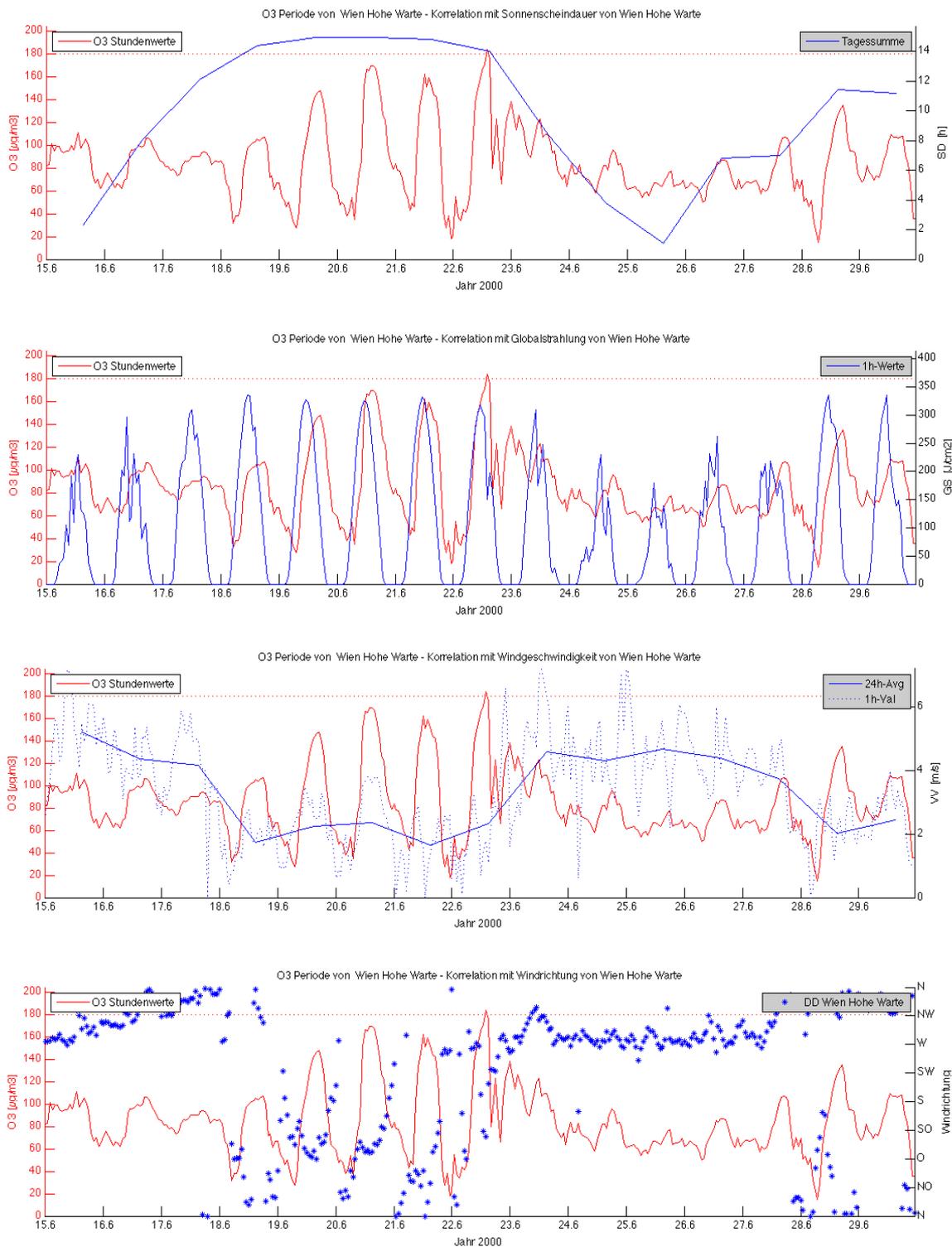


Abb. 4.26: 15 tägige Periode der Messstation Wien Hohe Warte im Zeitraum 15.6.- 29.6.2000

Man erkennt den Aufbau der O<sub>3</sub>-Konzentration vom 18.6. - 22.6., der mit einer Sonnenscheindauer von mehr als 14 h/Tag begleitet wird. Die steigende Sonnenscheindauer in den ersten Tagen zeigt ein sehr homogenes Bild mit der Globalstrahlung. Trotz 12h Sonnenscheindauer und Maxima der Globalstrahlung von 300 J/cm<sup>2</sup> gibt es wegen zu hoher Windstärken und der

vorherrschenden Hauptwindrichtung aus West und Nordwest am 17.6. keine höheren Konzentrationen.

Am darauffolgenden Tag ist der Rückgang der Westströmung zu sehen und die Windgeschwindigkeiten gehen auf 2 m/s im Tagesdurchschnitt zurück. Mit Stundenmaxima der Globalstrahlung von  $\sim 350 \text{ J/cm}^2$  und östlichen Windrichtungen mit geringen Windstärken während des Tages werden die Schadstoffe Richtung Wienerwald transportiert und ermöglichen an der Station erhöhte Ozonproduktion. Die Ozonmessstelle am Hermannskogel zeigt bei solchen Wetterlagen die höchsten Werte im Raume Wien.

Die Änderungen der meteorologischen Bedingungen führen am 23.6. zum Abbruch der hohen Konzentrationen. Der Rückgang der Sonnenscheindauer und Globalstrahlung sowie höhere Windstärken und Drehung der Windrichtung auf West bis Nordwest sind zu beobachten. In diesen Tagen variieren die Ozonkonzentrationen in einem Wertebereich von  $60 - 100 \mu\text{g/m}^3$ , was einem sommerlichen Stundenmittelwert entspricht.

In den letzten beiden Tagen der Periode erkennt man, wie sensibel die Konzentrationen auf meteorologische Veränderungen reagieren. Sind am 28.6. und 29.6. in der Sonnenscheindauer kaum Differenzen zu sehen, so reichen schon minimale Unterschiede in der Globalstrahlung, Windgeschwindigkeit und der Windrichtung, um die Konzentrationen unterschiedlich stark ansteigen zu lassen.

Eine weitere Besonderheit mancher Stationen finden wir bei dieser Station in der Nacht vom 22.6. auf den 23.6. Nach dem Abfall der Konzentrationen in den Abendstunden kommt es über die Nachstunden zu unterschiedlichen Anstiegen der Ozonkonzentration. Dies kann nur durch Transporte von Primärstoffen oder Ozon durch den vorherrschenden Wind erklärt werden. Dazu ist eine Winddrehung auf westliche Richtungen zu sehen, wodurch mögliche Ozonreservoirs aus dem Wienerwald wieder Richtung Stadt transportiert werden und die Konzentrationen wieder ansteigen lassen.

Dieser Effekt ist bei mehreren Stationen mit speziellen orographischen Gegebenheiten und charakteristischen Windsystemen zu erkennen. Die Kurvenverläufe der Ozonkonzentration und Windstärke lassen die umgekehrte Proportionalität der beiden zueinander erkennen.

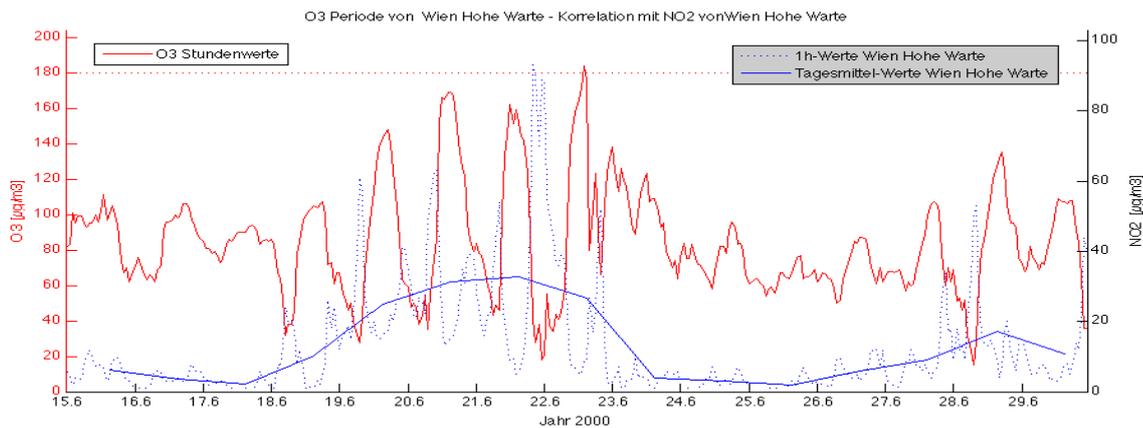


Abb. 4.27: NO<sub>2</sub>-Konzentrationen der Messstation Wien Hohe Warte im Zeitraum 15.6.- 29.6.2000

Die Abbildung 4.27 zeigt den Verlauf der Stickoxidkonzentrationen in dieser Periode an der Station Hohe Warte. Klar erkennbar sind die höheren Konzentrationen beider Luftstoffe an den gleichen Tagen. Das für urbane Gebiete charakteristische Muster der NO<sub>2</sub>-Konzentration gibt keinen Hinweis auf die hohen O<sub>3</sub>-Konzentrationen. Ein Anstieg der NO<sub>2</sub>-Konzentrationen in diesem Gebiet bewirkt, ohne Einwirkung anderer Luftschadstoffe, einen Abfall der Ozonkonzentrationen. In der Abbildung ist die umgekehrte Proportionalität der beiden Luftschadstoffe gut zu erkennen.

Um die Charakteristik der Station zu verdeutlichen, wurden die Verteilungen (Abbildungen 4.28 bis 4.30) der meteorologischen Parameter in den drei Zeitperioden analysiert. Auf Grund der bereits bei der Station Bergern erwähnten Problematik der 15-tägigen Analysen, wird bei der Station Hohe Warte nur in besonderen Fällen darauf zurückgegriffen. In der Abbildung 4.28 sehen wir die Verteilungen der Sonnenscheindauer in den 3- und 1-tägigen Zeitfenstern.

Sie liefern ein Ergebnis der Mittelwerte von 12,5 h/Tag bei den dreitägigen und 12,2 h/Tag bei den eintägigen Analysen. Das zeigt nicht nur bei dieser Station, dass am Tage der Überschreitung die Werte der Sonnenscheindauer nicht das Maximum erreichen müssen. Die Standardabweichungen von 1,5 h/Tag (3 Tage) und 2,3 h/Tag (1 Tag) bestätigen dieses Ergebnis. Das bedeutet, dass es in ~85% der Fälle einen 3-Tages-Mittelwert von mindestens 11 h/Tag gegeben hat. Bei den eintägigen Analysen liegt der Wert mit 10,2 h/Tag deutlich darunter.

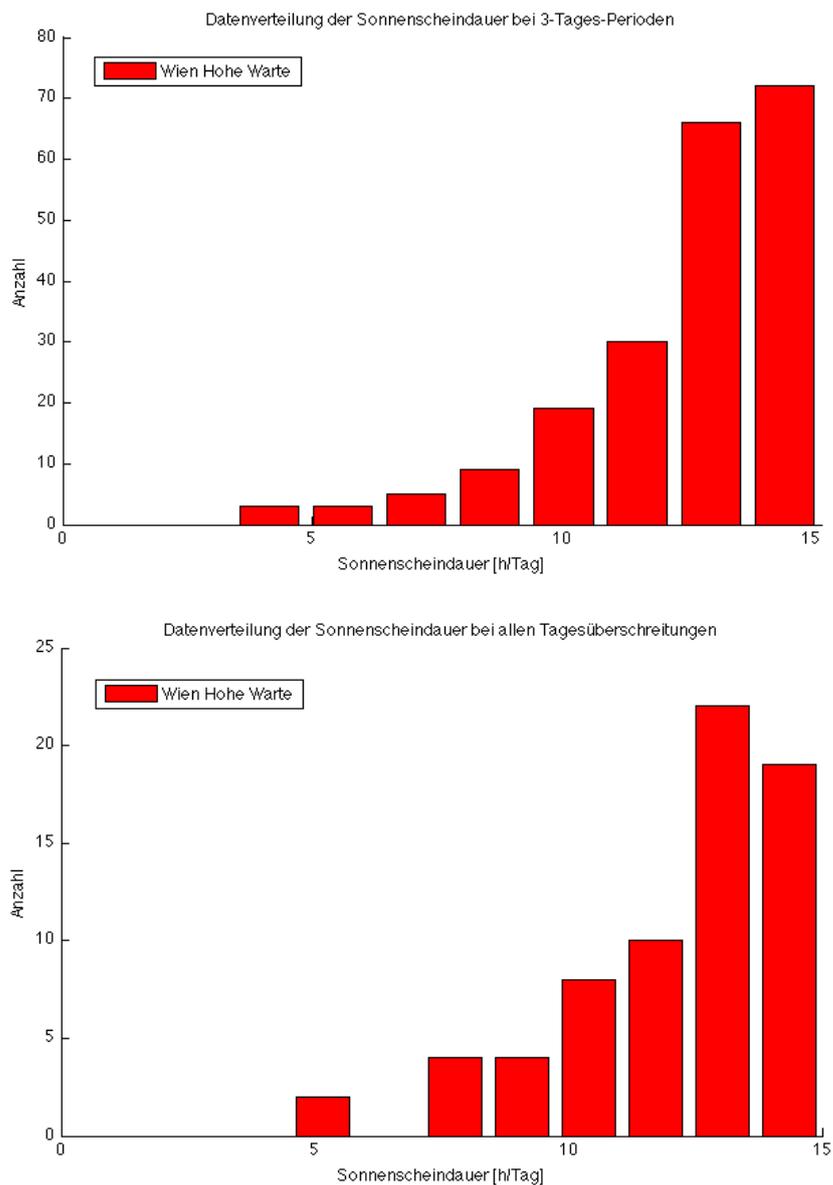


Abb. 4.28: Häufigkeitsverteilungen der Sonnenscheindauer der Station Wien Hohe Warte in Zeitperioden von 3 Tagen (o.Bild) und 1Tag (u.Bild)

Dieses Resultat zeigt auch, dass die wichtigen Stunden der Sonnenscheindauer die strahlungstarken Vormittags- bis frühen Nachmittagsstunden sind. Ist dies erfüllt, so ist an den Verläufen zu erkennen, dass auch geringere Werte der Sonnenscheindauer mit hohen O<sub>3</sub>-Konzentrationen in Verbindung stehen können.

Die Analyse über die Verteilungen der Tagessummen der Globalstrahlung, die in der Abbildung 4.29 zu sehen sind, kann weitere Aufschlüsse geben. Sie weisen mit einem dreitägigen Mittelwert über alle Perioden von 2460 J/cm<sup>2</sup> auch hier einen höheren Wert auf als der eintägige Mittelwert von 2377 J/cm<sup>2</sup>. Die breitere Verteilung bei den eintägigen Perioden schlägt sich in dem Wert

der Standardabweichung nieder, die mit  $335 \text{ J/cm}^2$  deutlich höher liegt als die der dreitägigen Auswertung mit  $261 \text{ J/cm}^2$ .

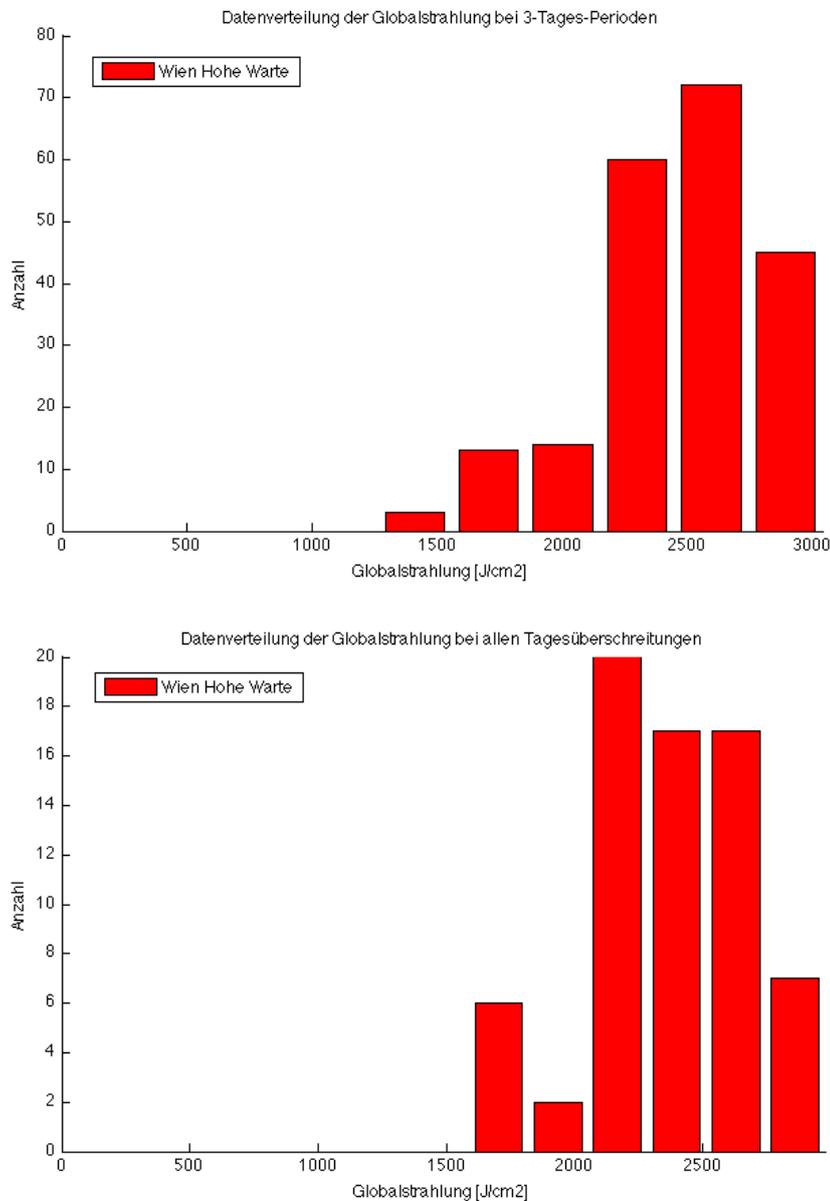


Abb. 4.29.: Häufigkeitsverteilungen der Globalstrahlung der Station Wien Hohe Warte in den Zeitperioden von 3 Tagen (o.Bild) und 1Tag (u.Bild)

An den Resultaten sieht man, dass es in ~85% der Fälle hoher  $\text{O}_3$ -Konzentrationen zu einem 3-Tages-Mittelwert der Globalstrahlung von mindestens  $2200 \text{ J/cm}^2$  kommt. Der eintägige Mittelwert der Globalstrahlung liegt bei mindesten  $2050 \text{ J/cm}^2$ . Trotz der Strahlungsunterschiede bei den verschiedenen zeitlichen Analysen zeigen die Temperaturmittelwerte der beiden Zeiträume keine deutliche Abweichung voneinander und liegen mit  $24,7^\circ\text{C}$  zu  $24^\circ\text{C}$  bei den eintägigen Analysen höher als bei den dreitägigen Analysen. An diesem Beispiel lässt sich darstellen, wie wichtig die Parameter

der Sonnenscheindauer und Globalstrahlung in den Vortagen einer Überschreitung sind. Durch die hohen 3-tägigen Mittelwerte kommt es zu einer ständigen Erwärmung der bodennahen Luftschichten, die dazu führt, dass sich die Geschwindigkeiten der Reaktionen in der Ozonchemie erhöhen. Im Vergleich mit den Resultaten der Stationen Krems und Jauerling liegen die Ergebnisse der Station Hohe Warte nur geringfügig darunter, lediglich die dreitägigen Analyse der Station Wien fällt deutlich schärfer in ihrer Verteilung aus.

Die Häufigkeiten der Windkomponenten in den unterschiedlichen Perioden sind in den Abbildung 4.30 und 4.31 zu sehen.

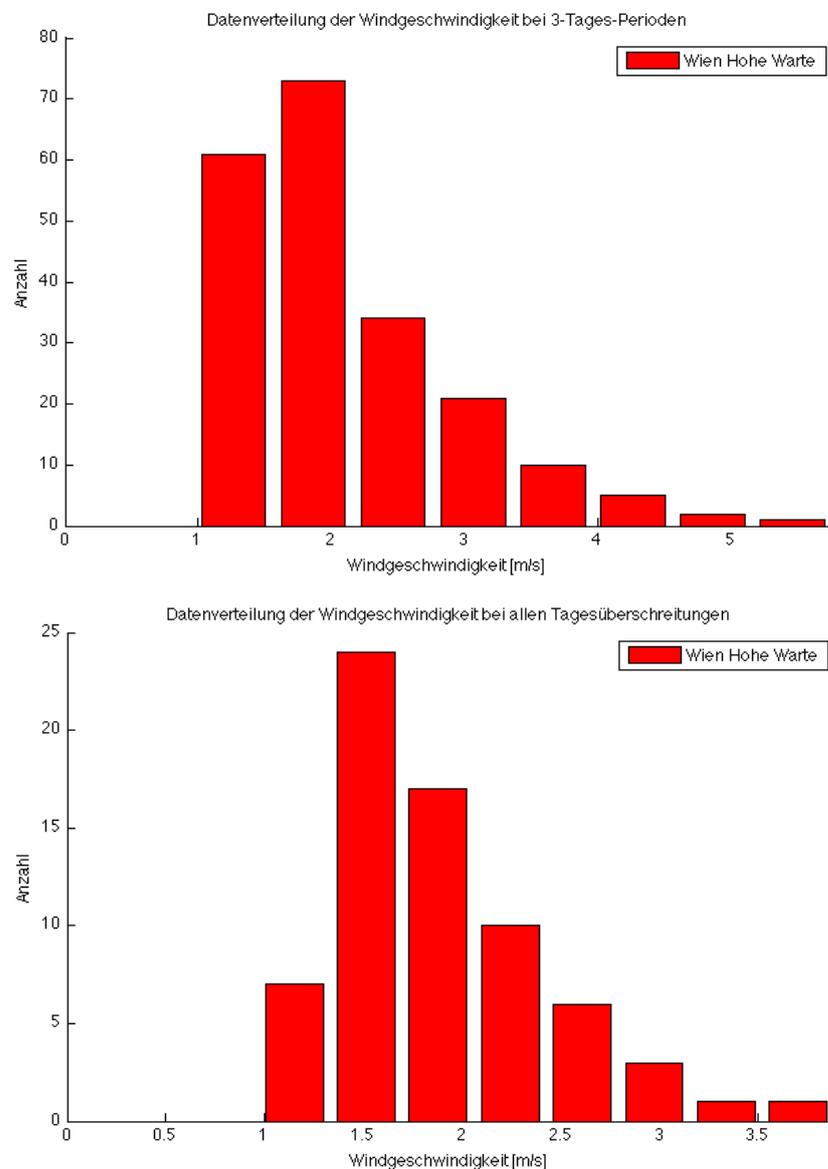
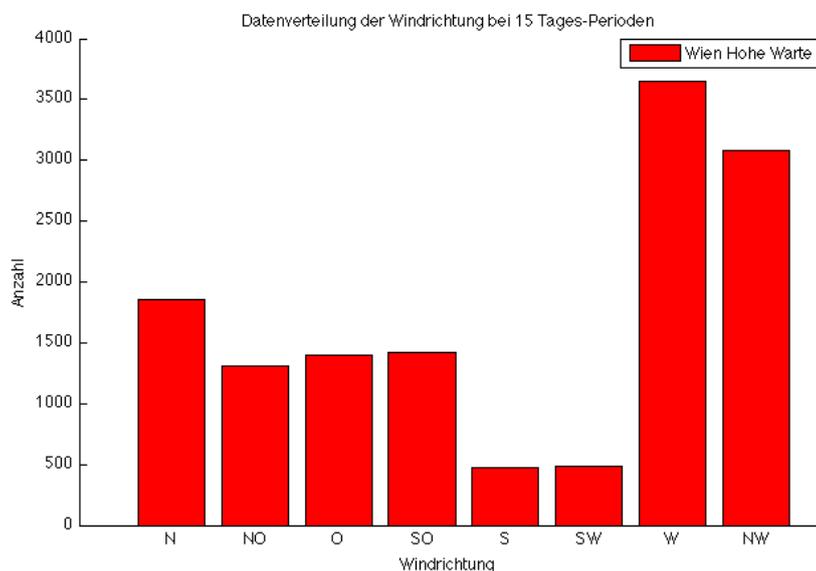


Abb. 4.30: Häufigkeitsverteilungen der Windgeschwindigkeit der Station Wien Hohe Warte in den Zeitperioden von 3 Tagen (o.Bild) und 1Tag (u.Bild)

Die Größenordnungen der vorherrschenden Windstärken bei hohen Ozonkonzentrationen liegen bei den dreitägigen Analysen bei einem Mittelwind von 2,1 m/s, bzw. bei 1,9 m/s bei den eintägigen Zeitfenstern. Die Verteilungen zeigen bei beiden Zeitspannen einen gleichen Verlauf mit einer Rechtsschiefe. Die Standardabweichungen liegen mit 0,6 m/s bei beiden Perioden im mittleren Drittel aller Stationen. Das Resultat zeigt, dass es in ~85% der Fälle von ozonreichen Tagen an der Station Hohe Warte zu einem Tagesmittel der Windstärke von < 2,5 m/s gekommen ist, die 3-Tages-Mittel liegen mit < 2,7 m/s nur gering darüber. Damit liegt diese Station im Vergleich mit den anderen Stationen eher im höheren Bereich der mittleren Windstärken.

Bei der Windrichtung hingegen zeigt sich in der Abbildung 4.31 ein ähnliches Bild zu den Stationen Krems und Jauerling (Abb. 4.25). Die Verteilung der 15-tägigen Perioden verdeutlicht die Vorherrschaft der Hauptwindrichtungen aus West und Nordwest. Bei der dreitägigen Analyse ist bereits eine bimodale Verteilung mit den östlichen Windrichtungen zu sehen. Sehr deutlich wird das Ergebnis in der Verteilung aller Tage mit hohen O<sub>3</sub>-Konzentrationen in der Zeit von 6h – 21h. Die östlichen Windrichtungen sind sehr dominant und bilden die Hauptwindrichtungen an Tagen hoher Ozonkonzentration. Die Berechnung der relativen Häufigkeiten (RH) ergibt, dass die Richtungen Ost mit 36%, Südost mit 16% und West mit 13% RH auftreten. Mit der nordöstlichen Richtung zusammen treten die östlichen Windrichtungen in Summe mit ~ 65% relativer Häufigkeit auf. Zusätzlich bilden die westlichen Komponenten mit den geringen Windgeschwindigkeiten die Möglichkeit von Transporten wichtiger Schadstoffe (z.B.: Ozon oder VOCs) aus dem Wienerwaldgebiet in Richtung Stadt.



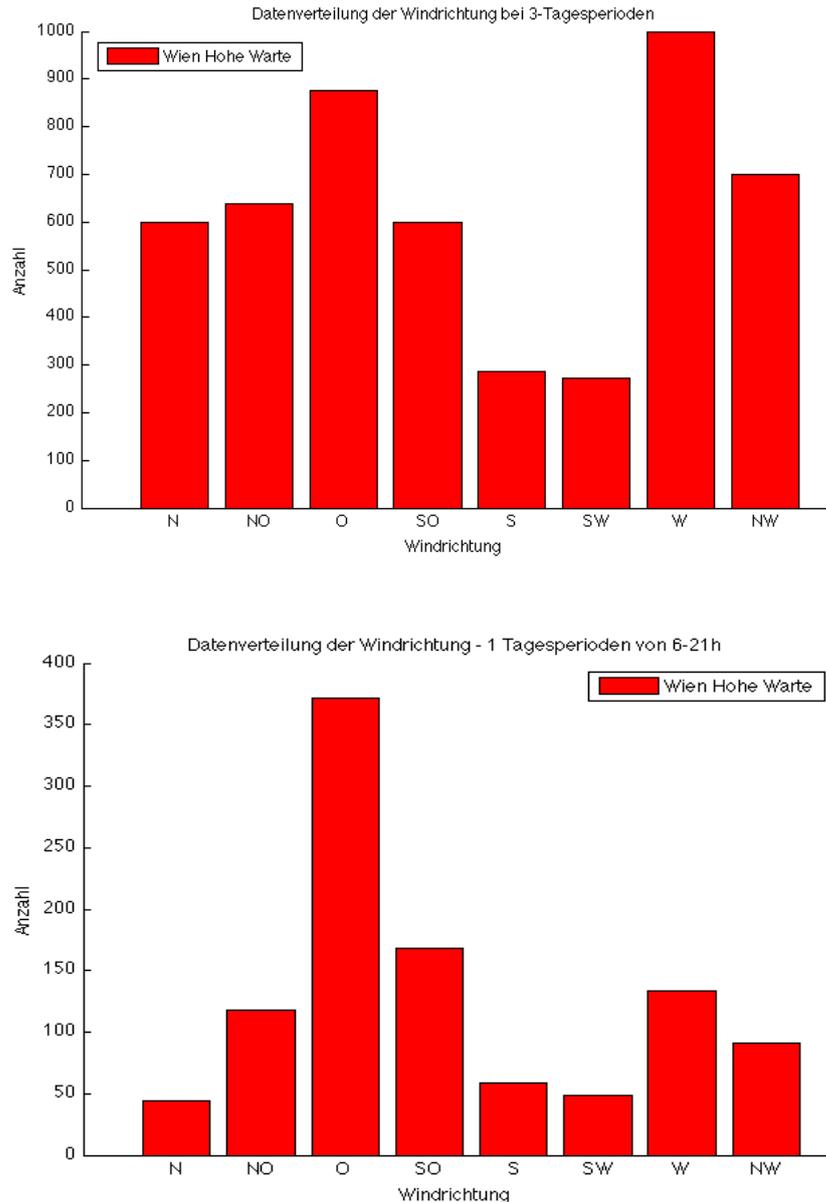


Abb. 4.31: Häufigkeitsverteilungen der Windrichtung der Station Wien Hohe Warte in Zeitperioden von 15 Tagen (o.Bild), 3 Tagen (mi.Bild) und einem Tag von 6 bis 21h (u.Bild)

Die spezielle orographische Lage der Station und hohe Straßenverkehrs- und Industrieemissionen machen das Stadtgebiet und die nähere Umgebung sehr empfindlich für Belastungen mit hohen Konzentrationen von primären und sekundären Luftschadstoffen.

Studien<sup>4</sup> haben gezeigt, dass die höchsten Ozonkonzentrationen in den VOC-sensitive Gebieten der Abluffahnen großer Ballungsgebiete beobachtet wurden. Somit können die Emissionen der Stadt bei bestimmten meteorologischen und chemischen Gegebenheiten auch hohe O<sub>3</sub>-

<sup>4</sup> Hammer M.U., 2001: Photochemische Indikatoren zur Charakterisierung der Oxidantienbildung bei Hochdruckwetterlagen

Konzentrationen in einem weiteren Umfeld (50 – 100km) der Stadt bewirken. So zeigt sich am Beispiel der nordöstlich von Wien liegenden Ozonstation Mistelbach, dass die dazugehörigen meteorologischen Stationen Poysdorf, Hohenau und Oberleis an den Tagen hoher O<sub>3</sub>-Konzentrationen charakteristische Windrichtungen aus den südlichen Richtungen zeigen.

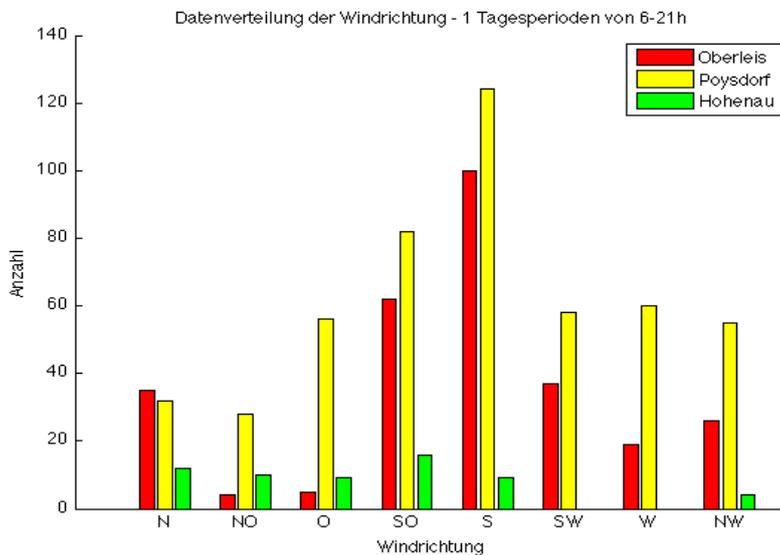


Abb. 4.32: Häufigkeitsverteilungen der Windrichtungen der meteorologischen Stationen Hohenau, Oberleis und Poysdorf

In der Abbildung 4.32 ist die Verteilung der Windrichtungen der Stationen Hohenau, Oberleis und Poysdorf an ozonreichen Tagen in der Zeit von 6h – 21h zu sehen. Neben den dominierenden südlichen Richtungen sieht man eine breite Verteilung, die von östlichen bis zu nordwestlichen Richtungen reicht. Das zeigt, dass auch andere Ballungszentren aus den angrenzenden slowakischen und tschechischen Gebieten eine wichtige Rolle für diese Region spielen können.

#### 4.4.3 Fallbeispiel Illmitz / Burgenland (14.7. – 28.7.2006)

Die Gemeinde Illmitz liegt am östlichen Ufer des Neusiedler See, im Seewinkel. Sie ist mit 117m Seehöhe die tiefstgelegene Ortschaft Österreichs und ist Teil des dortigen Nationalparks. Die Ozonstation steht im unbesiedelten und landwirtschaftlich genutzten Gebiet in der näheren Umgebung des Sees. Sie liegt am östlichsten Rand unseres Untersuchungsgebietes und ist auf Grund der weitläufigen Ebenen (Wiener Becken, Parndorfer Platte) in diesem Gebiet

starken advektiven Einflüssen ausgesetzt. Ballungszentren wie Wien in nordwestlicher Richtung, Eisenstadt und Wr. Neustadt in westlicher Richtung, sowie Győr in östlicher Richtung und Bratislava in nördlicher Richtung liegen in der weiteren Umgebung und haben wesentlichen Einfluß auf die Luftqualität dieser Region. Das Gebiet wird aus meteorologischer Sicht durch die Stationen Eisenstadt und Neusiedl in westlicher und nördlicher Richtung liegend für unsere Untersuchungen repräsentiert. Im Westen wird das Gebiet durch das Leithagebirge abgegrenzt.

Die Station Eisenstadt liegt an einem südöstlichen Abhang des angrenzenden Leithagebirges. Am nördlichen Rande des Neusiedler Sees, umgeben von Weinanbaugebieten, steht die Klimastation Neusiedl. Wegen der kurzen Datenreihen der Station Neusiedl (2004 – 2010) wird die Station Eisenstadt für die Interpretation der Ergebnisse bevorzugt herangezogen.

Als Fallbeispiel wurde die Periode vom 14.7. bis 28.7.2006 mit Daten beider Stationen ausgewählt, die in der Abbildung 4.33 zu sehen ist. Ein wesentlicher Aspekt war der charakteristische Verlauf der O<sub>3</sub>-Konzentrationen in dieser Periode, die über eine Woche sehr hohe Tagesmaxima aufwiesen. Der Verlauf zeigt nach dem ersten Tag mit einem erhöhten Tagesmaximum eine dreitägige Phase mit Konzentrationen um einen sommerlichen Tagesmittelwert von ~80 µg/m<sup>3</sup>. Danach beginnt eine Phase mit sehr hohen Tagesmaxima, die eine sehr starke Variabilität in den Nachtstunden zeigen. Begleitet wird dieser Verlauf von stark variierender Sonnenscheindauer, die in der ersten Woche einen wesentlich ruhigeren Verlauf zeigt. Trotz hoher Tagessummen von 14-15 h/Tag und Globalstrahlungsmaxima von 300 bis 350 J/cm<sup>2</sup> bilden sich keine Ozonüberschreitungen aus. Der Grund dafür ist der in den ersten Tagen vorherrschende Wind aus Nord bis Nordwest, mit Tagesmittelwerten von 4 m/s, die in dieser Gegend gehäuft auftreten. Bei diesen Windgeschwindigkeiten diffundieren die Luftschadstoffe mit den umgebenden Luftschichten oder werden in andere Gebiete advehiert, sodass sich keine höheren Konzentrationen des Ozons aufbauen können. Nach diesen Tagen ist ein Rückgang der Windgeschwindigkeiten auf Tagesmittelwerte um 2 m/s, mit süd-südwestlichen (Neusiedl) und östlichen (Eisenstadt) Windrichtungen während der Tageszeit und anwachsendem Tagesmaximum der O<sub>3</sub>-Konzentrationen zu erkennen. Am 20.7.2006 wird durch die stärker werdenden Windstärken bis 6 m/s der Anstieg der O<sub>3</sub>-Konzentration abrupt gestoppt. Die umgekehrte

Proportionalität dieser beiden Größen ist deutlich über die ganze Periode sichtbar.

Bricht die nordwestliche Hauptwindrichtung zusammen, zeigen auch diese Stationen charakteristische Windrichtungen an den Tagen hoher Konzentrationen von Ozon. So bilden sich süd-südwestliche Richtungen an der Station Neusiedl und ost-südöstliche Richtungen an der Station Eisenstadt während des Tages aus. Während der Nachtstunden dreht der Wind meist auf nördliche Richtungen.

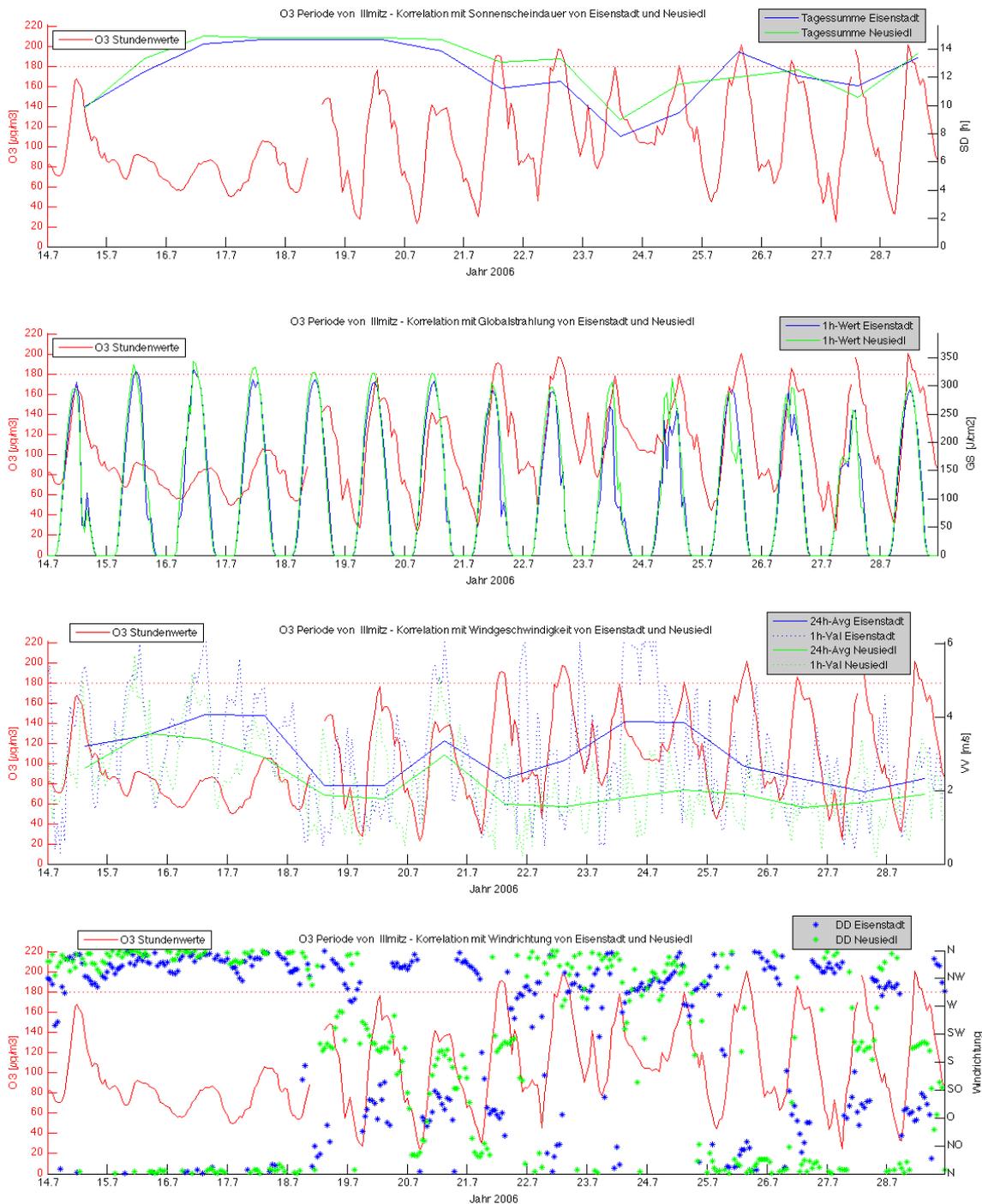


Abb.4.33: 15 tägige Periode der O<sub>3</sub>-Messstation Illmitz im Zeitraum 14.7.- 28.7.2006 mit den meteorologischen Verläufen der Stationen Eisenstadt und Neusiedl

In der zweiten Periodenhälfte schwankt die Sonnenscheindauer zwischen 12 und 14 h/Tag, die am 23.7. ihr Minimum mit 8-9 h/Tag aufweist. Trotz der geringen Sonnenscheindauer reichen Globalstrahlungsmaxima von  $\sim 250 \text{ J/cm}^2$  bei der Station Eisenstadt und  $300 \text{ J/cm}^2$  bei der Station Neusiedl aus, um in Momenten geringerer Windgeschwindigkeiten die  $\text{O}_3$ -Konzentration auf das Untersuchungslevel steigen zu lassen. Der gleiche Zustand ist auch am 27.7. zu erkennen. Das bedeutet, dass bei optimalen Windkomponenten schon geringere Werte der Globalstrahlung und Sonnenscheindauer ausreichen, um die Konzentrationen ansteigen zu lassen. An den letzten vier Tagen stellen sich von den Windkomponenten her die optimalen Bedingungen ein, Sonnenscheindauer und Globalstrahlung zeigen einen unruhigeren Verlauf. In den Nachtstunden vom 22.6. auf den 23.6. zeigt die  $\text{O}_3$ -Konzentration einen Anstieg, der Hinweise auf advective Einflüsse an der Station Illmitz gibt. Die vorherrschenden nordwestlichen Windrichtungen an den Stationen lassen Transporte aus dem Wiener Becken und dem Leithagebirge in Erwägung ziehen. Auch in der Folgenacht bleiben die Konzentrationen, trotz höherer Windgeschwindigkeiten an der Station Eisenstadt, auf einem überdurchschnittlichen Wert. Das stellt die Repräsentativität der Station Eisenstadt für die Station Illmitz in Bezug auf die Windgeschwindigkeit in Frage. Die in der Abbildung 4.34 abgebildeten Stickoxidkonzentrationen der Stationen Illmitz und Stixneusiedl zeigen im gleichen Zeitraum keine wesentlichen Unterschiede an den Tagen mit unterschiedlichen  $\text{O}_3$ -Konzentrationen.

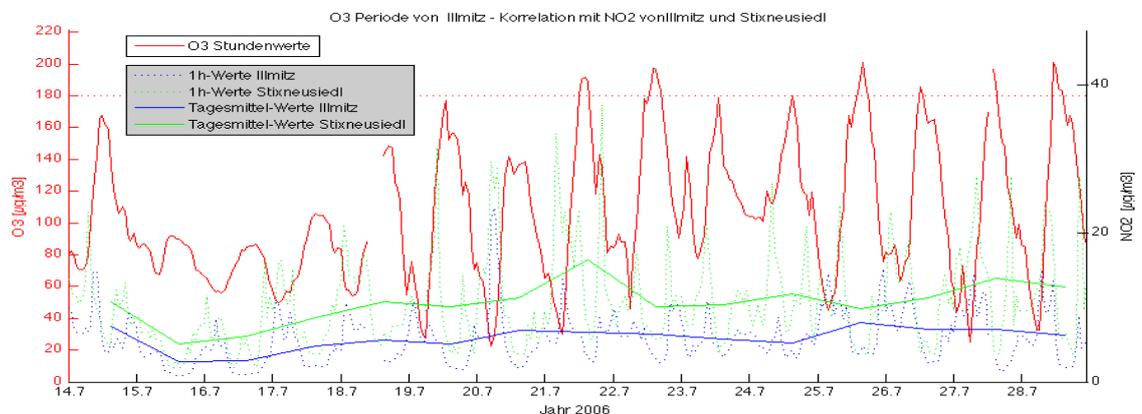


Abb.4.34:  $\text{NO}_2$ -Konzentrationen der Messstationen Illmitz und Stixneusiedl im Zeitraum 14.7.- 28.7.2006

Die Verläufe lassen die umgekehrte Proportionalität der beiden Luftschadstoffe erkennen. Die Stationen zeigen einen der geringsten  $\text{NO}_2$ -Mittelwerte und –

Variabilitäten über die gesamte Beobachtungsperiode. Die geringen Variationen der Konzentrationen von NO<sub>2</sub> ergeben keine Verbindung zu den Veränderungen der Ozonkonzentrationen. Sie reichen jedoch, um in diesem VOC-sensitiven Gebiet die Ozonkonzentrationen ansteigen zu lassen. Die Häufigkeitsverteilungen über die unterschiedlichen Zeitperioden zeigen weitere Charakteristika der meteorologischen Parameter an diesen Stationen. In der Abbildung 4.35 ist die Häufigkeitsverteilung der Sonnenscheindauer der Stationen Eisenstadt und Neusiedl für die 15-tägige und eintägige Zeitspanne bei Ozonüberschreitungen über 180 µg/m<sup>3</sup> an der Station Illmitz zu sehen. Während die 15-Tages-Perioden eine breite Verteilung mit der größten Häufigkeit der höchsten Klasse (~14 h/Tag) zeigen, sieht man bei den eintägigen Perioden die zweithöchste Klasse (12 – 13 h/Tag) am häufigsten auftreten.

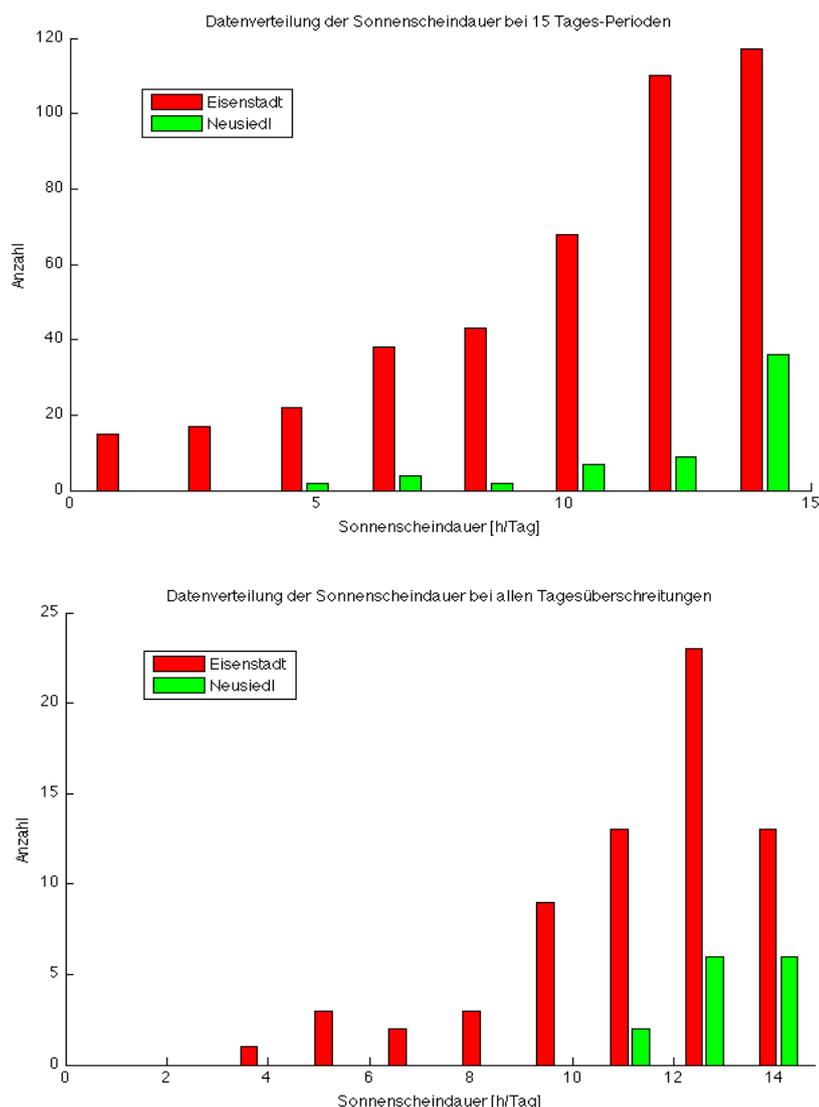


Abb. 4.35.: Häufigkeitsverteilungen der Sonnenscheindauer der Stationen Eisenstadt und Neusiedl in den Zeitperioden von 15 Tagen (o.Bild) und 1 Tag (u.Bild)

Das bestätigt sich auch in den Mittelwerten und Standardabweichungen der verschiedenen Perioden, in denen die dreitägigen Perioden mit höheren Mittelwerten, und im Falle Eisenstadt mit geringeren Standardabweichungen, unterschiedliche Ergebnisse liefern. Mit Tagesmittelwerten von 13,1h Sonnenscheindauer bei den eintägigen Untersuchungen hat die Station Neusiedl die höchsten Werte bei den untersuchten meteorologischen Stationen. Eisenstadt liegt mit 11,4h im Mittel deutlich darunter. Auch die Ergebnisse der Standardabweichung zeigen deutliche Unterschiede, die mit 2,4h (Eisenstadt) und 1,2h (Neusiedl) bei den eintägigen Analysen doppelt so hoch sind. Diese Unterschiede könnten mit der kürzeren Messreihe der Station Neusiedl zu begründen sein.

Die dreitägigen Untersuchungen liefern hingegen mit Standardabweichungen von 1,8h bei Eisenstadt und 1,3h bei Neusiedl schon eine wesentlich schärfere Verteilung im Falle Eisenstadt. Das bedeutet, dass es an den Überschreitungstagen in ~85% der Fälle eine Sonnenscheindauer von mindestens 9h an der Station Eisenstadt und 12h in Neusiedl gab. Das 3-Tages-Mittel liegt bei mindestens 10 h/Tag an der Station Eisenstadt. Die Tagessummen der Globalstrahlung zeigen in Abbildung 4.36 bei den unterschiedlichen Zeitperioden eine ähnliche Verteilung wie die der Sonnenscheindauer. Auch hier sind die am häufigsten auftretenden Klassen nicht die größten und die Verteilungen unterscheiden sich kaum in den verschiedenen Zeitspannen. Mit mittleren Tagessummen von 2564 J/cm<sup>2</sup> (Neusiedl) und 2258 J/cm<sup>2</sup> (Eisenstadt) an den Ereignistagen liegen die Werte auch hier unter denen der dreitägigen Analysen. Dies bestätigt aber den engen Zusammenhang zwischen der Sonnenscheindauer und Globalstrahlung. Mit einer Standardabweichung von über 350 J/cm<sup>2</sup> bei den eintägigen Untersuchungen gehört die Station Eisenstadt zu den Stationen mit der höchsten Variabilität an Globalstrahlung an den Tagen hoher Ozonkonzentrationen in Illmitz. Die Station Neusiedl liegt mit Werten um die 200 J/cm<sup>2</sup> deutlich darunter und zeigt die höchsten Mittelwerte von Tagessummen aller Stationen. Dies ist zu einem Großteil durch die geographische Lage erklärbar. Die Station liegt in einem Gebiet mit vielen Sonnenstunden pro Jahr im ganzen Bundesgebiet. Die Ergebnisse zeigen, dass es in ~85% der Fälle hoher O<sub>3</sub>-Konzentrationen in Illmitz zu Tagessummen an Globalstrahlung von mindestens 2350 J/cm<sup>2</sup> in Neusiedl und

1900 J/cm<sup>2</sup> in Eisenstadt kommt. Diese Werte erhöhen sich um 50 – 100 J/cm<sup>2</sup> bei den 3-Tages-Mittelwerten. Bei diesen beiden meteorologischen Stationen kann man trotz ihrer geographischen Nähe zueinander sehr starke regionale Unterschiede in der Globalstrahlung erkennen.

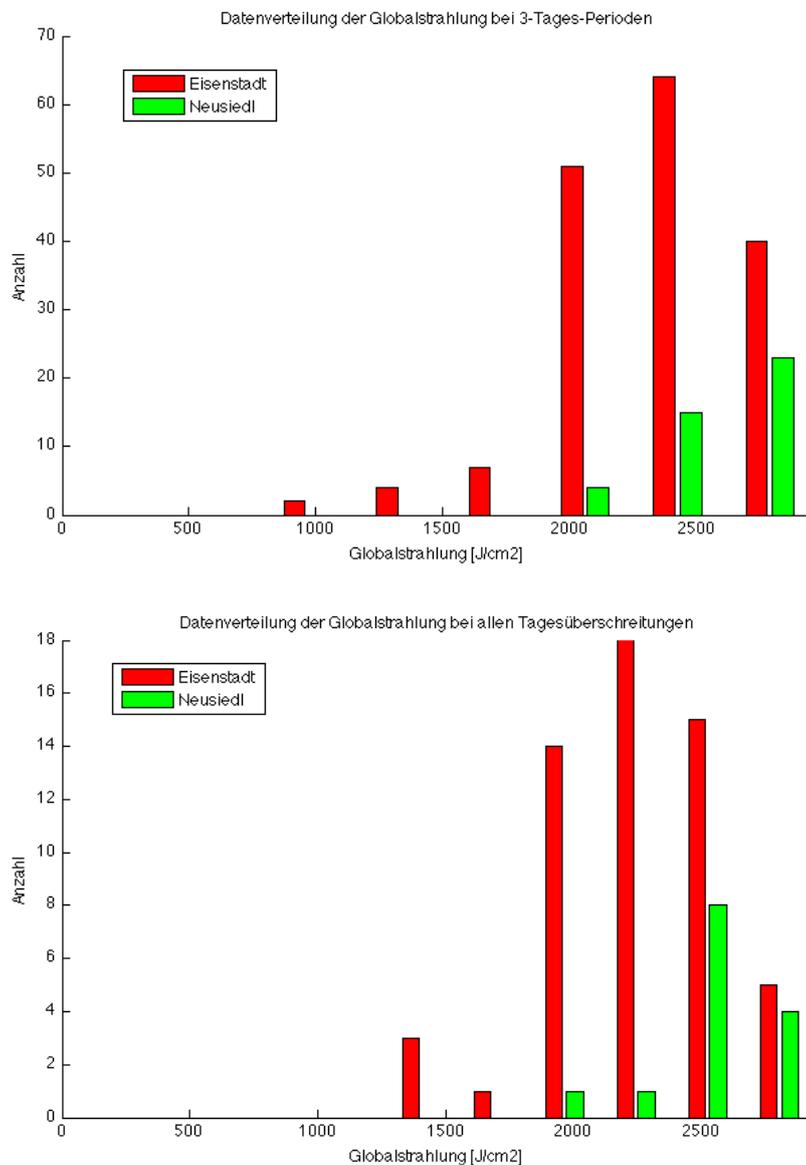


Abb. 4.36.: Häufigkeitsverteilungen der Globalstrahlung der Stationen Eisenstadt und Neusiedl in den Zeitperioden von 3 Tagen (o. Bild) und 1Tag (u. Bild)

Sieht man sich mehrere Verläufe der Globalstrahlung von 15-Tages-Perioden an, so erkennt man, dass speziell über die Mittagsstunden und frühen Nachmittagsstunden geringere Maxima und Störungen des normalen Tagesverlaufs an der Station Eisenstadt feststellbar sind. Dies kann durch Einflüsse aus dem umgebenden Stadtgebiet und dem Leithagebirge möglicherweise erklärt werden, da die Station an einem SO-Hang des Leithagebirges am nördlichen Rand des Stadtgebietes liegt.

Wie auch bei den anderen Stationen beobachtet, können bei schwachen Windverhältnissen regionale Windsysteme, die orographisch bedingt sind, entstehen. So kann das Leithagebirge für Eisenstadt und Umgebung einen wesentlichen Einfluss auf das Windregime in dieser Gegend haben, genauso wie der Neusiedler See, der als windreicher Ort für viele Wassersportarten bekannt ist. In der Abbildung 4.37 sind die Häufigkeitsverteilungen der Windstärken in den verschiedenen Zeitperioden von 15 Tagen und einem Tag dargestellt.

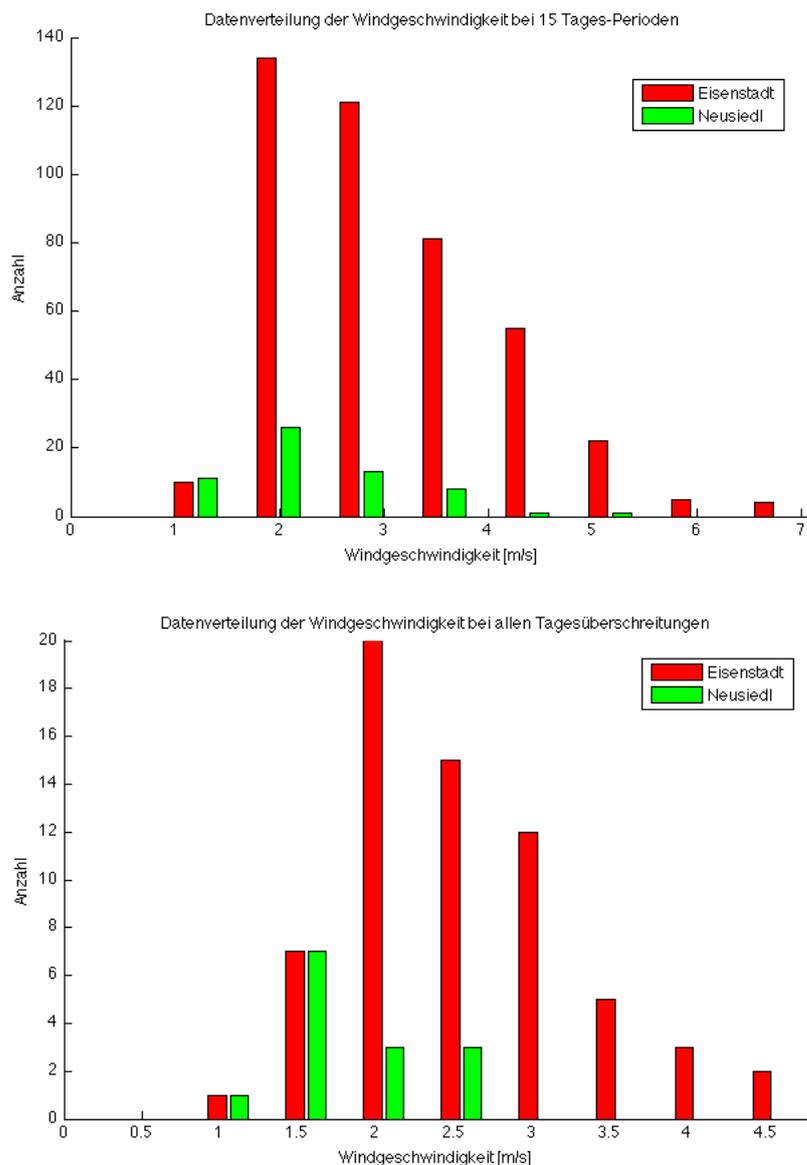
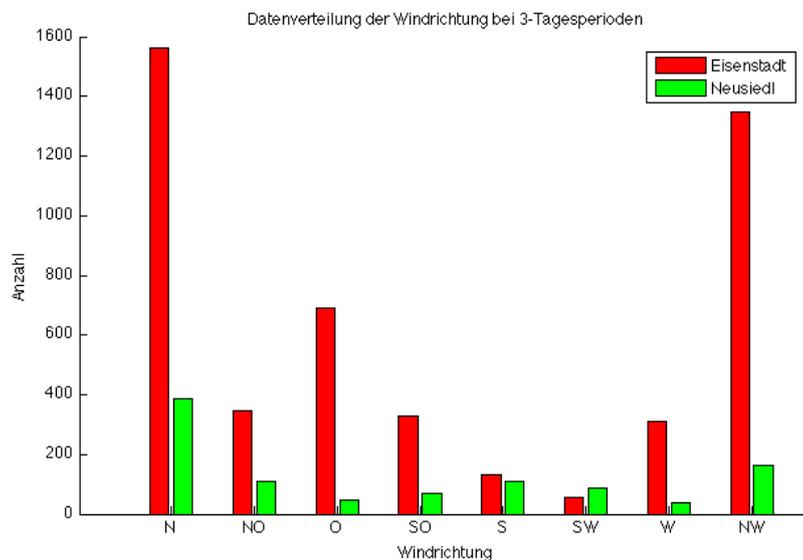


Abb. 4.37: Häufigkeitsverteilungen der Windgeschwindigkeit der Stationen Eisenstadt und Neusiedl in den Zeitperioden von 15 Tagen (o.Bild) und 1Tag (u.Bild)

Sie zeigen eine markante rechtsschiefe Verteilung zu Gunsten der niedrigen Windstärken, wie sie bei den meisten meteorologischen Stationen für ozonreiche Tage beobachtet werden kann. Die Verteilungen werden mit

kürzerer Periodendauer kaum schärfer und weisen, mit Tagesmittel für die eintägigen Analysen von 2,5 m/s für die Station Eisenstadt und 1,8 m/s für Neusiedl, etwas höhere Werte als der Durchschnitt der Stationen auf.

Die dreitägigen Analysen liefern in ihren Mittelwerten und Standardabweichungen nur geringfügig veränderte Resultate. So zeigen die Stationen bei den Standardabweichungen gleiche Werte von 0,5 m/s bei den dreitägigen Analysen und 0,4 m/s (Neusiedl) bzw. 0,7 m/s (Eisenstadt) an den Tagen der Ozonüberschreitungen. Auf Basis der Ergebnisse und Form der Verteilung liegen die charakteristischen Grenzwerte der Windgeschwindigkeit bei 3 - 3,5 m/s an der Station Eisenstadt und 2 - 2,5 m/s an der Station Neusiedl. In 85% der Fälle ozonreicher Tage an der Station Illmitz liegen die Windgeschwindigkeiten an den jeweiligen Stationen unter diesen Werten. Trotz der geringeren Messperiode der Station Neusiedl ist auf Grund der topographischen Lage und der Homogenität der auftretenden Windrichtungen beider Stationen diese Station im Falle der Windstärken repräsentativer zu sehen als die Station Eisenstadt. Die deutlichen Unterschiede im Falle der Windgeschwindigkeit geben Hinweise auf orographische Einflüsse. Die Verteilungen der Windrichtungen, wie in Abbildung 4.38 dargestellt, zeigen sehr homogene Verteilungen über die unterschiedlichen Zeitspannen.



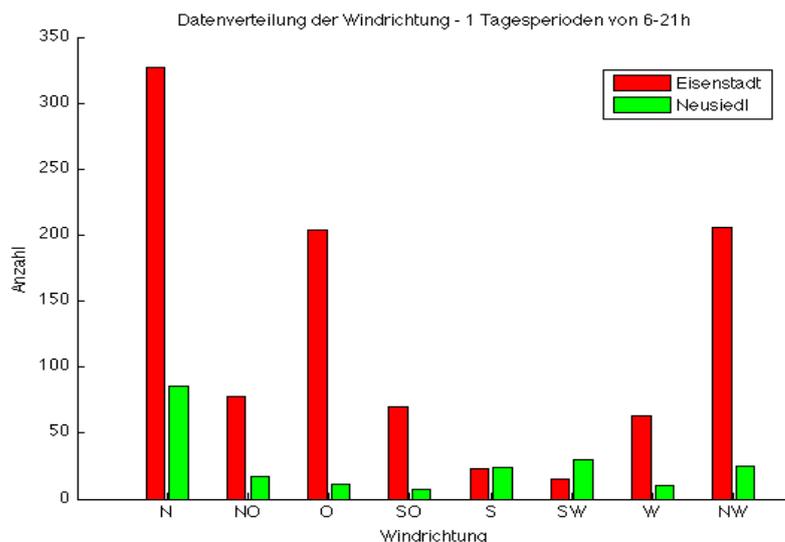


Abb. 4.38: Häufigkeitsverteilungen der Windrichtungen der Stationen Eisenstadt und Neusiedl in den Zeitperioden von 3 Tagen (o.Bild) und einem Tag von 6 - 21h (u.Bild)

Die dominierenden nord- und nordwestlichen Windrichtungen in der dreitägigen Analyse werden lediglich bei der Tagesbetrachtung der eintägigen Analysen in der Zeit von 6h bis 21h abgeschwächt. Hier zeigen die östlichen Windrichtungen eine steigende Tendenz in ihrem Verhältnis zu den anderen Windrichtungen.

Die Ergebnisse der relativen Häufigkeiten der drei häufigsten Windrichtungen in Tabelle 4.8 zeigen einen prozentuell hohen Anteil der nördlichen Windrichtungen in den Analysen.

Tab. 4.8: Relative Häufigkeiten der 3 Hauptwindrichtungen an den Stationen Eisenstadt und Neusiedl in den Zeitperioden von 3 Tagen und einen Tag in der Zeit von 6h – 21h

STATION	3-Tagesmittel von 0-24h				1-Tagesmittel von 6-21h							
	DD dir	DD-RH %	DD dir	DD-RH %	DD dir	DD-RH %	DD dir	DD-RH %				
Eisenstadt	N	32,7	NW	28,3	O	14,5	N	33,2	NW	20,9	O	20,7
Neusiedl	N	38,4	NW	16,1	NO	10,9	N	41,0	SW	14,3	NW	11,9

Bei beiden Stationen zeigt sich ein relativer Anteil von 65% der Windrichtungen aus den nördlichen Segmenten, die an der Station Eisenstadt durch östliche Windrichtungen ergänzt werden. An der Station Neusiedl ist neben diesen Hauptwindrichtungen ein sehr ausgeglichenes Windprofil der restlichen Richtungen zu sehen. Mit den nördlichen Windrichtungen werden Luftschadstoffe bevorzugt aus dem Großraum Wien und Bratislava in Richtung Illmitz transportiert. Dies lässt einen Einfluss der Windkomponenten für dieses Gebiet und deren Ozonkonzentrationen vermuten.

## 4.5 Variabilität meteorologischer Parameter

Die bisherigen Betrachtungen des Datenmaterials wurden vorwiegend aus der Sicht von Ozon durchgeführt, wobei die Messreihen auf der Basis von zu untersuchenden Ozonlevels analysiert wurden. Die daraus gewonnenen meteorologischen Werte, wie mittlere Sonnenscheindauer, Globalstrahlung, Windstärke und Windrichtungshäufigkeiten, bieten nun die Grundlage für die Untersuchung aus Sicht der meteorologischen Parameter. Dazu sollen die meteorologischen Messreihen auf relevante Perioden untersucht werden, um die Häufigkeit dieser Perioden mit und ohne Ozonüberschreitungen zu ermitteln. Daran kann man erkennen, ob sich die Anzahl dieser Perioden in dem Untersuchungszeitraum verändert hat und inwieweit sich dazu die Überschreitungen der Ozonkonzentrationen verändert haben.

Bei den Analysen der einzelnen Stationen wurden die berechneten 3-Tages-Mittelwerte von Sonnenscheindauer, Globalstrahlung und Windstärke der Messstation als Schwellwerte für die Untersuchungen herangezogen und der Beobachtungszeitraum auf die relevanten Monate von April bis September gelegt. Weiter wurden die Untersuchungslevels der meteorologischen Parameter für die Erkennung der unterschiedlichen Häufigkeiten der Perioden auf Basis der errechneten Standardabweichungen variiert, um Basiswerte für die jeweilige Station bei Ozonüberschreitungen zu finden.

Um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten, wurde auch bei den meteorologischen Untersuchungen eine 3-Tages-Periode (zwei Vortage plus Ereignisstag) als Zeitspanne definiert und die Ozonlevels der zugehörigen Ozonstation am letzten Tag untersucht. Dabei wurden neben den Konzentrationswerten die Anzahl der Überschreitungen der festgesetzten Ozonlevels ( $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , bzw.  $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$  an der Station Ternitz) berechnet. Als erstes Fallbeispiel wurde Bergern im Dunkelsteinerwald ausgewählt, und die Zeitserien der meteorologischen Stationen Krems und Jauerling auf ihre beobachteten Mittelwerte und Standardabweichungen an ozonreichen Tagen untersucht. Die Tabelle 4.9 zeigt uns die ermittelten Werte in den 3-Tages-Analysen der meteorologischen Parameter Sonnenscheindauer (SD), Globalstrahlung (GS), Temperatur (T) und Windgeschwindigkeit (VV) dieser Stationen. Eine komplette Tabelle aller meteorologischen Stationen mit ihren

ein, drei und 15 tägigen Analysen der Mittelwerte und Standardabweichungen ist im Anhang D1 beigelegt.

Tab. 4.9: 3-Tages-Mittelwerte und –Standardabweichungen der Stationen Jauerling und Krems der meteor. Parameter Sonnenscheindauer, Globalstrahlung, Temperatur u. Windgeschwindigkeit

MET-STATION	SD-MW	SD-STD	GS-MW	GS-STD	T-MW	T-STD	VV-MW	VV-STD
	h/day	h/day	J/cm <sup>2</sup>	J/cm <sup>2</sup>	°C	°C	m/s	m/s
Jauerling	12,0	2,0	2476,0	313,3	18,9	3,5	3,7	0,7
Krems	12,1	1,5	2438,3	307,8	22,0	3,6	1,3	0,3

Die Ergebnisse der meteorologischen 3-Tages-Analysen sind für die Stationen Jauerling und Krems in der Tabelle 4.10 angeführt. Zusätzlich wurden die untersuchten Mittelwerte im Bereich der berechneten Standardabweichungen bei den Analysen variiert und die Häufigkeit ihres Auftretens berechnet. Dadurch konnten Mindest- bzw. Maximalwerte der einzelnen meteorologischen Faktoren für ozonreiche Tage ermittelt werden.

Tab. 4.10: Anzahl der Ereignisse meteorologischer 3-Tages-Mittelwerte von Sonnenscheindauer, Globalstrahlung und Windgeschwindigkeiten der Stationen Jauerling und Krems

Station	d>180 µg/m <sup>3</sup>	SD>12 h/day	SD> 11 h/day	SD>10 h/day	GS>2.4 kJ/cm <sup>2</sup>	GS>2.3 kJ/cm <sup>2</sup>	GS>2.2 kJ/cm <sup>2</sup>	VV<4 m/s	VV<5 m/s
Jauerling	86 (64)	27(262)	44(474)	50(738)	34(311)	41(418)	46(572)	38(1383)	55(2350)
Station	d>180 µg/m <sup>3</sup>	SD>12 h/day	SD>11 h/day	SD>10 h/day	GS>2.4 kJ/cm <sup>2</sup>	GS>2.3 kJ/cm <sup>2</sup>	GS>2.2 kJ/cm <sup>2</sup>	VV<1 m/s	VV<2 m/s
Krems	86 (49)	27(198)	37(395)	45(643)	28(308)	35(427)	37(564)	4(175)	47(1999)

In der ersten Spalte neben dem Stationsnamen steht die Anzahl der Ozonüberschreitungen der Station Bergern über den angenommenen Ozonleveln. Der Wert in der Klammer daneben gibt die Anzahl der Ozonüberschreitungen an, die auf Grund der Datenlage von den meteorologischen Größen analysiert werden konnten, da für manche Stationen nicht alle meteorologischen Parameter in der Zeitspanne der Ozonmessreihen vorlagen. Die Ergebnisse zeigen, dass von den 86 Tagesüberschreitungen an der Station Bergern meteorologische Daten für 64 Überschreitungen an der Station Jauerling vorhanden sind und für 49 Fälle an der Station Krems. Daneben stehen die Anzahl der Ereignisse, bei welchen sowohl der meteorologische Parameter an diesen 3-Tagen aufgetreten ist als auch die O<sub>3</sub>-Konzentration den Schwellwert überschritten hat. Bei den Klammerwerten der

meteorologischen Größen handelt es sich um die Summe der Häufigkeit der meteorologischen 3-Tages-Ereignisse in der gesamten Messperiode, ohne einen angenommenen Ozonschwellwert.

Die Annahme einer mittleren 3-Tages-Sonnenscheindauer von >12 h/Tag bei beiden Stationen ergibt, dass dieser dreitägige Mittelwert an der Station Jauerling 262 mal und an der Station Krems 198 mal aufgetreten ist. Davon sind sie in 27 Fällen mit hohen Ozonkonzentrationen aufgetreten, was eine relative Häufigkeit von 10,3% bei Jauerling und 13,6% bei Krems bedeutet. Variiert man die Sonnenscheindauer in der berechneten Standardabweichung um 2h nach unten, so erhält man bei einer Analyse von >10 h/Tag in 50 von 738 Fällen an der Station Jauerling und in 45 von 643 Fällen eine Übereinstimmung mit erhöhten O<sub>3</sub>-Konzentrationen. Die relativen Häufigkeiten nehmen prozentuell gesehen ab, jedoch kann man sagen, dass 78% (50 von 64 möglichen) der Ereignisse hoher Ozonkonzentrationen an der Station Bergern durch eine Sonnenscheindauer von >10 h/Tag an der Station Jauerling erklärt werden können. Im Falle Krems sind es sogar 92% (45 von 49) der Fälle trotz der kürzeren Messreihe. Das bestätigt die Ergebnisse der berechneten Standardabweichungen in den Fallbeispielen.

Im Falle der Globalstrahlung ist bei den Untersuchungen mit den berechneten Mittelwerten eine etwas höhere Überschneidung mit der O<sub>3</sub>-Konzentration zu erkennen. Die relativen Häufigkeiten bewegen sich im Bereich der Ergebnisse der Sonnenscheindauer. Bei der Variation des Untersuchungslevels der Globalstrahlungswerte liegen die Resultate mit den Ozonüberschreitungen unter denen der Sonnenscheindauer. Die Ergebnisse der relativen Häufigkeiten befinden sich im Bereich der Sonnenscheindauer. Analysiert man die Zeitreihen mit der Variation der Globalstrahlung durch die berechneten Standardabweichung auf >2,1 kJ/cm<sup>2</sup>, so erhält man eine Trefferquote von 73,4% (47 von 64 Fälle) für Jauerling und 83,7% (41 von 49 Fälle) für die Station Krems. Dies liegt im unteren Bereich der Ergebnisse der Standardabweichungen, bestätigt aber die höchsten Variabilitäten bei den Globalstrahlungswerten der Stationen Jauerling und Krems unter allen untersuchten Stationen.

Bei der Analyse der Windgeschwindigkeit müssen die topographischen Unterschiede dieser beiden Stationen berücksichtigt werden und der Fokus auf die Station Krems gelegt werden. An der Station Jauerling sind in 38 von 64

Fällen Überschneidungen bei den Untersuchungen mit dem aufgerundeten 3-Tages-Mittel von <4 m/s zu sehen. Bei Erhöhung des Untersuchungslevels auf <5 m/s sind 86% (55 von 64 Fälle) an Überschneidungen mit hohen Ozonkonzentrationen erkennbar. Die Station Krems zeigt ein noch schärferes Ergebnis, welches bei Windstärken <2 m/s ein 96%iges Resultat an Korrelation mit ozonreichen Tagen liefert.

Dies bestätigt zwar die Ergebnisse der Einzelfallstudien in den unterschiedlichen Zeiträumen, doch sieht man sich die relativen Häufigkeiten der Windgeschwindigkeiten an, so sind diese im Durchschnitt zu den anderen meteorologischen Parametern deutlich geringer und liegen zwischen 1,7% und 8,6%. Ein Grund für diese geringen relativen Häufigkeiten sind die mitunter oft wechselnden Windrichtungen bei schwachen Windgeschwindigkeiten und die daraus entstehende Diffusion und Deposition der Schadstoffe am Boden. Genauere Analysen mit kleinskaligeren Winddaten (10min. Mittelwind) könnten hier genauere Aufschlüsse geben. Die bei der Analyse verwendeten einstündig gemittelten Winddaten zeigen eine klare Tendenz und bestätigen die Beobachtungen von geringen Windgeschwindigkeiten an ozonreichen Tagen. Das Gleiche tritt im zweiten Windparameter der Windrichtung zu Tage, wo schon bei den Analysen der Fallbeispiele im Kapitel davor auf die eintägige Zeitperiode gewechselt wurde, um detailliertere und aussagekräftigere Ergebnisse zu erhalten.

Tab. 4.11: Relative Häufigkeiten der 3 Hauptwindrichtungen an den Stationen Krems und Jauerling in der Zeit von 6-21h ohne und mit Ozonuntersuchungslevel von 180 µg/m<sup>3</sup>

MET - Station	O <sub>3</sub> -Wert µg/m <sup>3</sup>	DD dir	DD-RH %	DD dir	DD-RH %	DD dir	DD-RH %
Jauerling	>0	W	28,8	O	19,4	NW	13,7
Krems	>0	W	20,1	O	19,5	SW	15,1
Jauerling	>180	O	46,4	NO	25,9	W	7,2
Krems	>180	O	46,9	NO	13,9	SO	11,7

Die Tabelle 4.11 zeigt die relativen Windrichtungshäufigkeiten der eintägigen Analysen in der Zeit von 6h – 21h an den Stationen Krems und Jauerling. Die Resultate liefern ein deutliches Zeichen zu Gunsten der östlichen Richtungen, was mit steigendem Ozonuntersuchungslevel immer deutlicher wird. Sie treten mit über 70% bei einem Tagesmaximum der Ozonkonzentration von >180 µg/m<sup>3</sup> in Erscheinung.

Ein weiteres Beispiel ist die Station Hohe Warte in Wien, deren Resultate in den Tabellen 4.12 und 4.13 zu sehen sind. Sie beinhalten die 3-Tages-Mittelwerte und –Standardabweichungen sowie die Anzahl der Ereignisse der meteorologischen Perioden der Station Hohe Warte im Beobachtungszeitraum.

Tab. 4.12: 3-Tages-Mittelwerte und –Standardabweichungen der Station Wien Hohe Warte der meteor. Parameter Sonnenscheindauer, Globalstrahlung, Temperatur u. Windgeschwindigkeit

MET-STATION	SD-MW	SD-STD	GS-MW	GS-STD	T-MW	T-STD	VV-MW	VV-STD
	h/day	h/day	J/cm <sup>2</sup>	J/cm <sup>2</sup>	°C	°C	m/s	m/s
Wien Hohe Warte	12,5	1,5	2459,8	260,7	24,0	2,6	2,1	0,6

Tab. 4.13: Anzahl der Ereignisse meteorologischer 3-Tages-Mittelwerte von Sonnenscheindauer, Globalstrahlung und Windgeschwindigkeiten der Station Wien Hohe Warte

Station	d>180	SD>13	SD>12	SD>11	GS>2.5	GS>2.4	GS>2.2	VV<2	VV<3
	µg/m <sup>3</sup>	h/day	h/day	h/day	kJ/cm <sup>2</sup>	kJ/cm <sup>2</sup>	kJ/cm <sup>2</sup>	m/s	m/s
Wien Hohe Warte	69	26(199)	43(474)	62(816)	29(391)	41(545)	60(924)	33(384)	63(1770)

Die Anzahl der jeweiligen Ereignisse ergeben ein noch schärferes Ergebnis als es die berechneten Standardabweichungen schon zeigen. So erhalten wir mit einer Sonnenscheindauer von > 11 h/Tag bereits eine fast 90%ige Abdeckung der Ereignisse von Tagen hoher Ozonkonzentrationen über 180 µg/m<sup>3</sup>. Mit einer durchschnittlichen relativen Häufigkeit von 10% treten bei den untersuchten Sonnenscheindauern ebenso hohe O<sub>3</sub>-Konzentration auf, wobei mit höher werdender Sonnenscheindauer die relativen Häufigkeiten wachsen (13,1% bei SD > 13h). Bei der Variation der Globalstrahlung innerhalb der berechneten Standardabweichung wird mit einer Tagessumme der Globalstrahlung von > 2,2 kJ/cm<sup>2</sup> eine 87%ige Abdeckung der Ereignisse erreicht. Die relativen Häufigkeiten sind im Vergleich zur Sonnenscheindauer niedriger und liegen in einem Bereich von 7 - 7,5%.

Im Falle der Windgeschwindigkeit ist in fast 50% der Fälle das Tagesmittel unter 2 m/s und in über 90% der Fälle unter 3 m/s. Beim Vergleich der Häufigkeiten der 3-Tages-Mittelwerte mit und ohne Ozonschwellwert zeigen die Analysen, dass es an 761 Tagen in der Beobachtungsperiode zu einer mittleren Tageswindstärke von < 2 m/s, und davon an 46 Tagen zu einer O<sub>3</sub>-Konzentration von > 180 µg/m<sup>3</sup>, an der Station Hohe Warte gekommen ist. Bei der Untersuchung mit einem Tagesmittelwert von < 3 m/s kommt man auf 66 Tage mit hohen Ozonkonzentrationen. Das ergibt eine Abdeckung von mehr als

95% der Ereignisse an dieser Station. Hier werden mit den eintägigen Analysen schärfere Ergebnisse erzielt, jedoch bleiben die Resultate der relativen Häufigkeiten dieser Ereignisse mit niedrigen Windgeschwindigkeiten gleich und liegen bei 9% bei einer mittleren Windstärke von < 2 m/s. Sie fallen bei einer Windstärke im Mittel von < 3 m/s auf 4% herab.

Bei der Windrichtung wird bei der eintägigen Analyse verblieben und die Resultate mit den beiden Untersuchungslevels von Ozon sind in Tabelle 4.14 zu sehen. Es zeigt sich die Änderung von den normalen Hauptwindrichtungen West und Nordwest auf die östlichen Richtungen an Tagen hoher Ozonkonzentrationen.

Tab.4.14: Relative Häufigkeiten der 3 Hauptwindrichtungen an den Station Wien Hohe Warte in der Zeit von 6-21h ohne und mit Ozonuntersuchungslevel von 180 µg/m<sup>3</sup>

MET - Station	O3-Wert µg/m <sup>3</sup>	DD	DD-RH	DD	DD-RH	DD	DD-RH
		dir	%	dir	%	dir	%
Wien Hohe Warte	>0	W	26,9	NW	21,1	SO	15,3
Wien Hohe Warte	>180	O	35,9	SO	16,2	W	12,9

Sie treten während der Tagesperiode von 6h bis 21h mit über 50%iger Wahrscheinlichkeit als Stundenmittel auf. Berücksichtigt man die urbane Lage und regionale Topografie der Station, so erkennt man, dass in diesem NO<sub>x</sub>-sensitiven Gebiet die Entstehung und Advektion von VOCs und OHs ein wichtiger Faktor für hohe O<sub>3</sub>-Konzentrationen ist. Auch Windrichtungen aus westlichen bis nördlichen Richtungen mit geringen Windstärken können relevant sein, da sie natürliche Primärstoffe und Ozon aus Reservoirschichten aus dem Wienerwaldraum in Richtung Stadt transportieren. Diese Ergebnisse bestätigen auch aus Sicht der meteorologischen Ereignisse die Ergebnisse der Periodenanalysen mit einer ein- und dreitägigen Zeitperiode.

Für die unterschiedlichen meteorologischen Parameter lassen sich auf Grund der Analysen aller untersuchten meteorologischen Stationen folgende Ergebnisse zusammenfassen: Die in den 15-tägigen Analysen beobachtete höhere Variabilität der Sonnenscheindauer und Globalstrahlung zeigt sich auch in den Berechnungen der drei- und eintägigen Analysen. Im Durchschnitt weisen die Stationen bei den dreitägigen Untersuchungen höhere Mittelwerte als die eintägigen Analysen auf. Sie liegen bei der Sonnenscheindauer um die 12 h/Tag bei den eintägigen und bei 12,3 h/Tag bei den dreitägigen Analysen.

Die Globalstrahlung weist im Durchschnitt Werte von  $2374 \text{ J/cm}^2$  bei den eintägigen und  $2435 \text{ J/cm}^2$  bei den dreitägigen Analysen auf. Hier gibt es unter den Stationen Unterschiede in den Mittelwerten, die in einer Schwankungsbreite von  $2300 - 2600 \text{ J/cm}^2$  liegen. Werden, wie im Falle der Ozonstation Ternitz, die meteorologischen Reihen der Stationen Puchberg, Reichenau und Wr. Neustadt auf niedrigere Ozonlevels ( $160 \mu\text{g/m}^3$ ) untersucht, so ergeben sich dadurch niedrigere Mittelwerte der meteorologischen Parameter, deren Differenzen sich bei den unterschiedlichen zeitlichen Periodenanalysen verringern.

Die indirekten Auswirkungen, die durch die höheren dreitägigen Mittelwerte auftreten, sieht man bei den Temperaturmittelwerten, die, im Gegensatz zu den anderen Parametern, bei den eintägigen Analysen ( $24,3 \text{ }^\circ\text{C}$ ) höhere durchschnittliche Mittelwerte aufweisen als die dreitägigen Analysen ( $23,4 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Dies bestätigt auch die Wichtigkeit längerer Schönwetterperioden, die sich dadurch indirekt mit höheren Lufttemperaturen positiv auf die chemischen Reaktionen der Luftchemie und Ozonproduktion auswirken können. Dies war ein weiterer Grund, warum die Untersuchungen der meteorologischen Reihen auf ihre Häufigkeiten des Auftretens mit den dreitägigen Mittelwerten durchgeführt wurden. Nur im Falle der Windrichtung wurden die Analysen mit einem kleineren Zeitfenster von einem Tag und in der Zeit von 6h – 21h durchgeführt.

### **Sonnenscheindauer:**

Bei den Perioden der Sonnenscheindauer können im Durchschnitt 55% der Ereignisstage (Variabilität der Stationen: 42% - 75%) mit den berechneten 3-Tages-Mittelwerten erklärt werden. Durch die Variation des Mittelwertes im Rahmen der Standardabweichung von 2h (Stationenmittel: 1,85h) konnten im Durchschnitt 89% der Ereignisstage (Variabilität der Stationen: 78%-100%) erklärt werden. Diese Ergebnisse entsprechen den berechneten Werten und schiefen Verteilungen der Sonnenscheindauer bei den Analysen der kürzeren Zeitperioden. Die relative Häufigkeit des Auftretens hoher  $\text{O}_3$ -Konzentrationen bei meteorologischen Ereignisperioden der Sonnenscheindauer liegt im Durchschnitt nur bei 9% (Variabilität der Stationen: 4,5% - 13,6%).

### **Globalstrahlung:**

Bei den Untersuchungen der Datenreihen der Globalstrahlung mit den 3-Tages-Mittelwerten zeigen im Durchschnitt 54% der Perioden (Variabilität der Stationen: 47% - 64%) hohe O<sub>3</sub>-Konzentrationen an den dazugehörigen Ozonmessstationen. Die Variation der Mittelwerte im Bereich der Standardabweichungen jeder Station ergeben eine im Durchschnitt 81%ige Abdeckung der Ereignisstage (Variabilität der Stationen: 73% - 90%) hoher O<sub>3</sub>-Konzentrationen an den jeweiligen Stationen. Die relative Häufigkeit der Ereignisse mit hohen O<sub>3</sub>-Konzentrationen liegt im Durchschnitt bei 6,5% (Variabilität der Stationen 3,3% - 11%). Bei den teilweise schlechteren Ergebnissen der Globalstrahlung muss man die lückenhaften und unvollständigen Messreihen der Stationen bei diesem Parameter berücksichtigen.

### **Windstärke:**

Im Durchschnitt werden an 55% der Tage (Variabilität der Stationen: 45% - 72%) hoher O<sub>3</sub>-Konzentrationen die mittleren Windstärken der dreitägigen Analysen beobachtet. Auch bei diesem Parameter bestätigen sich die Ergebnisse der kürzeren Zeitanalysen. Eine 89%ige Abdeckung der Ozonereignistage, bei der Variation der 3-Tages-Mittelwerte im Bereich der Standardabweichung (Variabilität der Stationen: 75% - 100%), ergeben die Resultate. Bei den relativen Häufigkeiten der meteorologischen Perioden mit und ohne Ozonschwellwert liegen die Ergebnisse klar hinter denen der anderen Parameter zurück und betragen im Durchschnitt nur 3% (Variabilität der Stationen: 0,3% - 8,6%). Herauszuheben wäre nur die Station Wien Hohe Warte, die sich mit 8,6% relativer Häufigkeit deutlich von den anderen unterscheidet. Dieses Ergebnis lässt vermuten, dass bei schwachen Windverhältnissen die Variabilität der Windrichtung eine wichtige Rolle spielt.

### **Windrichtung:**

Bei der Windrichtung wurde auf Grund der hohen Variabilität das Zeitfenster auf einen Tag gelegt und zusätzlich nur die Tageszeit von 6h bis 21h untersucht. Die Resultate zeigen mit kleiner werdenden Zeitfenstern immer deutlichere Ergebnisse, wobei die regionalen Unterschiede bei den Richtungen innerhalb der Stationen stark variieren. Während an den Stationen im nordwestlichen

Niederösterreich, wie Retz, Krems und Jauerling, sehr deutlich östliche Windrichtungen vorherrschen, so zeigen die Stationen im südöstlichen Untersuchungsgebiet die nördlichen Richtungen. Ganz andere Ergebnisse zeigen die Stationen im Weinviertel (Poysdorf, Hohenau und Oberleiss), wo für die südlichen Richtungen, die aber mitunter von nördlichen und westlichen Richtungen durchsetzt sind, höhere Häufigkeiten beobachtet werden. Das südwestliche Gebiet zeigt regionale Unterschiede zwischen den Talstationen Puchberg und Reichenau und der Hangstation Wr. Neustadt. Westliche und östliche Richtungen bestimmen bei den Talstationen die Hauptrichtungen, während Wr. Neustadt sehr deutliche östliche und nordöstliche Richtungen anzeigt. Die Station Wien Hohe Warte im urbanen Zentrum des Untersuchungsgebietes zeigt sehr klare ost und südöstliche und westliche Richtungen.

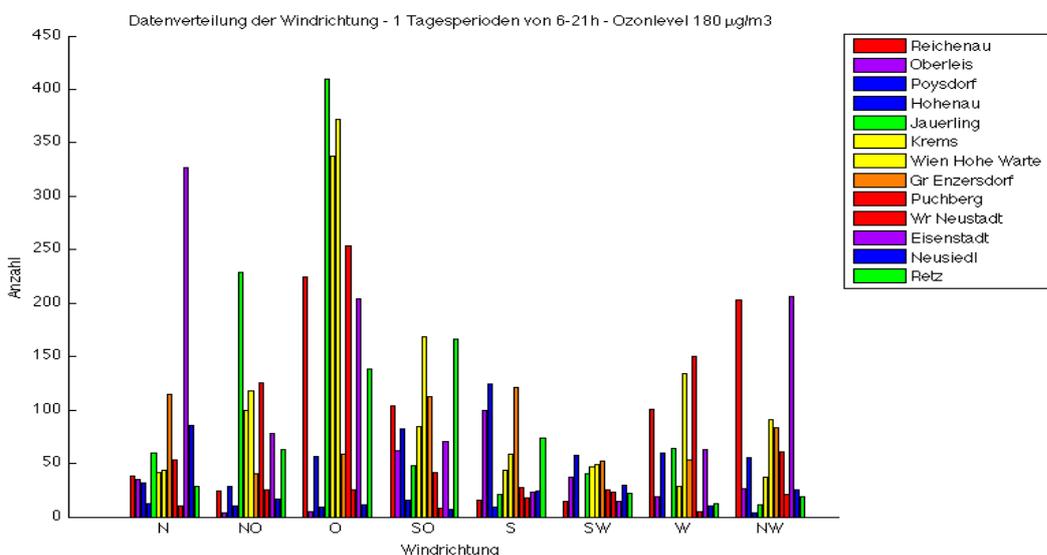
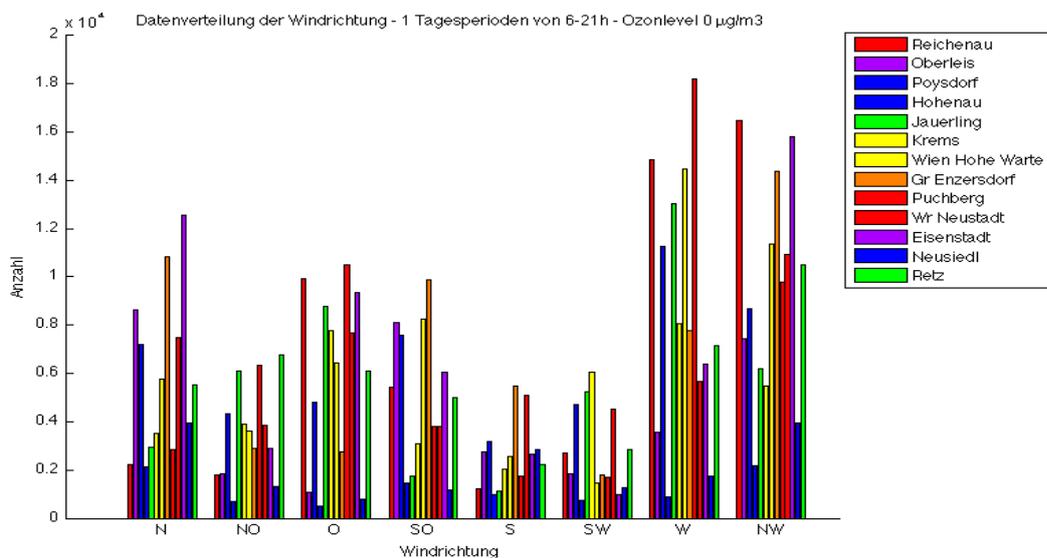


Abb.4.39: Häufigkeitsverteilungen der Windrichtungen aller meteor. Stationen von April - September in der Zeitperiode von einem Tag von 6 - 21h ohne (o.Bild) und mit Ozonlevel (160/180 µg/m<sup>3</sup>, u.Bild)

In der Abbildung 4.39 sind die Häufigkeitsverteilungen der Windrichtungen aller Stationen in dem Zeitraum April bis September der gesamten Periode in der Zeit von 6h bis 21h zu sehen. Das obere Bild zeigt die Verteilung ohne einen angenommenen Ozonlevel, in der unteren Abbildung ist die Verteilung der Windrichtungen mit einem Schwellwert von  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$  für Puchberg, Reichenau und Wr.Neustadt) abgebildet. Man erkennt die unterschiedlichen Verteilungen der Stationen an ozonreichen Tagen. Die nördliche Richtung an der Station Eisenstadt, die zahlreichen östlichen Häufigkeiten sowie die nordwestlichen Richtungen der Stationen Reichenau und Eisenstadt. In der Tabelle 4.14 sind die Verteilung der Häufigkeiten und die relative Häufigkeit jeder Richtung sowie der Gesamtanzahl aller Richtungen in Zahlen, der Stationen Eisenstadt, Wien Hohe Warte und Krems zu betrachten.

Tab. 4.15: Häufigkeiten der Windrichtungen der meteor. Stationen Eisenstadt, Wien Hohe Warte und Krems im Zeitraum von April bis September in der Zeitperiode von einem Tag von 6 - 21h ohne und mit Ozonlevel ( $160/180\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) sowie die relative Häufigkeit jeder Richtung und der Summe

MET - Station	N	NO	O	SO	S	SW	W	NW	SUM
Eisenstadt	12571	2872	9369	6031	2646	995	6368	15796	56648
Eisenstadt	327	78	204	70	23	15	63	206	986
Eisenstadt - % RH	2,6	2,7	2,2	1,2	0,9	1,5	1,0	1,3	1,7
Wien Hohe Warte	5775	3599	6420	8231	2544	1462	14497	11384	53912
Wien Hohe Warte	44	118	372	168	59	49	134	91	1035
Wien Hohe Warte-% RH	0,8	3,3	5,8	2,0	2,3	3,4	0,9	0,8	1,9
Krems	3518	3912	7784	3105	2046	6035	8042	5499	39941
Krems	41	100	338	84	44	47	29	37	720
Krems - %RH	2,6	2,7	2,2	1,2	0,9	1,5	1,0	1,3	1,3

In der ersten Zeile der jeweiligen Station stehen die Anzahl der Stundenmittel der Analysen ohne Ozonlevel. Die zweite Zeile zeigt jeweils die Anzahl der Stundenmittel an den Tagen hoher  $\text{O}_3$ -Konzentrationen ( $160/180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). In der dritten Zeile jeder Station ist die relative Häufigkeit der jeweiligen Richtung zu sehen. Generell zeigen die Stationen einen ähnlichen Wertebereich der relativen Häufigkeiten wie bei der Windgeschwindigkeit, die bei den wesentlichen Windrichtungen im Bereich von 2,5% bis 3% liegen. Hier ist zu beobachten, dass bei der Station Hohe Warte in Wien die Richtung Ost mit 5,8% RH und Nordost mit 3,3% RH deutlich über dem Durchschnitt liegen.

## **Zusammenfassung:**

Die Mittelwerte von Sonnenscheindauer und Globalstrahlung der 3-Tages-Analysen zeigen höhere Werte als die der eintägigen Analysen. Gleichzeitig sind die Standardabweichungen der Parameter bei den dreitägigen Analysen geringer. Ausnahme bildet nur die Temperatur, die bei den eintägigen Analysen höhere Mittelwerte und kleinere Standardabweichungen zeigt. Dieses Resultat bestätigt die Ergebnisse der Sonnenscheindauer und Globalstrahlung in den Vortagen einer Ozonüberschreitung.

Bei der Windgeschwindigkeit müssen die Hügelstationen Jauerling und Oberleis separiert betrachtet werden, da sie im Vergleich zu den anderen Stationen mit 4,8 m/s und 3,9 m/s wesentlich höhere mittlere Windstärken aufweisen. Der Durchschnitt der anderen Stationen liegt bei 1,85 m/s, wobei die Analysen der eintägigen Zeitperiode geringere Mittelwerte und Standardabweichungen aufweisen.

Wie auch bei der Windgeschwindigkeit sieht man bei der Windrichtung, dass die eintägigen Analysen deutlichere Ergebnisse zeigen. Die relativen Häufigkeiten zeigen im Durchschnitt bei der Sonnenscheindauer und Globalstrahlung deutlich höhere Werte als bei den Windparametern. Die Variabilität der Windgeschwindigkeit zeigt an den Ereignistagen hoher Konzentrationen von Ozon die geringsten Werte und die besten Übereinstimmungen bei den Variationen innerhalb der berechneten Standardabweichungen.

Somit sieht man, dass die Bedingungen der einzelnen meteorologischen Parameter wesentlich öfters vorhanden wären, jedoch das gleichzeitige Auftreten miteinander nicht immer vorhanden ist. Aus den 15-tägigen Analysen erkennt man, dass kleine Variationen der einzelnen Parameter einen wesentlichen Einfluß auf die Ozonkonzentrationen haben können. Diese Ergebnisse lassen die Vermutung zu, dass neben den meteorologischen Bedingungen auch die chemische Zusammensetzung der Luft sehr wichtig für die Ozonbildung ist.

## 4.6 Korrelationen der Parameter mit Ozon

Nach den Betrachtungen und Untersuchungen der einzelnen Perioden und Tage hoher Ozonkonzentrationen sowie der meteorologischen Perioden, werden in diesem Kapitel die Zusammenhänge bestimmter Tageswerte der Ozonkonzentrationen zu bestimmten Werten der meteorologischen Parameter in der ganzen Periode verglichen und korreliert. Um jahreszeitliche Unterschiede zu untersuchen, wurden verschiedene Zeitfenster zur Analyse herangezogen. Neben der Betrachtung des möglichst kompletten Datensatzes von 1990 bis 2010, wurden die Monate April bis September separat in zwei Zeitabschnitten (April – Juni, Juli – September) untersucht. Zusätzlich wurde eine weitere Unterteilung in ozonreiche und ozonarme Jahre, wie im Kapitel 4.2.1 erörtert, bei den beiden Zeitabschnitten durchgeführt.

### 4.6.1. Korrelationen über die Periode 1990 – 2010:

Es werden die kompletten Datensätze betrachtet und die Tagesmittel oder Tagessummen der meteorologischen Parameter in Relation zu den Tagesmaxima der Konzentrationen von Ozon gesetzt. Die Abbildung 4.40 zeigt die Korrelationen der Ozontagesmaxima der Station Pillersdorf mit den berechneten meteorologischen Werten der Station Retz. Es wurden die Daten der Sonnenscheindauer- und Globalstrahlung-Tagessummen (1. Reihe), mittlere Windgeschwindigkeit und Windrichtung (2. Reihe) sowie Temperaturtagesmaxima und mittlere  $\text{NO}_2$ -Konzentrationen (3. Reihe) der Station Retz mit den Ozontagesmaxima der Station Pillersdorf korreliert. Auf den ersten Blick ist eine gute Korrelation der Sonnenscheindauer, Globalstrahlung und Temperatur mit den  $\text{O}_3$ -Konzentrationen zu erkennen, die sich auch in den Werten der Korrelationsfaktoren (Tab. 4.16) zeigt. Bei der Windgeschwindigkeit sieht man an dieser Station kein linear-korreliertes Ergebnis mit den  $\text{O}_3$ -Konzentrationen in diesem Betrachtungszeitraum. Dieses Resultat ist auch bei den anderen Stationen zu beobachten. Die  $\text{NO}_2$ -Konzentrationen liefern einen konvexen Streubereich mit einem Korrelationskoeffizienten von -0,48.

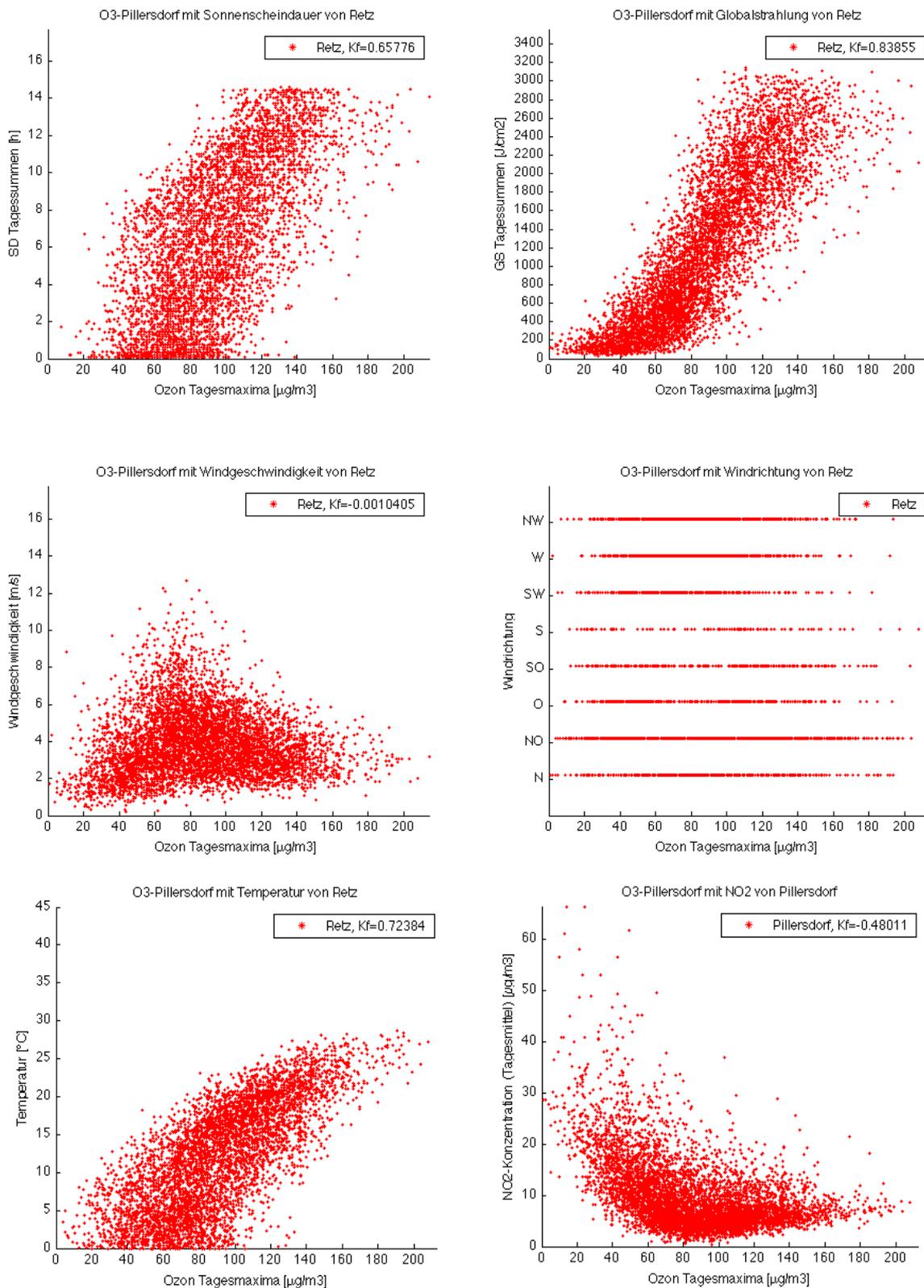


Abb.4.40: Korrelationen der Daten der Ozon-Station Pillersdorf mit der meteorologischen Station Retz über den Zeitraum 1994 – 2010

In der Tabelle 4.16 sind die Korrelationsfaktoren der meteorologischen Parameter aller Stationen über den kompletten Zeitraum des jeweiligen Datenbestandes eingetragen.

Tab. 4.16: Korrelationsfaktoren aller O<sub>3</sub>-Konzentrationen mit den Parametern der meteorologischen Stationen über den Zeitraum der Jahre 1990 - 2010

		PARAMETER	SD	GS	T	VV	NO <sub>2</sub>
O <sub>3</sub> -STATION	MET-STATION	NO <sub>2</sub> -STATION					
Hohe Warte	Hohe Warte	Hohe Warte	0,65	0,82	0,73	-0,05	-0,22
Illmitz	Eisenstadt	Illmitz	0,64	0,82	0,71	0,00	-0,46
Illmitz	Neusiedl	Stixneusiedl	0,68	0,83	0,69	-0,08	-0,41
Mistelbach	Oberleis	Wolkersdorf	0,68	0,84	0,70	-0,20	-0,36
Mistelbach	Poysdorf		0,68	0,83	0,71	-0,13	
Mistelbach	Hohenau		0,72	0,85	0,70	-0,13	
Ternitz	Reichenau	Ternitz	0,39	0,64	0,59	0,03	-0,39
Ternitz	Puchberg	Payerbach	0,45	0,65	0,57	0,02	-0,41
Ternitz	Wr Neustadt		0,65	0,79	0,68	0,14	
Pillersdorf	Retz	Pillersdorf	0,66	0,84	0,72	0,00	-0,48
Bergern/Dstwald	Jauerling	Bergern/Dstwald	0,55	0,79	0,62	-0,11	-0,51
Bergern/Dstwald	Krems		0,68	0,83	0,67	0,04	
Gänserndorf	Gr Enzersdorf	Gänserndorf	0,66	0,82	0,71	-0,14	-0,44

Mit Ausnahme der Talstationen Puchberg und Reichenau sind homogene Korrelationsfaktoren zwischen den einzelnen Parametern und den jeweiligen Ozonkonzentrationen zu beobachten. Bei den angesprochenen Talstationen sind die Abschattungsprobleme bestimmter orographischer Regionen zu beobachten, die sich auf die Sonnenscheindauer und Globalstrahlung, sowie in indirekter Weise auch auf die Temperatur, auswirken.

Bei den Stickstoffdioxidkonzentrationen zeigt nur die Station Hohe Warte einen deutlich anderen Korrelationsfaktor als die anderen Stationen. Hier führen die hohen NO<sub>2</sub>-Konzentrationen auch im Winter zu einem überdurchschnittlichen Ozonpegel, wodurch sich die konvexe Form des Streudiagramms in eine Punktwolke, wie in Abbildung 4.41 zu sehen, verdichtet, und somit den Korrelationsfaktor vermindert. Dies schließt zwar einen linearen Zusammenhang der NO<sub>2</sub>-Konzentrationen zu den O<sub>3</sub>-Konzentrationen aus, der aber bei den anderen Stationen durch die Form der Punktwolke auch nicht gegeben ist. Vielmehr lässt sich durch die konvexe Form der Streudiagramme eine nichtlineare Korrelation zwischen diesen beiden Parametern vermuten.

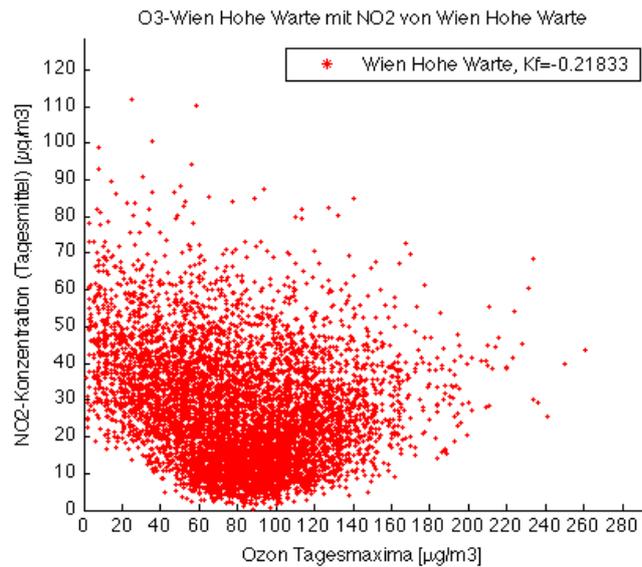


Abb.4.41: NO<sub>2</sub>-Korrelation der Station Wien Hohe Warte im Zeitraum 1990 – 2010

Die Werte der Korrelationskoeffizienten liefern im Allgemeinen ein gutes Ergebnis, jedoch treten speziell in den Diagrammen der Sonnenscheindauer, Globalstrahlung und Temperatur markante Punktmengen bei den niedrigen Werten auf. Durch die Wintermonate, in welchen kleine Werte der Sonnenscheindauer und Globalstrahlungssummen auf niedrigere Ozonwerte treffen, haben die Ergebnisse der Korrelationsfaktoren in diesem Beobachtungszeitraum für unsere Untersuchungen nur sehr geringe Aussagekraft und dienen hauptsächlich als Vergleichsbasis bei Veränderungen der Beobachtungsräume. Um hier genauere Ergebnisse zu erzielen wird das Zeitfenster wieder auf die relevanten Ozonmonate (April bis September) verkleinert.

#### 4.6.2. Jahreszeitliche Korrelationen der Parameter:

Das bereits bei den Analysen der hohen Ozonkonzentrationen eingeführte Betrachtungsfenster von April bis September wird bei den Korrelationsanalysen noch einmal in zwei Teilbereiche unterteilt. Diese erstrecken sich von April bis Juni und von Juli bis September. Diese Unterteilung wurde auf Grund der unterschiedlichen langjährigen Veränderungen der durchschnittlichen Ozonkonzentration in diesen beiden Perioden durchgeführt. Auf diese Thematik wird in einem späteren Kapitel noch genauer eingegangen. In weiterer Folge

wird die Periode von 1990 bis 2010 in ozonreiche und ozonarme Jahre unterteilt, sodass die nun folgenden Analysen sowohl die jahreszeitlichen als auch die jährlichen Unterteilungen berücksichtigen. Die Abbildungen 4.42 und 4.43 zeigen die Streudiagramme und Korrelationsfaktoren der Daten der Station Pillersdorf und der meteorologischen Station Retz für die beiden Perioden.

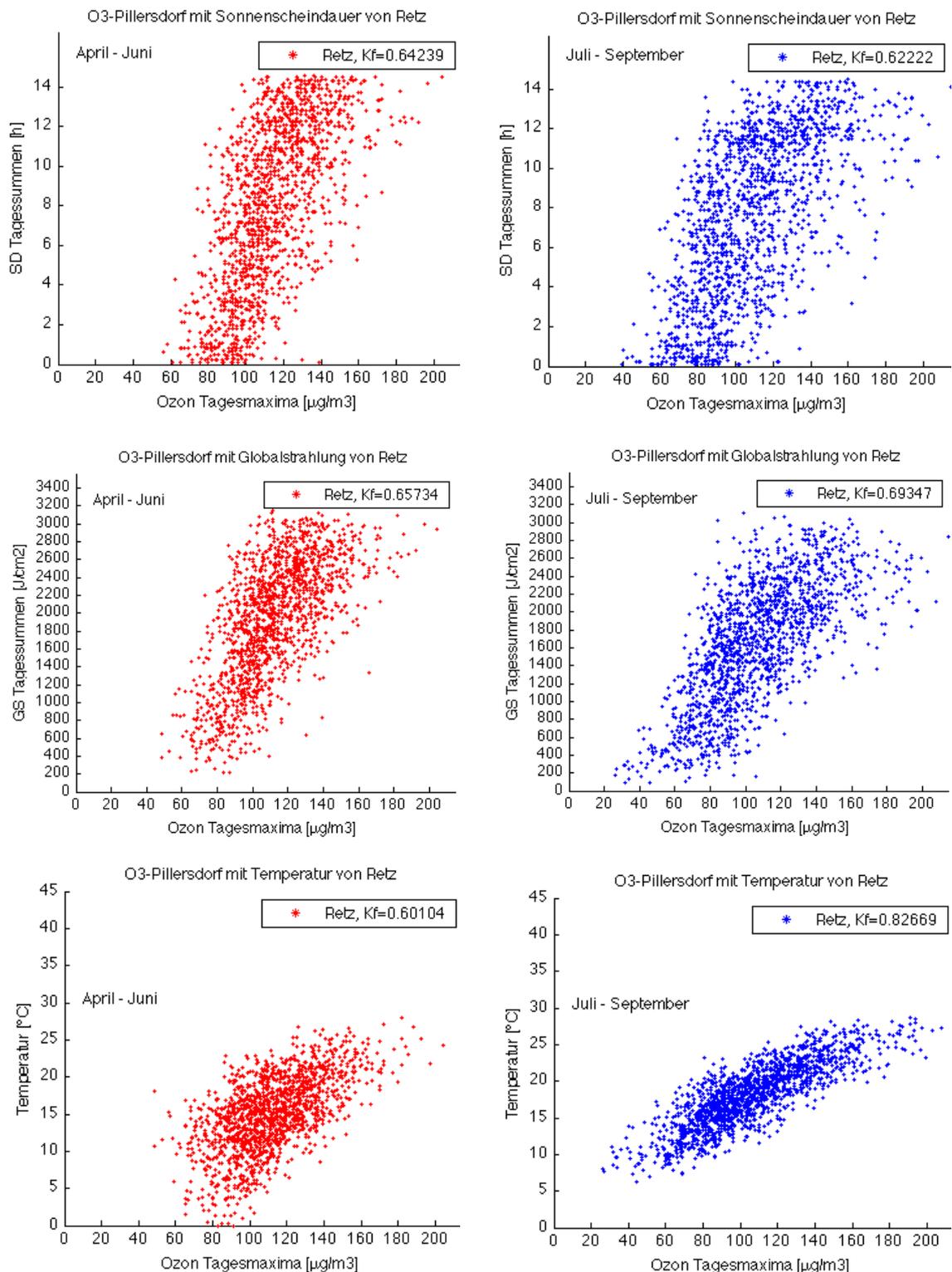
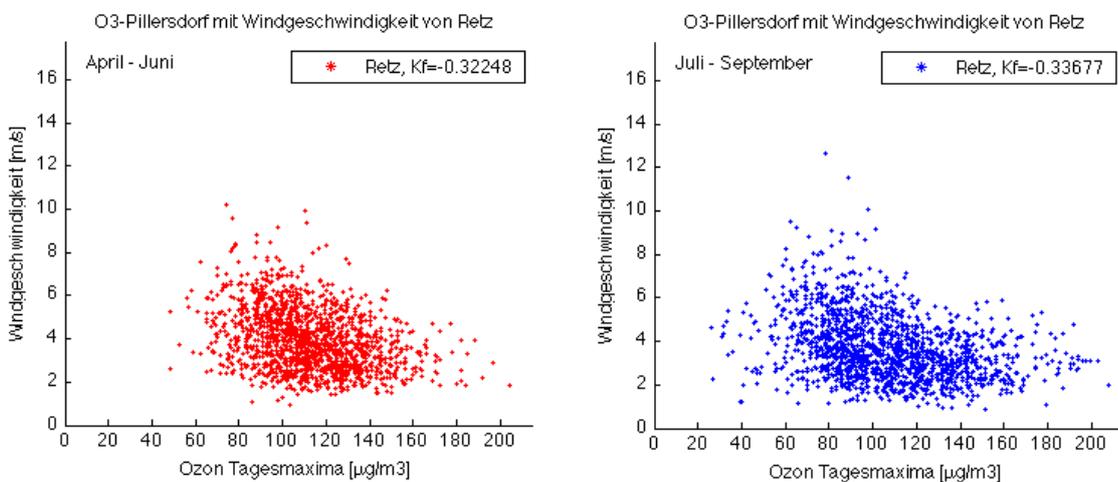


Abb. 4.42: Korrelationen der Sonnenscheindauer, Globalstrahlung und Temperatur der Station Pillersdorf und der meteorologischen Station Retz über den Zeitraum 1994 – 2010 in den Perioden April - Juni und Juli – September

Deutlich zu sehen ist die Verdünnung im niederen Segmentbereich bei allen drei Parametern. Die Korrelationsfaktoren sind in fast allen Bereichen etwas geringer als jene über den kompletten Datensatz. Lediglich bei der Temperatur zeigt sich im Zeitabschnitt Juli bis September ein positiveres Ergebnis. Die etwas geringeren Werte der Korrelationsfaktoren können dadurch erklärt werden, dass durch die geringere Datenmenge die Ausreisser (Outlier) mehr Einfluss auf das Ergebnis haben und somit die Varianz des Datensatzes erhöhen. Von Juli bis September können höhere Punktmengen bei den höheren Ozonwerten beobachtet werden, wobei die Streuergebnisse unter den Parametern variieren und weshalb die Änderungen der Korrelationsfaktoren in den Zeitabschnitten variieren. Auf Grund der homogenen Korrelationskoeffizienten unter den Parametern lässt sich ein teils linearer Zusammenhang zwischen den Parametern und der O<sub>3</sub>-Konzentration vermuten. Aus den Werten der Korrelationsfaktoren lässt sich über das Bestimmtheitsmaß (Quadrat des Korrelationsfaktor) zumindest sagen, dass im Durchschnitt rund 42% der auftretenden Varianz auf einen statistischen Zusammenhang zwischen den Parametern und der O<sub>3</sub>-Konzentration erklärt werden können. Die anderen Parameter in der Abbildung 4.43 zeigen sehr unterschiedliche Ergebnisse, die auch in den Korrelationswerten zu sehen sind. Während es bei der Windgeschwindigkeit zu einem Anstieg des Faktors auf 0,33 kommt, verringern sich die Werte der NO<sub>2</sub>-Konzentration deutlich und liegen im linear unkorrelierten Bereich. Bei den Windrichtungen sieht man die Vorherrschaft der nördöstlichen bis nordwestlichen Windrichtungen.



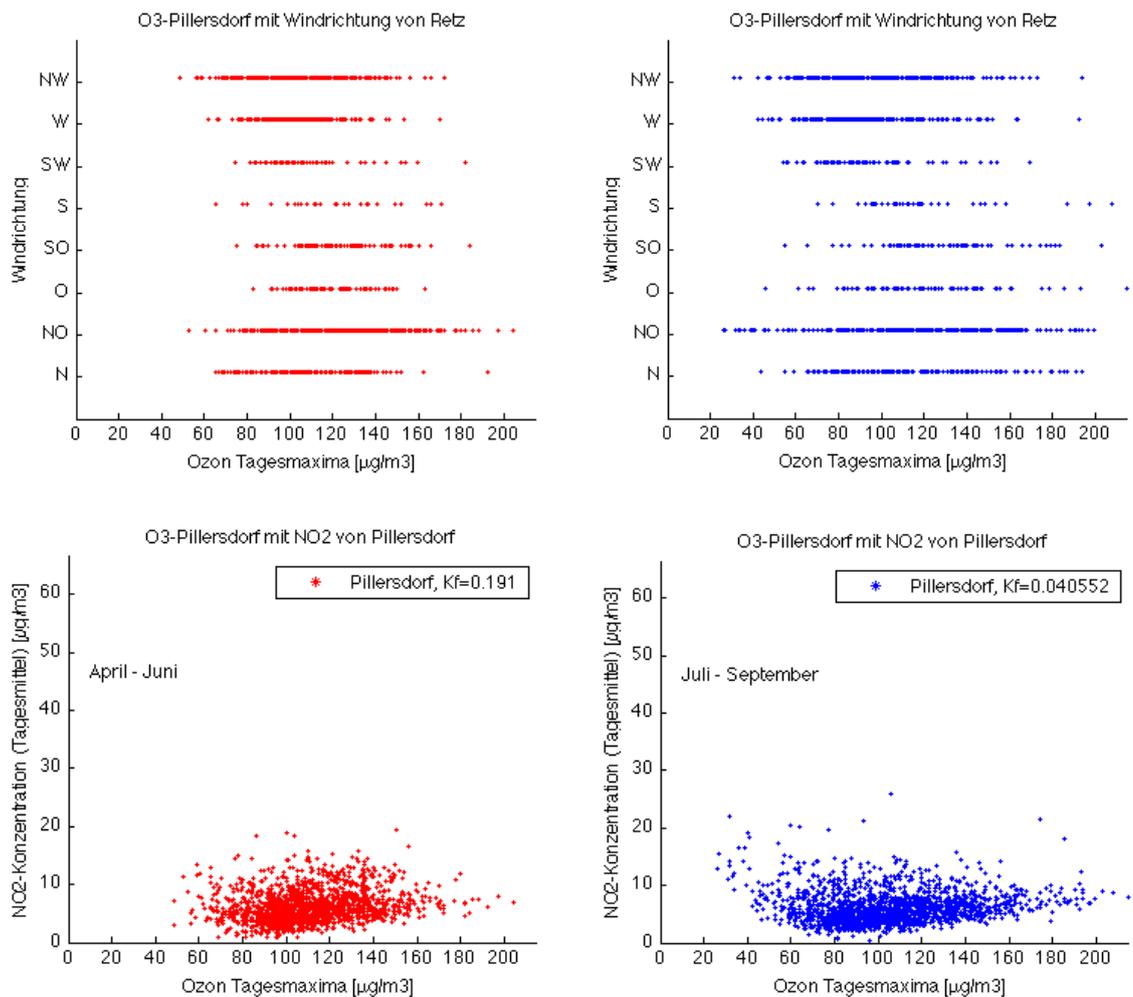


Abb. 4.43: Korrelationen der Windgeschwindigkeit, Windrichtung und NO<sub>2</sub>-Konzentration der Station Pillersdorf und der meteorologischen Station Retz über den Zeitraum 1994 – 2010 in den Perioden April - Juni und Juli – September

Bei den jahreszeitlichen Analysen lassen sich geringere Streuungen in den Monaten Juli bis September feststellen. Aus den Korrelationsergebnissen der Windstärke und NO<sub>2</sub>-Konzentrationen lassen sich keine Hinweise auf die Verbindung mit den Ozonkonzentrationen erkennen. In der Tabelle 4.17 ist der Durchschnitt der Korrelationsfaktoren aller analysierten Stationen für jeden Parameter in den unterschiedlichen Zeitperioden zu sehen. In den ersten beiden Zeilen sind die gemittelten Ergebnisse des kompletten Datensatzes der jeweiligen Stationen angegeben. Die untere Auswertung gibt die gemittelten Korrelationsfaktoren der einzelnen Parameter in den Perioden April bis Juni und Juli bis August an. Daraus ist zu erkennen, dass bei der Sonnenscheindauer im Durchschnitt kaum Veränderungen in den unterschiedlichen Zeitperioden auftreten. Die einzelnen Stationsergebnisse der Sonnenscheindauer ergeben eine Streuung der Korrelationsfaktoren von 0,4 bei den Talstationen (Reichenau und Puchberg) bis hin zu 0,7 bei der kurzen Zeitreihe der Station Hohenau.

Der Großteil der Stationen bewegt sich um das Korrelationsmittel aller Stationen, wobei die Differenzen bei maximal 0,05 liegen und in den jahreszeitlichen Zeitabschnitten der einzelnen Stationen durchmischt sind.

Tab. 4.17: Durchschnitt der Korrelationsfaktoren aller Stationen über den kompletten Datensatz und in den Zeitperioden April – Juni (AMJ) und Juli bis August (JJA)

PARAMETER	SD	GS	T	VV	NO <sub>2</sub>						
Korr-Faktor	0,62	0,79	0,68	-0,05	-0,41						
PARAMETER	SD	SD	GS	GS	T	T	VV	VV	NO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	
Periode	AMJ	JAS	AMJ	JAS	AMJ	JAS	AMJ	JAS	AMJ	JAS	
Korr-Faktor	0,6	0,59	0,62	0,67	0,49	0,72	-0,29	-0,27	0,07	0,04	

Bei der Globalstrahlung ist ein wesentlich geringerer Korrelationsfaktor bei den jahreszeitlichen Analysen von durchschnittlich 15% zu erkennen. Wie auch bei der Sonnenscheindauer verzerren die Talstationen die Ergebnisse der Globalstrahlung, die sie um 4% vermindern. Die Differenzen der beiden Zeitabschnitte betragen 5% zu Gunsten der zweiten Periode, die bei allen Stationen im unterschiedlichen Maße zu beobachten ist.

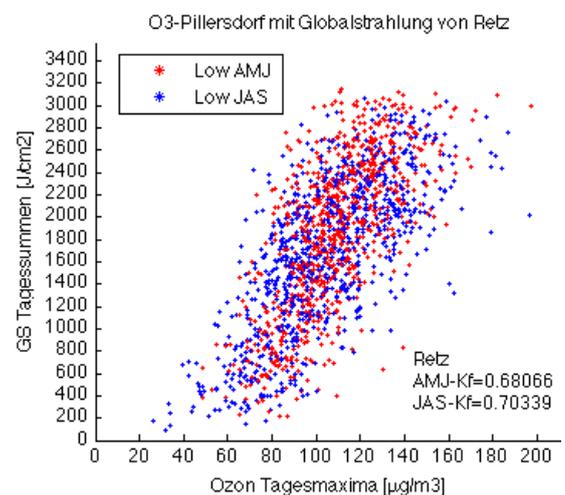
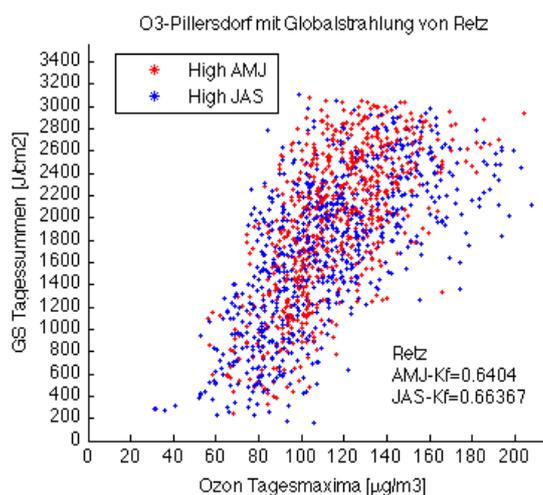
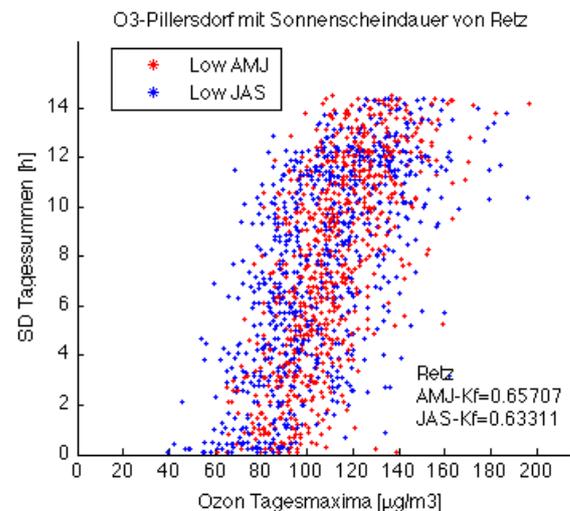
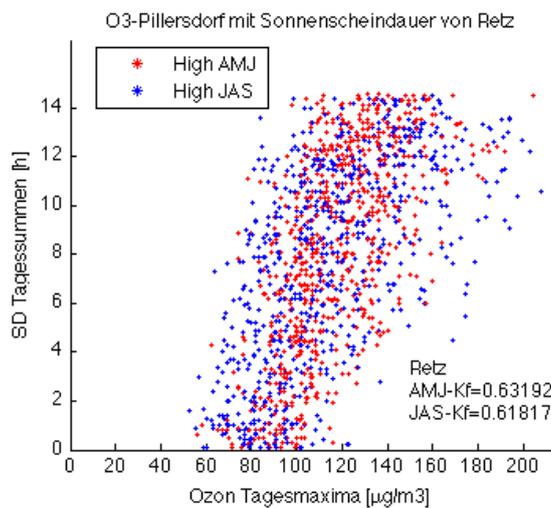
Die Temperatur weist die höchsten jahreszeitlichen Differenzen mit durchschnittlich 23% auf. Dieses Ergebnis ist bei allen Stationen zwischen den Zeitabschnitten in unterschiedlicher Ausprägung zu sehen. So bleiben die Korrelationsfaktoren in den Monaten April – Juni stets unter 0,6, während sie im zweiten Abschnitt bis auf 0,83 steigen. Zu erkennen ist dies in den Diagrammen durch die Korrelationen von höheren Tagesmitteltemperaturen mit höheren O<sub>3</sub>-Konzentrationen und den geringeren Streuungen.

Die Ergebnisse der Windgeschwindigkeit verbessern sich bei den jahreszeitlichen Analysen geringfügig und erreichen bei manchen Stationen Werte von -0,4. Zwischen den Zeitabschnitten gibt es nur geringe Unterschiede, die in den meisten Fällen für die Monate des ersten Zeitbereichs bessere Ergebnisse liefern. Die Korrelationsfaktoren lassen nur auf einen geringen linearen Zusammenhang zwischen den Windgeschwindigkeiten und den O<sub>3</sub>-Konzentrationen schließen.

Viel schlechter fallen die Ergebnisse der jahreszeitlichen Analysen der NO<sub>2</sub>-Konzentrationen aus. Hier zeigt sich ein linear unkorreliertes Bild zwischen den Konzentrationen der Spurengase. Nur bei der Station Hohe Warte in Wien sieht man deutlich höhere Werte im Bereich von 0,38 (AMJ) und 0,33 (JAS). Das ist

im Streudiagramm durch die höheren  $\text{NO}_2$ -Konzentrationen bei den hohen  $\text{O}_3$ -Konzentrationen zu erkennen.

In der letzten Untersuchung dieser Serie werden Unterschiede zwischen den Jahren mit vielen und geringen Ozonüberschreitungen gesucht. Aus diesem Grund wurde die Jahresaufteilung bei den Analysen, wie in der Tabelle 4.2 zu sehen, durchgeführt. Als Beispiel sind die Ergebnisse dieser Analysen der Station Pillersdorf mit der meteorologischen Station Retz in den Abbildungen 4.44 und 4.45 zu sehen. Im Falle der Sonnenscheindauer und Globalstrahlung liegen die Korrelationswerte im Bereich der normalen jahreszeitlichen Analysen. Ein wesentliches Merkmal bei beiden Parametern sind die etwas höheren Korrelationskoeffizienten in den ozonarmen (Low) Jahren. Dies lässt sich dadurch erklären, dass die größere Anzahl von Ausreißern in den ozonreichen Jahren die Streuung der Daten vergrößert. Dies ist teilweise an den Streudiagrammen zu erkennen, die bei den ozonreichen Jahren eine größere Punktwolke bei hohen  $\text{O}_3$ -Werten aufweisen.



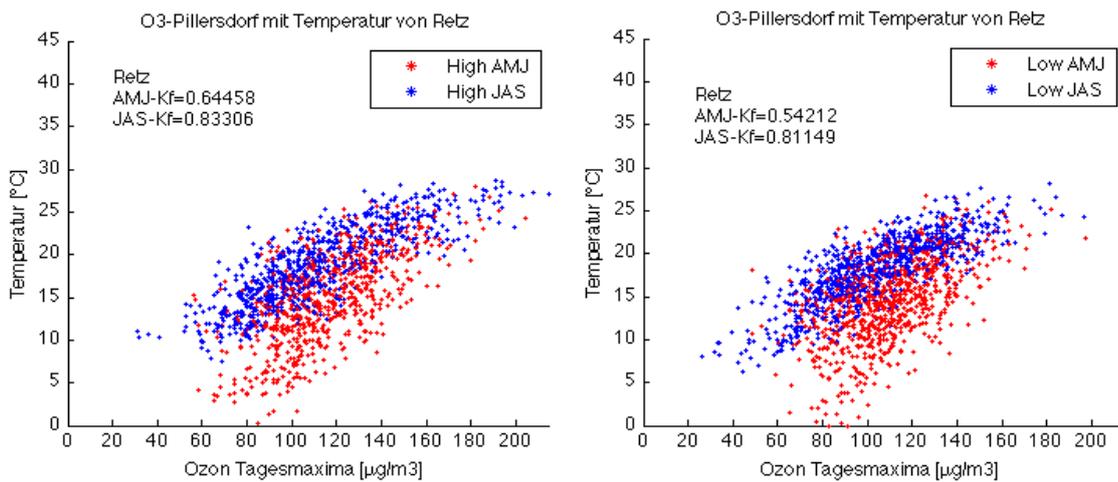
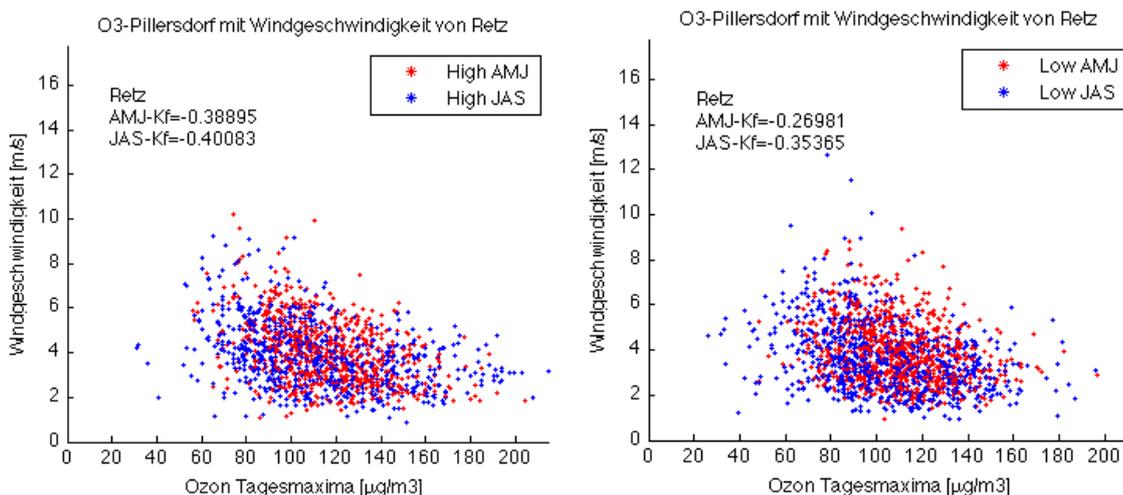


Abb. 4.44: Korrelationen der Sonnenscheindauer, Globalstrahlung und Temperatur der Station Pillersdorf und der meteorologischen Station Retz über den Zeitraum 1994 – 2010 in den Perioden April - Juni und Juli – September bei ozonreichen und –armen Jahren.

Unterschiede in den Zeitabschnitten zeigen sich minimal in einem 2% Bereich. Sie liefern bei der Sonnenscheindauer im ersten und bei der Globalstrahlung im zweiten Zeitbereich höhere Werte.

Die Temperatur zeigt auch in diesem Fall die jahreszeitlich größten Differenzen, die im Streudiagramm und bei den Korrelationswerten sichtbar sind. Die linearen Zusammenhänge der drei Parameter mit der O<sub>3</sub>-Konzentration sind gut zu erkennen.

Wie in Abbildung 4.45 zu sehen, liefern die Windgeschwindigkeit und NO<sub>2</sub>-Konzentrationen ganz andere Ergebnisse. Es gibt kaum Differenzen zu den Korrelationswerten der Auswertung ohne Jahresaufteilung. Nur die Koeffizienten der Windgeschwindigkeiten weisen in den ozonreichen Jahren um 5 – 10% höhere Werte auf, während die der NO<sub>2</sub>-Konzentrationen keine nennenswerten Ergebnisse liefern.



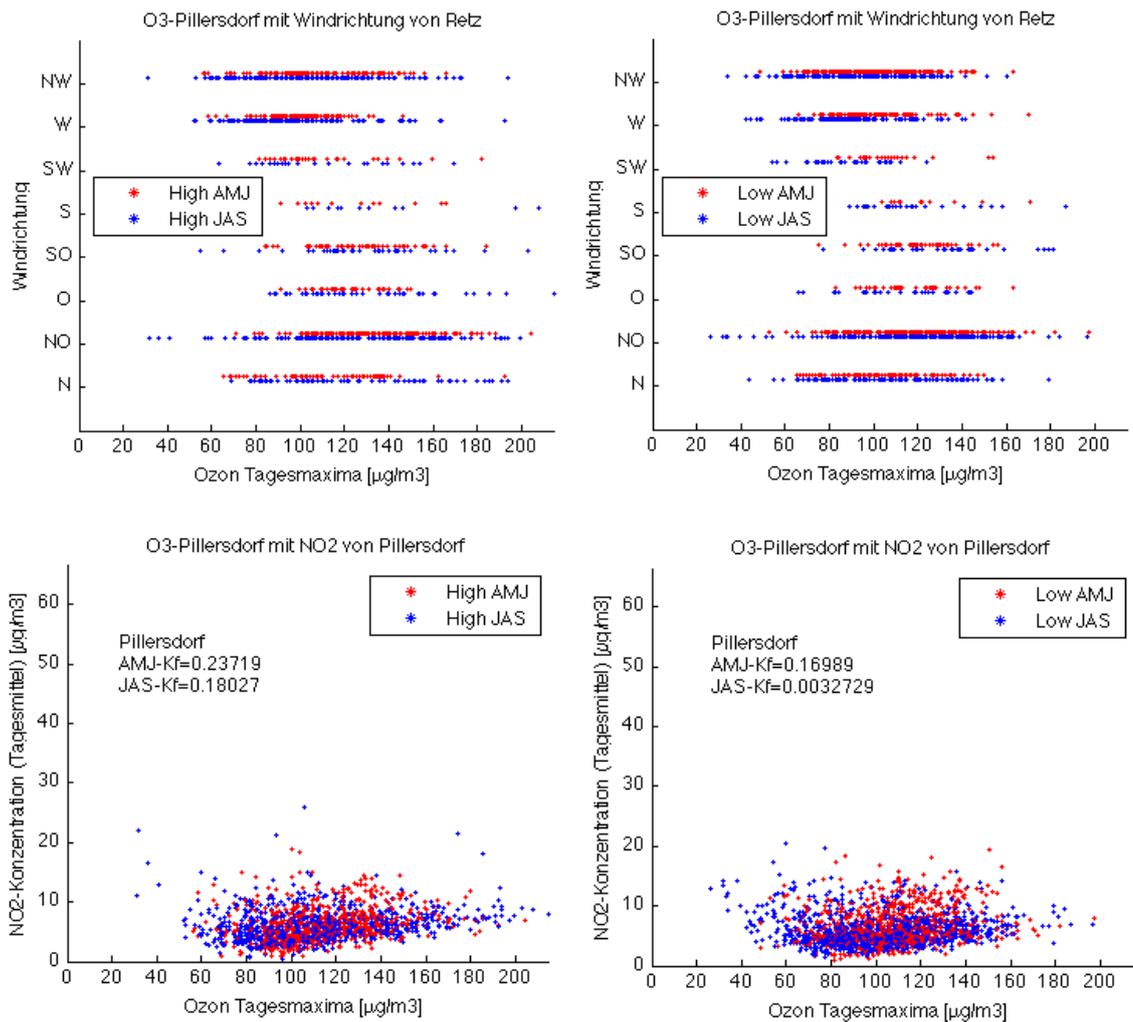


Abb. 4.45: Korrelationen der Windgeschwindigkeit, Windrichtung und NO<sub>2</sub>-Konzentration der Station Pillersdorf und der meteorologischen Station Retz über den Zeitraum 1994 – 2010 in den Perioden April - Juni und Juli – September bei ozonreichen und –armen Jahren.

Im Falle der Windgeschwindigkeiten kann ein geringer linearer Zusammenhang zu den O<sub>3</sub>-Konzentrationen vermutet werden. Bei den NO<sub>2</sub>-Konzentrationen ergeben die Ergebnisse keine linearen Zusammenhänge. Die Tabelle 4.18 gibt einen Überblick über die gemittelten Korrelationswerte für jeden Parameter in den Perioden April bis Juni und Juli bis September in ozonreichen und –armen Jahren.

Tab. 4.18: Gemittelte Korrelationskoeffizienten der Parameter über alle Stationen den Perioden April - Juni und Juli – September bei ozonreichen (H) und –armen (L) Jahren

PARAMETER	AMJ-H	AMJ-L	JAS-H	JAS-L
SD	0,57	0,64	0,58	0,63
GS	0,56	0,65	0,62	0,71
T	0,52	0,45	0,72	0,73
VV	-0,32	-0,28	-0,33	-0,28
NO <sub>2</sub>	0,08	0,07	0,08	-0,02

In den ozonarmen Jahren treten bei den Werten der Sonnenscheindauer SD und Globalstrahlung GS höhere Durchschnittswerte auf. Dieses Ergebnis stellt einen gegenläufigen Zusammenhang zwischen den Parametern dar und kann durch die höhere Streuung bei den hohen Ozonwerten in den ozonreichen Jahren erklärt werden. Die Korrelationsfaktoren der Temperaturdaten zeigen deutliche Unterschiede zwischen den Zeitabschnitten, während es bei der Windstärke auch im Mittel zu einer geringen negativen linearen Korrelation kommt. Die Ergebnisse der NO<sub>2</sub>-Konzentrationen zeigen keinen Zusammenhang zu den Ozondaten bei den Mittel der zuletzt durchgeführten Analysen.

### **Zusammenfassung:**

Die Analysen über den gesamten Datenbestand liefern nur informelle Ergebnisse über die allgemeinen Zusammenhänge von O<sub>3</sub>-Konzentrationen mit den anderen Parametern, die zu sehr von den Wintermonaten beeinträchtigt sind. Um speziell die Zusammenhänge höherer Ozonkonzentrationen mit den ausgewählten Parametern zu untersuchen ist es ratsam, auch bei den Korrelationsanalysen die Untersuchungsperiode auf die Monate April bis September zu legen. Die jahreszeitlichen Ergebnisse liefern, auch bei getrennter Betrachtung der ozonreichen und –armen Jahre, für die Sonnenscheindauer kaum Änderungen der Korrelationswerte zwischen den Zeitabschnitten und liefern mit einem Ergebniss in Bereich von 0,6 doch einen Hinweis auf einen guten linearen Zusammenhang zu den O<sub>3</sub>-Konzentrationen. Die Faktoren der Globalstrahlung verminderten sich geringfügig bei den jahreszeitlichen Betrachtungen, zeigten aber mit Werten bis zu 0,7 einen guten Hinweis auf den linearen Zusammenhang der Globalstrahlung mit den O<sub>3</sub>-Konzentrationen. Das beste Korrelationsergebnis lieferte die Temperatur, die mit Werten bis über 0,8 einen deutlichen Zusammenhang von Temperatur und Ozonkonzentrationen erkennen lässt.

Im Falle der Windrichtung ergeben die Analysen der einzelnen Zeitbereiche mit Korrelationswerten bis über 0,4 nur einen geringen linearen Zusammenhang zu den Konzentrationen des Ozons. Die Analysen der NO<sub>2</sub>-Konzentrationen zeigen bei den Ergebnissen der Zeitabschnitte deutlich, dass zwischen den Konzentrationen von Ozon und denen des NO<sub>2</sub> kein linearer Zusammenhang in diesem Zeitraum besteht.

## **4.7 Die Jahrzehnte und längerfristige Variabilität der Parameter:**

Mit den Korrelationsanalysen wurde begonnen das gesamte Datenmaterial über den kompletten Beobachtungszeitraum zu untersuchen, um langfristige Zusammenhänge zwischen den Parametern und der Ozonkonzentration ausfindig zu machen. In diesem Kapitel wird die langfristige Variabilität der Ozonkonzentrationen und der anderen Parameter über ihren maximalen Beobachtungszeitraum (1990 – 2010) analysiert, um einen Überblick zu bekommen, welcher Parameter sich wie und in welchem Zeitraum verändert hat.

Auf Grund des charakteristischen Jahresgangs von Ozon wird von Stundenmittel auf Tages-, Monats- und Jahresmittelwerte gewechselt, um Veränderungen über diesen Zeitraum untersuchen zu können. Bei der Berechnung der unterschiedlichen Mittelwerte wurde ein Schwellwert (Threshold) von 70% an notwendiger Datenmenge von Stundenwerten festgelegt. Werte, die auf Grund dieser Annahme nicht ermittelt werden konnten, wurden aus den weiteren Berechnungen und Darstellungen herausgenommen und in eigenen Statistikfiles für jede Station gespeichert. Die Analysen wurden wieder in unterschiedlichen Zeitfenstern durchgeführt, wobei sich der Zeitraum innerhalb des Jahres wieder auf die Monate April bis September beschränkt. Neben der Betrachtung über den ganzen 21-jährigen Zeitraum wurde eine Unterteilung in die einzelnen Dekaden durchgeführt. So wurden spezielle Berechnungen für die 90er Jahre (1990 - 1999) und die 2000er Jahre (2000 – 2010) durchgeführt, um auch dekadische Änderung untersuchen zu können.

### **4.7.1 Dekadische Änderungen der Ozonkonzentration**

Die Variabilität der Ozonkonzentrationen über den gesamten Beobachtungszeitraum zeigte, dass es bei den Berechnungen der Daten notwendig war, eine weitere Unterteilung der Periode vorzunehmen. Der Grund dafür lag in dem Jahr 2003, welches sowohl bei allen Berechnungen als auch bei der Anzahl der hohen Ozonkonzentrationen als Extremjahr eingestuft wird. Deshalb wurde bei der Betrachtung der Ozonkonzentrationen über alle 21

Jahre die Periode in zwei Teile geteilt und das Jahr 2003 ausgelassen. Dies war hauptsächlich nötig, um Tendenzen in der ganzen Periode ausfindig machen zu können.

Als Beispiel ist in der Abbildung 4.46 die Station Gänserndorf zu sehen. In der oberen Grafik sind die Verläufe der Tages- (grün), Monats- (blau) und Jahresmittel (rot) der Ozonkonzentrationen, mit den waagrecht strichlierten Periodenmittel der Station, dargestellt. Als weitere Linie wurde eine lineare Regressionsgerade (strichlierte Linie) für zwei Zeitbereiche aus den Daten berechnet. Die erste Periode erstreckt sich von 1990 bis 2002, die zweite von 2004 bis 2010. Wird diese Unterteilung auf Grund des Extremjahres 2003 nicht gemacht, können keine Tendenzen der Regressionsgeraden beobachtet werden. Es sei an dieser Stelle gleich erwähnt, dass es bei diesen Ergebnissen um Tendenzen innerhalb unseres beobachteten Zeitraumes geht und nicht um klimatologische Trends, dafür ist der betrachtete Zeitraum zu kurz. Die untere Grafik zeigt die periodischen und dekadischen Monatsmittel sowie das Periodenmittel der O<sub>3</sub>-Konzentrationen.

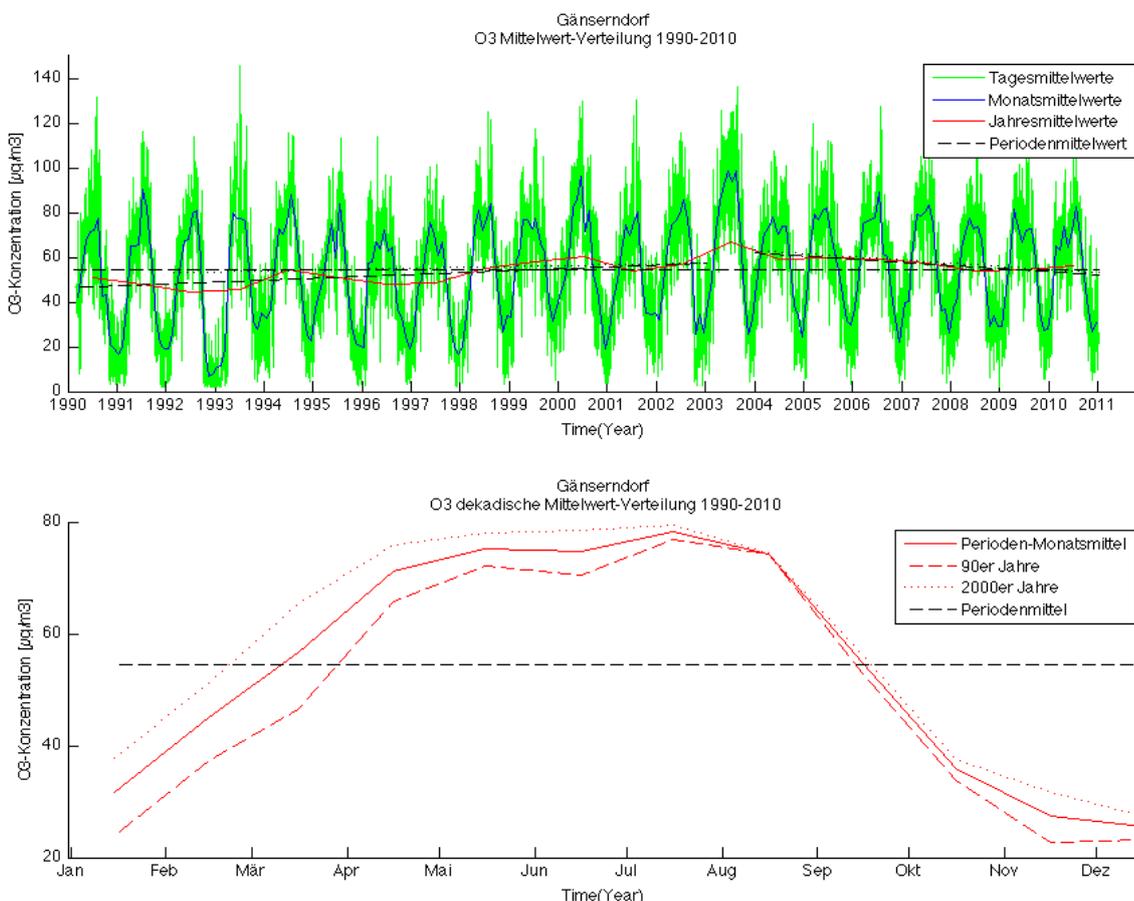


Abb. 4.46: Ozon-Monatsmittelverteilung der Station Gänserndorf in der Periode 1990-2010

Auffällig bei den Zeitreihen der Monatsmittelwerte in der oberen Grafik sind die sich jährlich ändernden Verläufe, die oft durch zwei oder drei Brüche in den Jahregängen aufzutreten scheinen. Dieses Bild zeigt sich am deutlichsten bei den Monatsmittel, wodurch auch die Jahresmittel gewissen Schwankungen unterworfen sind. Die Regressionsgeraden zeigen eine leichte Steigung der Jahresmittel von 1990 bis 2002 und einem Abfall der Werte ab dem Jahr 2004. Dieses Muster zeigt sich bei fünf der sieben Stationen sowohl in den Tagesmittelwerten als auch bei den gemittelten Tagesmaxima in unterschiedlichen Neigungsstärken, die in der Abbildung 4.47 zu sehen sind. Lediglich die beiden Stationen im nordwestlichen Teil des untersuchten Gebietes, Pillersdorf und Bergern im Dunkelsteinerwald, zeigen auch in der ersten Periode einen leichten Abfall der Regressionsgerade.

Bei den dekadischen Veränderungen der Monatsmittel in der unteren Grafik der Abbildung 4.46 können die Unterschiede bei den Monatsmittel der jeweiligen Jahrzehnte in der ersten Jahreshälfte der Station Gänserndorf erkannt werden. Die Monate Juli bis Oktober zeigen hingegen kaum Differenzen zwischen den Jahrzehnten. Die Jahregänge der Monatsmittel weisen außer bei den beiden oben genannten Stationen unterschiedliche Differenzen auf. Bei den Stationen Pillersdorf und Bergern treten die geringsten Differenzen auf und der Monat Mai zeigt keine Differenzen. Dafür sind die Mittelwerte vom August in der zweiten Dekade abnehmend und den Rest des Jahres gleich bleibend.

Aus den Verläufen der Monatsmittel der Zeitabschnitte April bis September zeigt sich ein sehr unterschiedliches Bild bei den Differenzen. In der ersten Periode (April - Juni) sind deutliche Veränderungen im Gegensatz zur zweiten Periode (Juli - September) zu sehen. Dieses Ergebnis war auch Anstoß zu den Untersuchungen in zwei Zeitbereichen innerhalb unseres Zeitraums von April bis September.

Einen ähnlichen Verlauf dazu zeigen die Zeitreihen und dekadischen Mittel der Tagesmaxima der O<sub>3</sub>-Konzentrationen. Zusätzlich zu den Zeitreihen und den Regressionsgeraden in der oberen Grafik der Abbildung 4.47 wurden als Referenzlevels die drei Ozonlevels eingetragen, die vom Immissionsgesetz für Luft angegeben werden und bereits im Kapitel 2.1.2 besprochen wurden. Sie entsprechen dem Zielwert (120 µg/m<sup>3</sup>), der Informationsschwelle (180 µg/m<sup>3</sup>) und der Alarmschwelle (240 µg/m<sup>3</sup>).

Die Regressionsgeraden der Tagesmaxima verhalten sich in ihren Tendenzen bei allen Stationen wie die der Tagesmittelwerte. Die Differenzen der Monatsmittel der Tagesmaxima weisen im Gegensatz dazu, speziell in den Monaten des zweiten Zeitabschnittes, zwischen den einzelnen Dekaden doch Änderungen zu denen der Tagesmittelwerte auf. Bleiben die Monatsmittel der 90er Jahre bei den Auswertungen stets unter oder gleich denen der 2000er Jahre, so zeigt sich bei den Monatsmittel der Tagesmaxima im Juli und August ein umgekehrtes Bild, wie auch in der unteren Grafik der Abbildung 4.47 an der Station Gänserndorf zu erkennen ist.

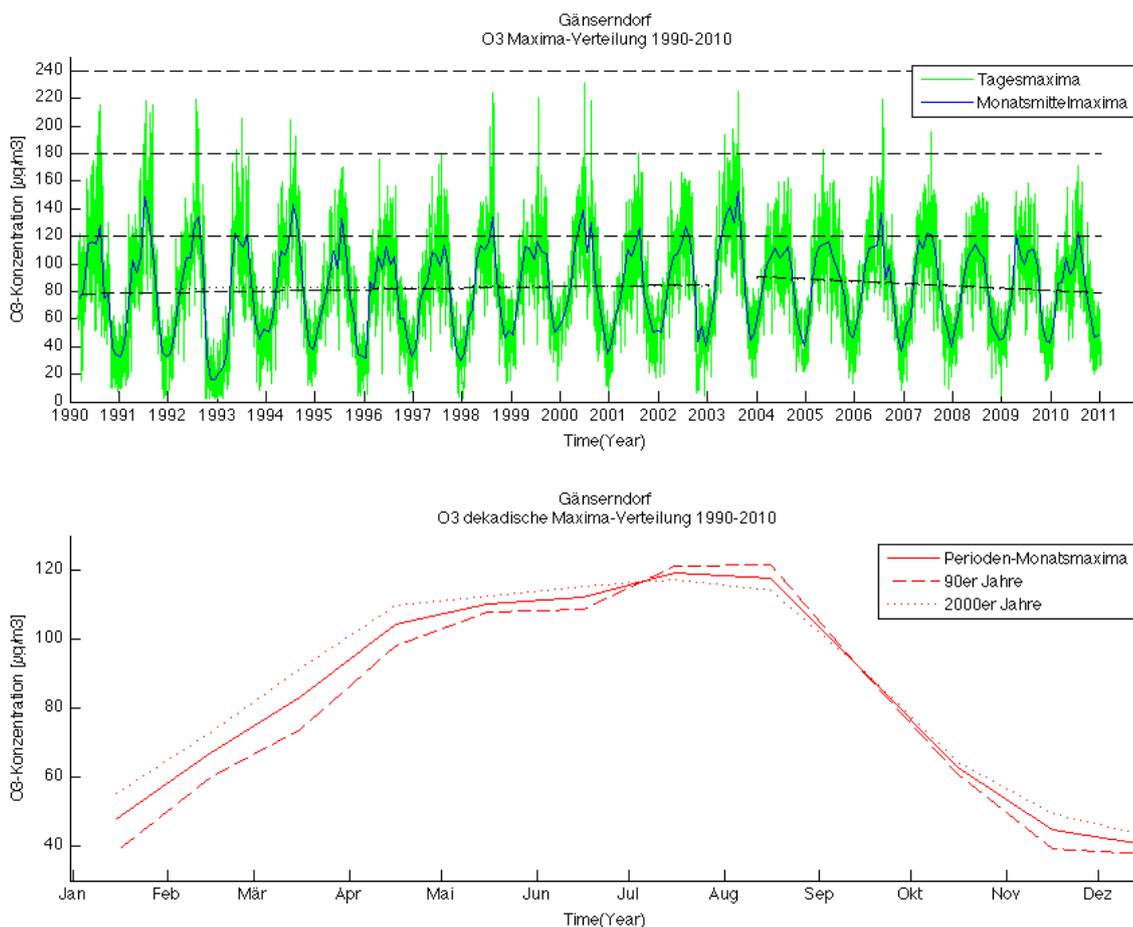


Abb. 4.47: Gemittelte Ozon-Maximaverteilung der Station Gänserndorf in der Periode 1990-2010

In der Abbildung 4.48 wurden die gesammelten Ergebnisse der dekadischen und periodischen Mittelwerte aller Stationen dargestellt. So konnte im August bei allen Stationen und im Juli bei fünf von sieben Stationen diese Änderung der dekadischen Maxima zu den dekadischen Monatsmittel beobachtet werden. In der Abbildung 4.48 sind neben den Verläufen der einzelnen Stationen auch ein Stationsmittel berechnet worden, das in den schwarzen Linien zu sehen ist. Dabei stellen die vollen Linien die Mittel über die gesamte Periode dar, die

strichlierten die Mittel über die 90er Jahre und die punktierten Linien entsprechen den 2000er – Mittelwerten.

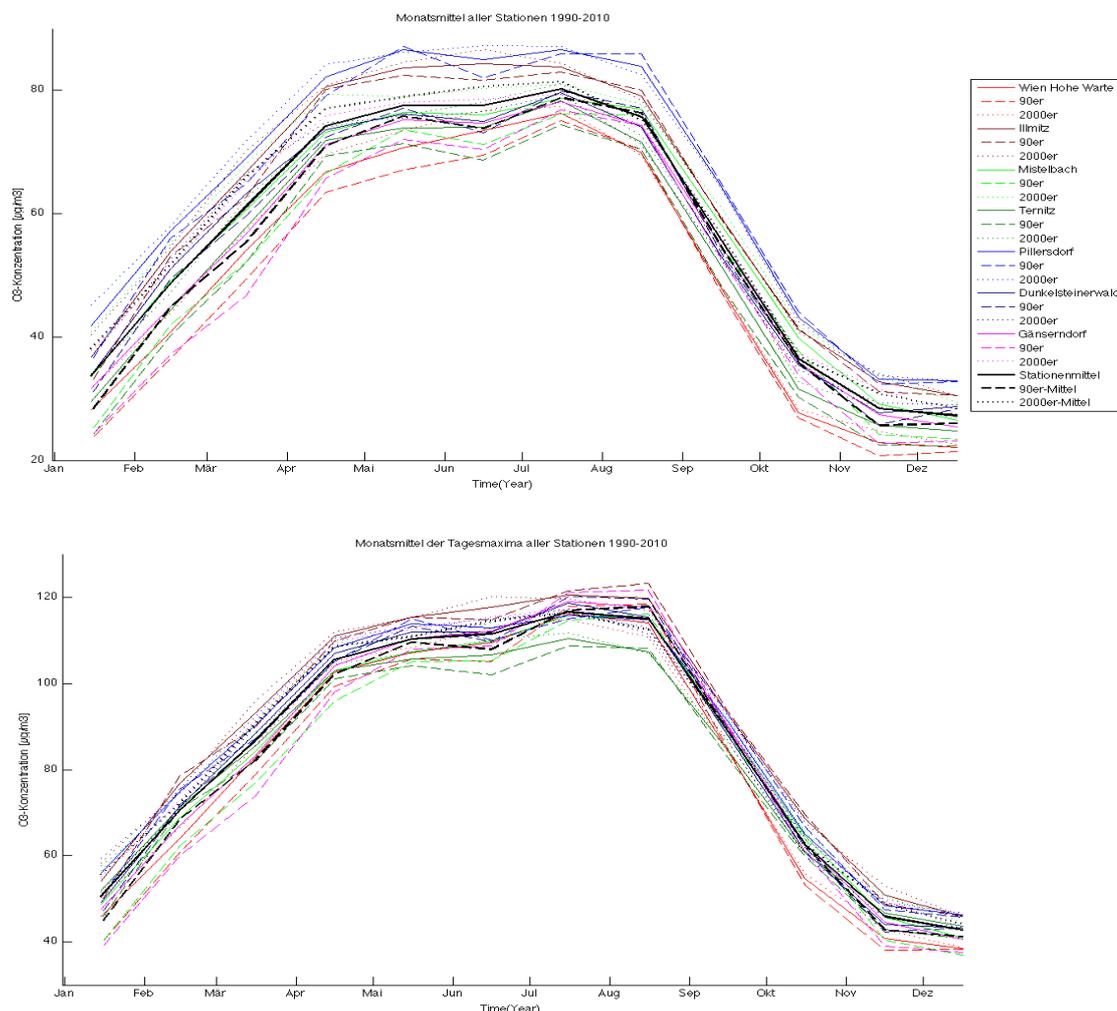


Abb. 4.48: Dekadische und Periodische Monatsmittel der Stundenmittel und Tagesmaxima aller Stationen in der Periode 1990-2010

Die unterschiedlichen monatlichen Veränderungen der O<sub>3</sub>-Konzentration zwischen den Dekaden sind in der Tabelle 4.18 in der Höhe der Ozonkonzentrationsdifferenz in der Einheit µg/m<sup>3</sup> für jeden Monat angegeben.

Tab. 4.18: Dekadische Differenzen der Monatsmittel und Monatsmittel der Tagesmaxima der Ozonkonzentration in µg/m<sup>3</sup>

	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Mittelwerte	10,24	6,86	10,63	6,01	3,12	6,81	2,63	-1,10	2,12	1,08	5,13	2,42
Maxima	11,40	3,77	8,61	6,51	1,39	6,62	-0,62	-5,32	0,04	0,28	5,94	2,87

Es zeigt sich daraus, dass die stärksten Änderungen in den Monaten Jänner und März vorkommen, jedoch sich auch der April und Juni deutlich von den anderen Monaten unseres Beobachtungszeitraumes unterscheiden. Der deutlichste Rückgang in den Zeitreihen der Ozonmaxima zeigt sich im August.

Kaum Veränderung zeigen die Monate September und Oktober, sowie der Mai und der Juli mit geringen Veränderungen.

Auf Grund der unterschiedlichen monatlichen Entwicklungen bei den dekadischen Monatsmittel bzw. Maxima wurde eine Analyse der einzelnen Monate notwendig, um Aussagen über die Art und Höhe der Änderungen in den Ozonkonzentrationen treffen zu können. In der Abbildung 4.49 ist der Verlauf der Monatsmittel (rote Verläufe) und der Monatsmittel der Tagesmaxima (blaue Verläufe) aller Stationen über die gesamte Periode für die Monate April und August dargestellt.

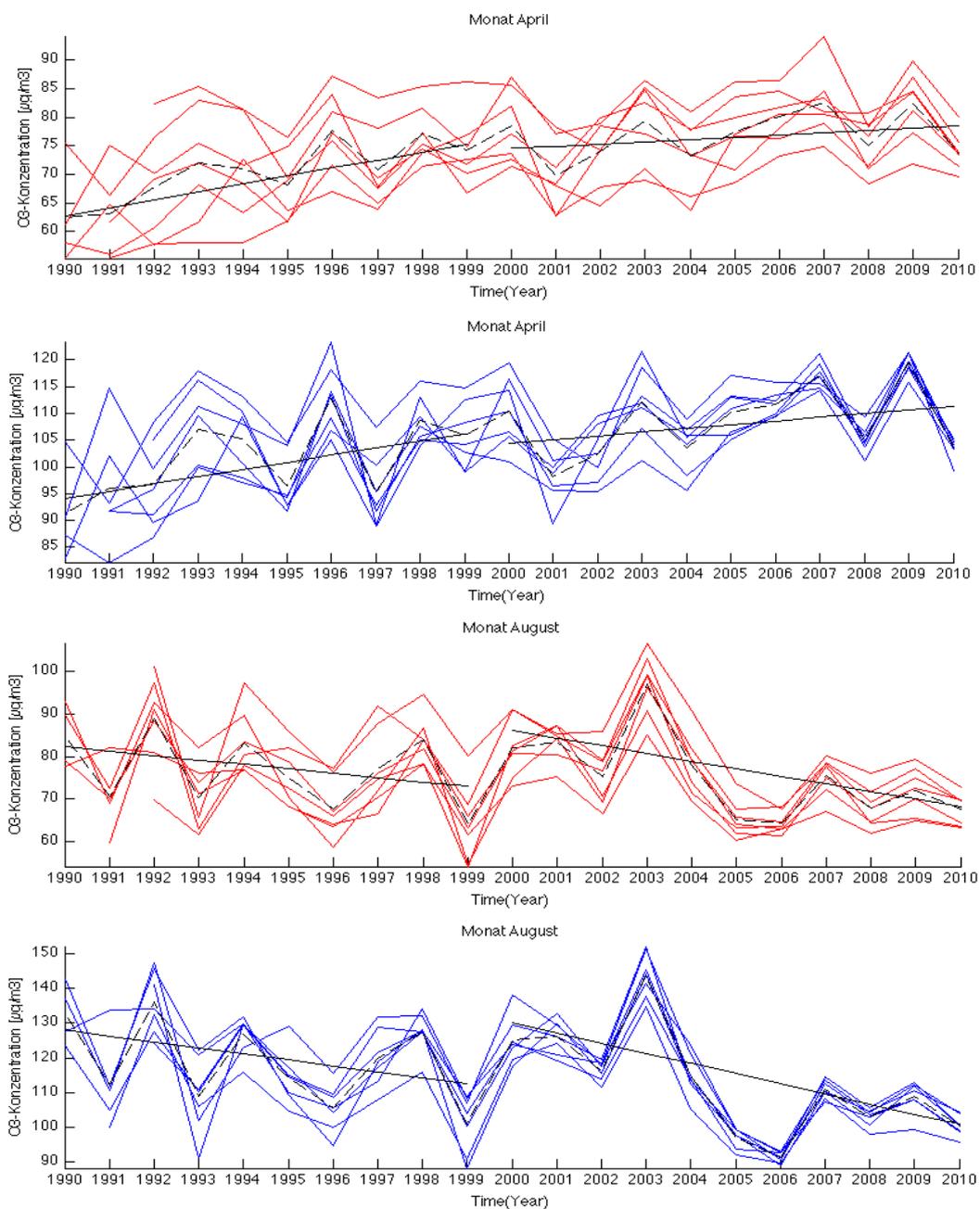


Abb. 4.49: Verlauf der Monatsmittel der Stundenmittel (rot) und Tagesmaxima (blau) für die Monate April und August

Für die einzelnen Jahrzehnte wurde eine lineare Regression (schwarze Linie) durchgeführt, um die unterschiedlichen Tendenzen innerhalb der Dekaden hervorzuheben. Die Monate zeigen unterschiedliche Verläufe mit starken Variationen innerhalb der gesamten Periode.

Der Monat April zeigt sowohl bei den Mittelwerten als auch bei den Maxima eine ansteigende Tendenz über die beiden Jahrzehnte hinweg, wie sie schon bei den Differenzen der Dekaden aufgetreten ist. Im August zeigt sich ein umgekehrtes Bild mit absteigenden Tendenzen, die in der zweiten Dekade stärker ausfallen. Die Monate der Periode von April bis September ergeben ein sehr unterschiedliches Bild, sowohl in den Verläufen als auch in den Tendenzen.

Die Ergebnisse zeigen, dass Monate wie der Mai und der Juli, die nur eine geringe dekadische Differenz aufweisen, innerhalb der Dekaden positive und negative Tendenzen aufweisen, die sich bei den Berechnungen der Periodenmittel aufheben. Dies erfordert bei den Betrachtungen mit den anderen Parametern eine zeitlich kleinskaligere monatliche Analyse. Im Extremjahr 2003 in der Abbildung 4.49 ist bei den Monatsmitteln im April nur ein geringer Anstieg der Werte zu beobachten, während im August ein sehr deutliches Maximum zu sehen ist. Dies zeigt, wie differenziert die Zeiträume und die daraus berechneten Werte für aussagekräftige Ergebnisse gewählt werden müssen. Dem Umstand der unterschiedlichen Variabilitäten der Ozonkonzentration in den verschiedenen Zeiträumen muss bei den Betrachtungen der langfristigen Änderungen der meteorologischen Parameter Rechnung getragen werden.

### **Zusammenfassung:**

Bei der Betrachtung aller untersuchten Ozonstationen können einige generelle Charakteristika zusammengefasst werden:

- In den Jahresmittel der Stationen gibt es eine leicht steigende Tendenz bis zum Jahre 2003, danach ist die Tendenz fallend.
- Bei den Mittel der Jahresmaxima ist die Tendenz bis 2003 flacher, danach jedoch die Abnahme sehr deutlich sichtbar.
- Bei den gemittelten Monatsmaxima zeigt sich bei den meisten Stationen ein umgekehrter Verlauf im August, mit einer fallenden Tendenz von der ersten zur zweiten Dekade.

- Die dekadische Differenz der Ozonkonzentrationen bei den Verteilungen von Monatsmittel und Monatsmaxima aller Stationen ist im Frühjahr/Sommer wesentlich größer als in den Monaten September – November.
- Die Monatsmittel der Stundenmittel und Tagesmaxima der ersten Jahreshälfte liegen in den 90er Jahren unter denen der 2000er Jahre.
- Der Verlauf der Monatsmittel über die gesamte Periode in den Monaten April bis September ist sehr unterschiedlich.

#### 4.7.2 Dekadische Änderungen der Sonnenscheindauer

Die Veränderungen der Sonnenscheindauer über die gesamte Periode ist am Beispiel der Monats- und Jahressummen aller untersuchten meteorologischen Stationen in der Abbildung 4.50 zu sehen. Bei den Monatssummen in der oberen Grafik können keine allgemeinen Tendenzen über den gesamten Zeitraum festgestellt werden. Bis auf die Stationen Puchberg und Reichenau, die auch bei den Jahres- und Monatssummen die untere Grenze bilden, ist die Differenz zwischen den Stationen gering. Man sieht die geringen Datenmengen am Anfang der Periode mit nur fünf Stationen. Der Jahresgang der Monatsmittel zeigt oftmals einen Verlauf mit zwei Maxima in den Sommermonaten.

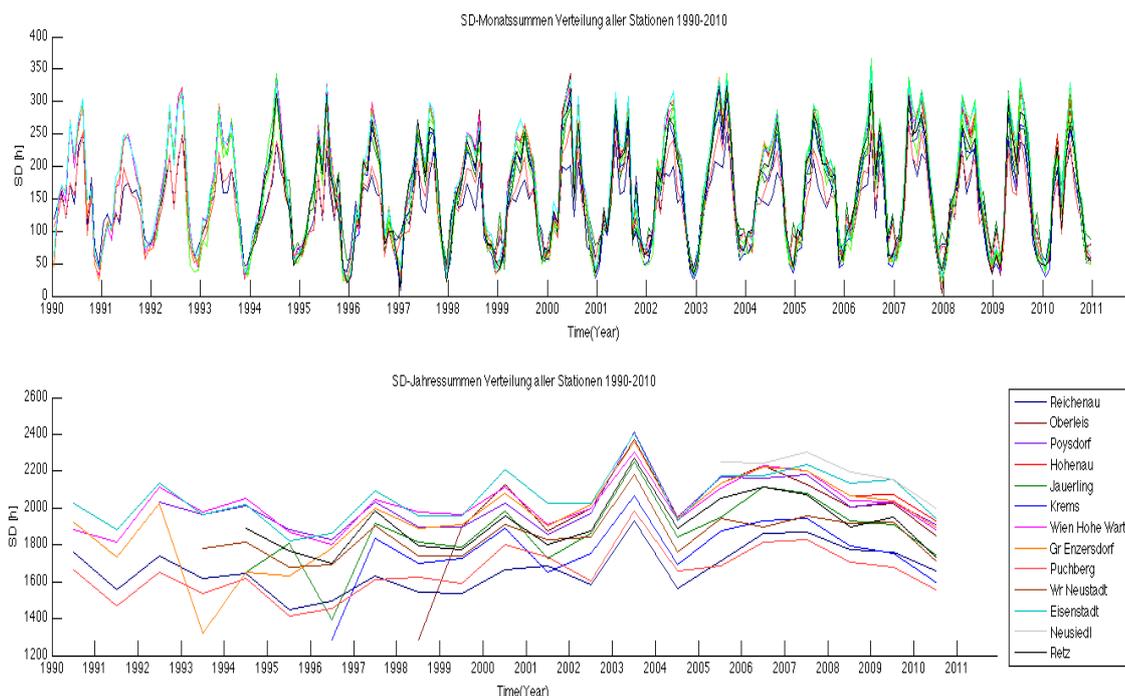


Abb. 4.50: Monats- und Jahressummen der Sonnenscheindauer aller Stationen (1990 – 2010)

Bei den Monats- und Jahressummen ist eine abnehmende Tendenz seit dem Jahre 2006 feststellbar. Die Mittel der Jahressummen an Sonnenscheindauer über die gesamte Periode liegen zwischen 1650 – 2050 h/Jahr, mit einem Stationenmittel über alle Stationen von 1840 h/Jahr. Das Jahr 2003 stellt sich auch bei den Werten der Sonnenscheindauer bei allen Stationen als Maximum der Periode heraus. Zum Vergleich ist der Verlauf der Jahresmittel der Tagesmaxima von den O<sub>3</sub>-Konzentrationen der Stationen in Abbildung 4.51, mit durchwegs ähnlichen Strukturen im Verlauf, abgebildet.

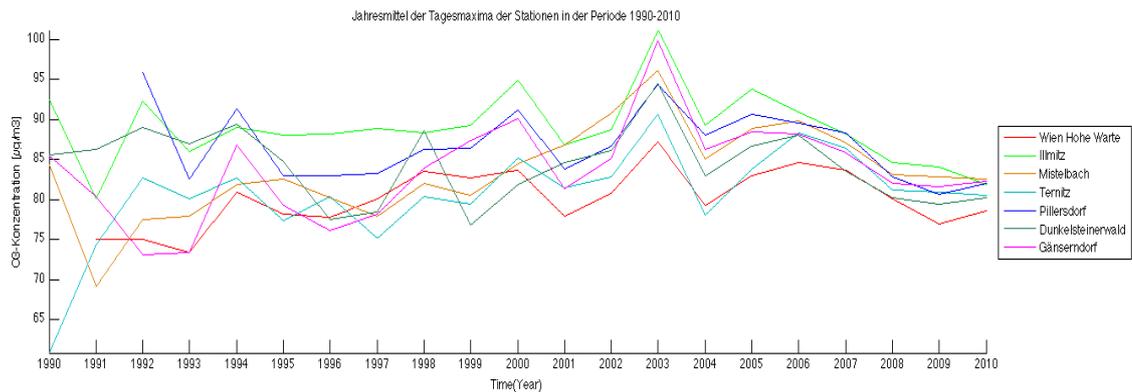


Abb. 4.51: Jahresmittel der Tagesmaxima der Ozonkonzentrationen von allen Stationen (1990 – 2010)

Neben dem Maximum des Jahres 2003 ist auch der Anstieg des Jahres 2000 sowie die fallende Tendenz in der zweiten Hälfte der zweiten Dekade erkennbar. Die Verläufe der zweiten Dekade sind innerhalb der Stationen homogener, was sich durch neuere Messsysteme und die höhere Datendichte als in den ersten Jahren der Periode erklären lässt.

Da die Variabilität der Ozonkonzentration von Station zu Station und innerhalb der Monate sehr unterschiedlich ist, müssen die Stationen einzeln untersucht werden, um mögliche Cluster von Stationen mit den gleichen Veränderungen auszumachen. Die Ozonkonzentrationen der Station Gänserndorf, die in den Abbildungen 4.46 und 4.47 bereits zu sehen waren, dienen als Fallbeispiel. In Abbildung 4.52 sind dazu die Jahressgänge der Monatsmittel der Sonnenscheindauer der dazugehörigen meteorologischen Station Groß Enzersdorf abgebildet. Wir haben bei den Ozonkonzentrationen speziell in den Monaten April bis Juli eine Veränderung zwischen den Jahrzehnten festgestellt. Auch der Verlauf der Monatsmittel von Tagessummen der Sonnenscheindauer zeigt vom April bis Juli eine Zunahme bei der zweiten Dekade. Die Differenzen haben innerhalb der Monate sehr unterschiedliche Werte. Im Durchschnitt erweisen sich die Monate April, Juni und Juli als jene mit der größten

Veränderung. Dies stimmt für die Monate April - Juni gut mit den dekadischen Veränderungen der Ozonkonzentrationen überein. Die Tagessummen der Sonnenscheindauer an den Stationen pro Tag über die gesamte Periode gesehen liegen in einem Bereich von 4,5 – 6 h/Tag, mit einem Mittel über alle Stationen von ~5 h/Tag.

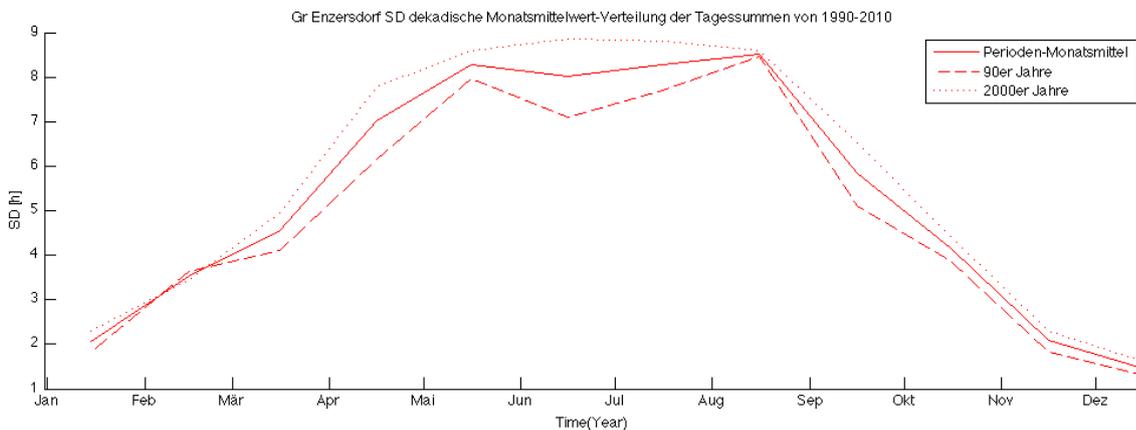


Abb. 4.52: Dekadische Monatsmittel und Periodenmittel von Tagessummen der Sonnenscheindauer der Station Groß Enzersdorf

Die Zunahme der Sonnenscheindauer im Juli und September zeigt bei den Ozonkonzentrationen nicht so starke Auswirkungen. Bei den gemittelten Tagesmaxima von Ozon kann eine Übereinstimmung der Entwicklungen in den Monaten April – Juni festgestellt werden. Die Monate Juli - September zeigen hingegen andere Tendenzen. Die Zunahme der Sonnenscheindauer von der ersten zur zweiten Dekade ist in den Monaten April bis Juli bei allen Stationen feststellbar. So zeigen im Durchschnitt die Stationen in den Monaten April und Juni die stärksten Zunahmen.

Bei der Betrachtung der einzelnen Monate in ihrer Variabilität über die gesamte Periode sehen wir in Abbildung 4.53 die unterschiedlichen Verläufe der Monate April bis September in der ganzen Periode 1990 - 2010. Zusätzlich wurde für die einzelnen Dekaden eine lineare Regression durchgeführt, die in den schwarzen Linien zu sehen ist. Die schwarz-strichlierte Linie zeigt das Stationenmittel, die blau-strichlierte Linie zeigt das Stationenmittel der Monatsmittel der Tagesmaxima der Ozonkonzentrationen. Während bei den Jahressummen das Jahr 2003 sehr deutlich als Maximum erscheint, werden bei den einzelnen Monaten sehr unterschiedliche Ausprägungen der Monatsmittel an Tagessummen der Sonnenscheindauer beobachtet.

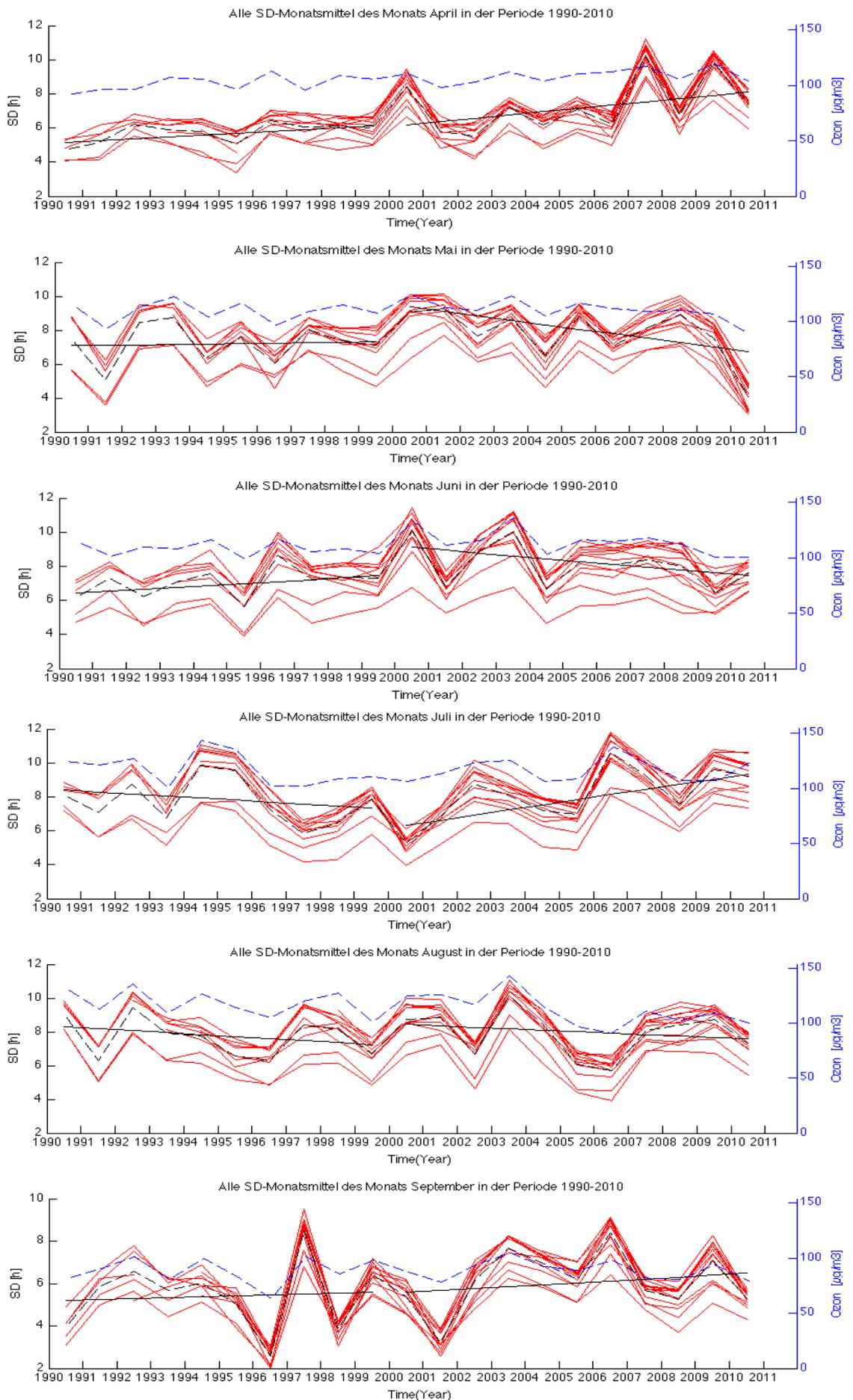


Abb. 4.53: Monatsmittel der Tagessummen der Sonnenscheindauer und der Tagesmaxima der O<sub>3</sub>-Konzentrationen aller Stationen in den Monaten April bis September

Zeigen die Monate Juni und August auch im Jahr 2003 sehr hohe Werte der Sonnenscheindauer, so sind im Monat April oder Juli keine Besonderheiten in diesem Jahr zu erkennen. Es sind steigende Tendenzen mit bis zu 2h über den gesamten Beobachtungszeitraum des Monats April zu erkennen, die sehr gut mit den Entwicklungen der Ozonkonzentrationen in dieser Periode übereinstimmen. So zeigt der Juni, trotz der positiven Differenz der zweiten Dekade zur ersten, innerhalb der zweiten Dekade eine negative Tendenz der Sonnenscheindauer. Die hohen Werte der Jahre 2000 bis 2010 täuschen bei der Auswertung der ganzen Periode eine rein positive Tendenz vor.

Die linearen Veränderungen innerhalb der Dekaden nehmen Werte bis zu 2 h/Tag im Mittel an. Nimmt man als Beispiel für den Monat April das Monatsmittel der einstündigen Summen an Globalstrahlung von  $\sim 60 \text{ J/cm}^2$  an, so entspricht das einer Zunahme an Strahlungsleistung von  $\sim 170 \text{ Wh/m}^2$ , also  $340 \text{ W/m}^2$  im Mittel pro Tag innerhalb der gesamten Periode.

Im Allgemeinen zeigen die Variabilitäten der Sonnenscheindauer innerhalb der Dekaden ein sehr ähnliches Bild zu denen der Ozonkonzentrationen (Abbildung 4.53).

### **Zusammenfassung:**

Die Charakteristika der Sonnenscheindauer über den gesamten Beobachtungszeitraum sind:

- Die Jahressummen zeigen über den gesamten Zeitraum keine Tendenzen.
- Innerhalb der gesamten Periode gibt es bei den Jahressummen eine zunehmende Tendenz in der zweiten Hälfte der 90er Jahre sowie eine abnehmende Tendenz in der zweiten Hälfte der 2000er Jahre.
- Die dekadischen Differenzen der Monatsmittel zeigen eine gute Übereinstimmung mit denen der Ozon-Monatsmittelwerte, speziell in den Monaten April bis Juli.
- Das Extremjahr 2003 zeigt bei allen Stationen ein deutliches Maximum in den Jahressummen über die gesamte Periode.
- Die Monatsmittel der Tagessummen weisen im Durchschnitt höhere Werte in den zweiten Dekaden auf.

- Die Monate April bis September zeigen unterschiedliche Tendenzen in den Dekaden.
- April hat als einziger Monat in der gesamten Periode steigende Tendenz bei den Monatsmitteln, August und September zeigen in den Dekaden die geringste Variabilität.
- Maxima in den Monatsmitteln der Sonnenscheindauer treten zum selben Zeitpunkt wie höhere Monatsmittel der O<sub>3</sub>-Tagesmaxima auf.

### 4.7.3 Dekadische Änderungen der Globalstrahlung

Trotz des engen Zusammenhanges der Sonnenscheindauer mit der Globalstrahlung kann es auf Grund von Bewölkung in der Atmosphäre zu unterschiedlichen Ergebnissen zwischen den Parametern kommen. Die Jahressummen an Globalstrahlung der Stationen in Abbildung 4.54 zeigen den ähnlichen Verlauf zur Sonnenscheindauer über die gesamte Periode.

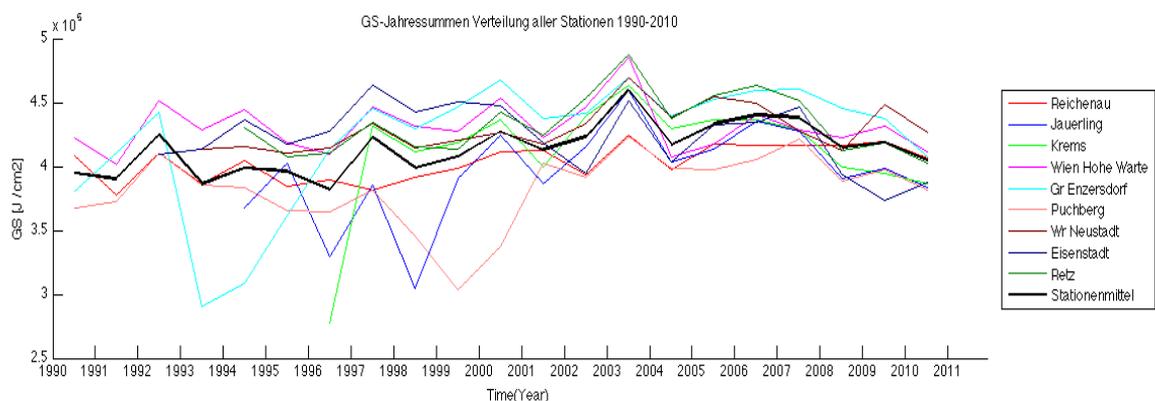


Abb. 4.54: Jahressummen der Globalstrahlung aller Stationen (1990 – 2010)

Auch bei der Globalstrahlung ist die geringe Datenmenge und die hohe Variabilität bei den Messdaten in der ersten Dekade zu beobachten, die auf die gleiche Problematik wie bei der Sonnenscheindauer zurückzuführen ist. Mit einem Stationenmittelwert von  $4 - 4,5 \times 10^5 \text{ J/cm}^2$  pro Jahr entspricht das auf 24h gerechnet einer Summe an Globalstrahlung in der Stunde von durchschnittlich  $45 - 50 \text{ J/cm}^2$  oder umgerechnet  $125 - 140 \text{ Wh/m}^2$ , über die ganze Periode gesehen. Neben dem Periodenmaximum im Jahre 2003 treten auch die kleinen Maxima im Jahr 1997, 2000 und 2006/2007 auf. Die positive Tendenz der zweiten Hälfte der 90er Jahre sowie die fallende Tendenz von

2005 bis 2010 ist auch hier zu erkennen. Über die gesamte Periode ist nur eine abgeschwächte geringe positive Tendenz zu bemerken. Im oberen Diagramm der Abbildung 4.55 ist am Beispiel der Station Groß Enzersdorf die Verteilung der verschiedenen Mittelwerte der Stundensummen der Globalstrahlung zu sehen, die eine gleichbleibende Tendenz der Jahresmittel über den Großteil der Periode um ein Tagesmittel (24h) der Globalstrahlungssumme von  $50 \text{ J/cm}^2$  in der Stunde zeigen.

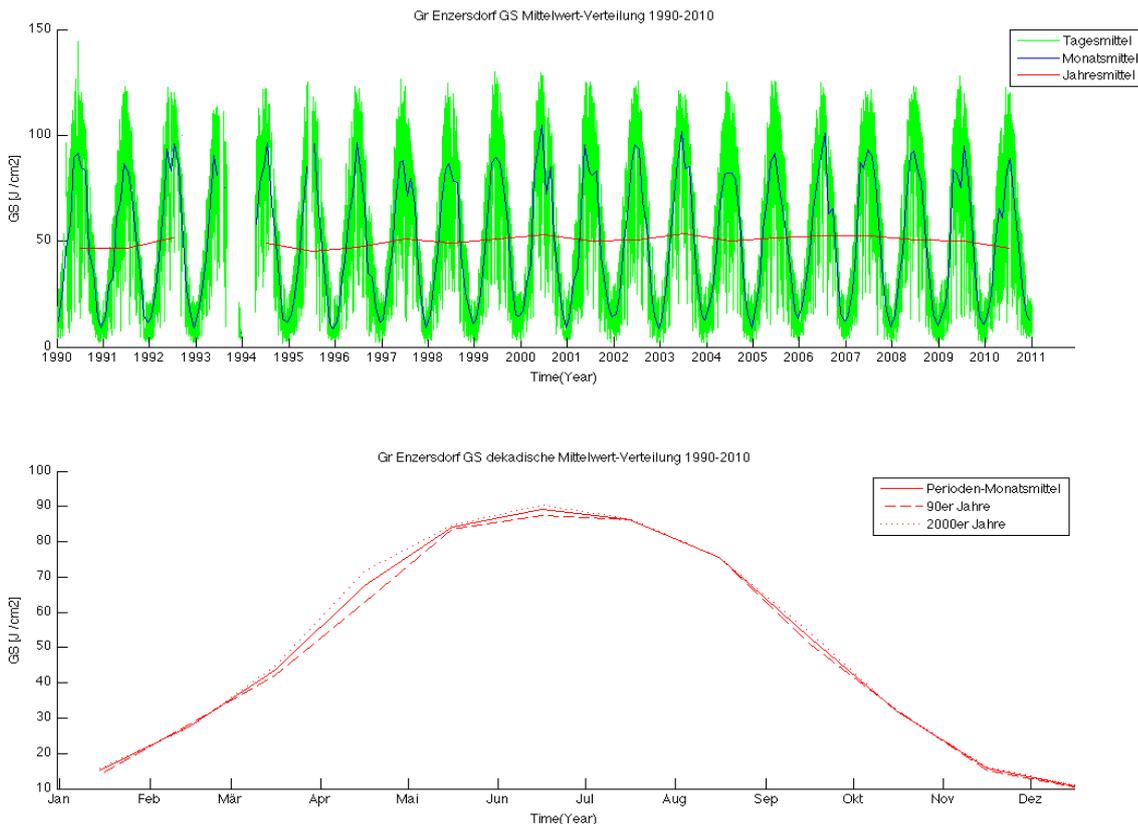


Abb. 4.55: Dekadische Monatsmittel und Periodenmittel von Stundensummen der Globalstrahlung der Station Groß Enzersdorf

In den letzten Jahren der gesamten Periode ist eine leicht abnehmende Tendenz bei den Jahresmitteln von allen Stationen zu erkennen. Die Monatsmittel schwanken, mit Ausnahme der Talstationen Puchberg und Reichenau, in den Sommermonaten in einem Bereich von  $80 - 90 \text{ J/cm}^2$  ( $220 - 250 \text{ Wh/m}^2$ ). Die dekadischen Differenzen treten bei der Globalstrahlung wesentlich geringer bis kaum auf und sind in den meisten Fällen in den Monaten April und Juni zu bemerken. Dieses Resultat stimmt sehr gut mit den Ergebnissen der Sonnenschendauer überein. In der Abbildung 4.56 ist die Variabilität dieser Monate von allen Stationen über die gesamte Periode zu sehen. Es sind sehr unterschiedliche Verläufe wie bei der Sonnenscheindauer

zu erkennen. Zusätzlich sind noch die Monatsmittel der Tagesmaxima der Ozonkonzentration (blau-strichliert) sowie die Regressionen der Stationenmittel (schwarz-strichliert) dargestellt.

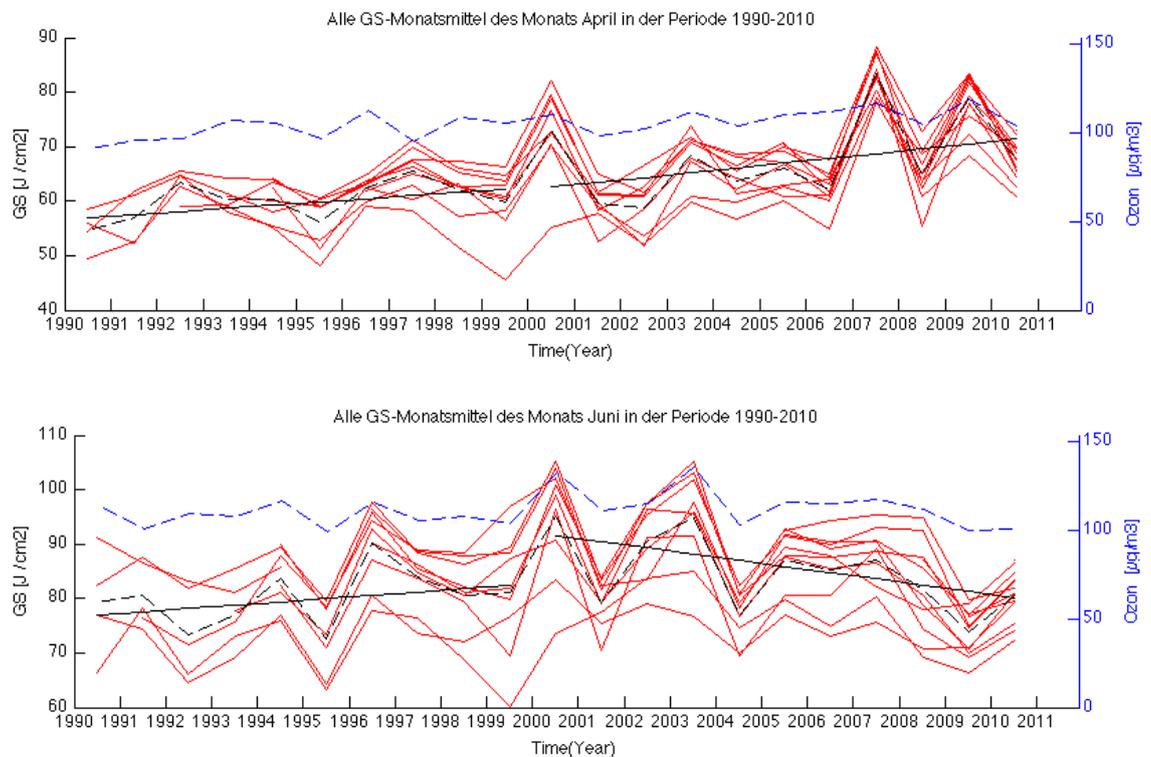


Abb. 4.56: Monatsmittel der Tagessummen der Globalstrahlung und der Tagesmaxima der O<sub>3</sub>-Konzentrationen aller Stationen in den Monaten April und Juni

Die Tendenz des Monats April zeigt durchgehend einen steigenden Verlauf, während im Juni die zweite Dekade eine negative Tendenz aufweist. Durch die hohen Globalstrahlungswerte der ersten Hälfte der zweiten Dekade liegen die Monatsmittel dieser Dekade dennoch über denen der 90er Jahre, die erst am Ende der Periode wieder erreicht werden. Der Monat April zeigt eine Steigerung der Monatsmittelwerte von durchschnittlich  $10 \text{ J/cm}^2$  in der Stunde auf. Nimmt man die durchschnittliche Sonnenscheindauer aller Stationen für den Monat April von 5h an, so entspricht das einer Steigerung von  $50 \text{ J/cm}^2$ . Dies entspricht einer zusätzlichen Globalstrahlung von  $\sim 140 \text{ W/m}^2$  pro Tag im Mittel über den Monat April gesehen. Die Monatsmittel der Ozonmaxima zeigen im Juni über die gesamte Periode ähnliche Tendenzen wie die Monatsmittel der Tagessummen an Globalstrahlung. Im April zeigen die Monatsmittel der Ozonmaxima einen ruhigeren Verlauf als die variierenden Werte der Globalstrahlungssummen.

## **Zusammenfassung:**

- Die Jahressummen zeigen über den gesamten Beobachtungszeitraum keine Veränderungen.
- Innerhalb der Periode gibt es bei den Jahressummen eine zunehmende Tendenz in der zweiten Hälfte der ersten Dekade sowie einen abnehmenden Verlauf in der zweiten Hälfte der 2000er Jahre.
- Das Maximum in der gesamten Periode liegt bei allen Stationen im Extremjahr 2003.
- Die dekadischen Perioden weisen bei den Monatsmittel bis auf die Monate April und Juni kaum Differenzen auf.
- Die Monatsmittel der Monate April und Juni zeigen eine Steigerung der Globalstrahlung über die gesamten Periode auf.
- Die Monatsmittel der Monate April bis September zeigen unterschiedliche Tendenzen in den beiden einzelnen Dekaden.
- August und September zeigen über die gesamte Periode gleichbleibende Tendenz bei den Monatsmitteln der Tagessummen.
- Der Verlauf der Monatsmittel der Globalstrahlung zeigt eine gute Übereinstimmung mit den Monatsmittelwerten der O<sub>3</sub>-Tagesmaxima.

### **4.7.4 Dekadische Änderungen der Windparameter**

Bei den Betrachtungen von Perioden hoher Ozonkonzentrationen wurde bei den Windparametern die größte Variabilität in kurzen Zeiträumen festgestellt. Besonders an Tagen geringer Windgeschwindigkeiten konnten sehr variierende Windrichtungen beobachtet werden, die bei der Betrachtung aller Perioden ein charakteristisches Muster erkennen haben lassen. Da bei der Windrichtung regionale Eigenschaften eine wichtige Rolle spielen, muss jede Station bei diesem Parameter separat über die gesamte Periode analysiert werden, um die Unterschiede dieser Charakteristika festzustellen.

#### 4.7.4.1 Variabilität der Windgeschwindigkeit

Anhand der meteorologischen Station Eisenstadt sind in der Abbildung 4.57 die Graphen der verschiedenen Monatsmittel und Jahregänge im Zeitraum 1990 bis 2010 abgebildet. In der obersten Grafik ist der Verlauf der Monatsmittel der Stundenwerte (blau) und das Monatsmittel der Tagesmaxima (rot) sowie das Periodenmittel der Stundenmittelwerte (schwarz), das bei dieser Station bei 3,3 m/s liegt, zu sehen. Damit liegt die Station Eisenstadt im oberen Drittel der Periodenmittel aller Stationen, die in einem Bereich von 1,7 m/s bis 3,8 m/s liegen. Die Stationen Oberleis und Jauerling werden ausgenommen, da sie als Hügel- oder Bergstation Werte von 6,6 bzw. 4,6 m/s als Periodenmittel aufweisen. Die Talstationen Puchberg und Reichenau, sowie die Station Krems, weisen die geringsten Periodenmittel ( $< 2$  m/s) auf. Die Verläufe zeigen innerhalb der Dekaden Schwankungen, welche, über den gesamten Zeitraum gesehen, keine Tendenzen aufweisen.

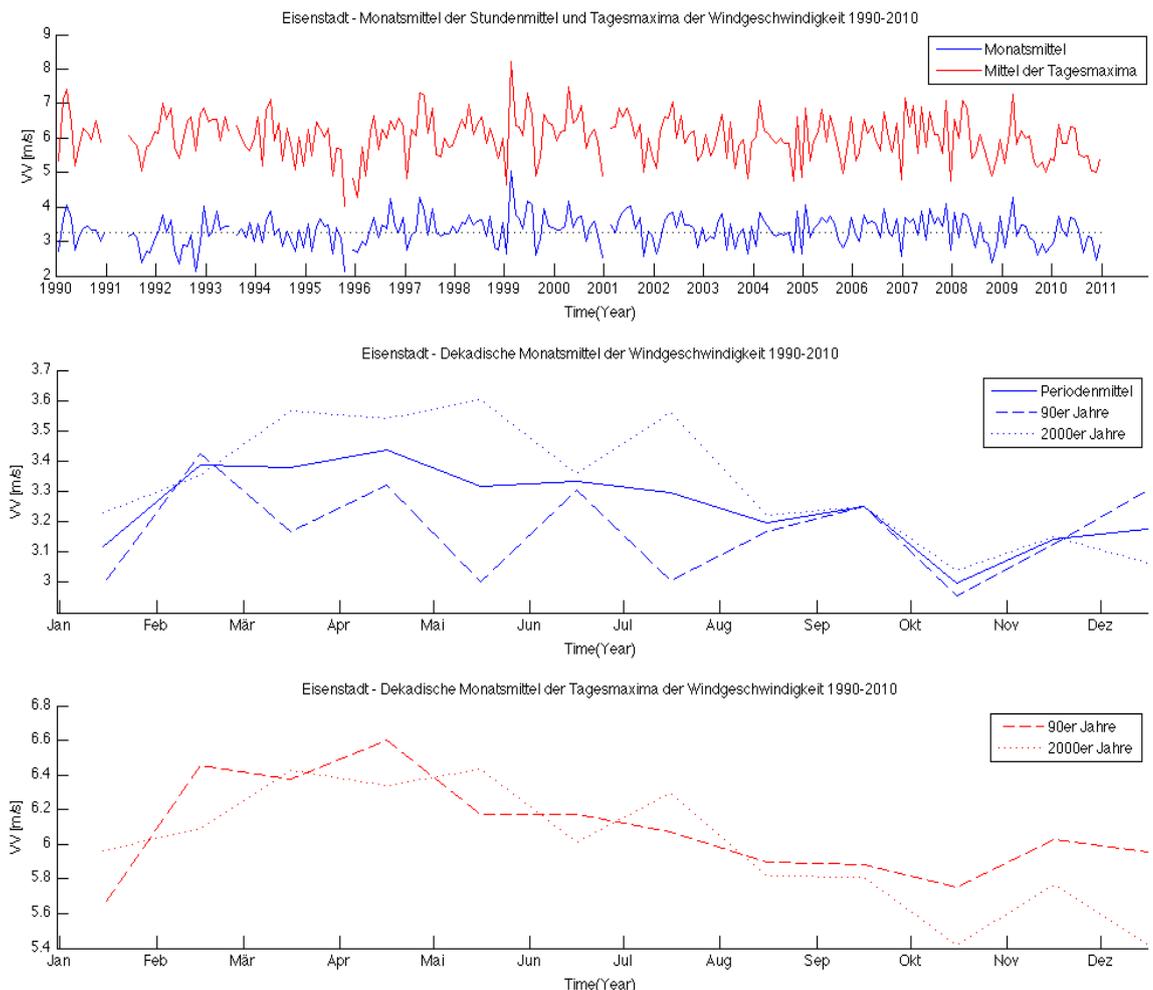


Abb. 4.57: Verteilungen der Monatsmittel und gemittelten Tagesmaxima der Windgeschwindigkeit der Station Eisenstadt im Zeitraum 1990 – 2010

In den beiden unteren Grafiken sind die dekadischen Monatsmittel der Stundenwerte (blau) und Tagesmaxima (rot) zu sehen, wie auch das periodische Monatsmittel der Stundenwerte. Speziell an dieser Station sind die unterschiedlichen dekadischen Differenzen der einzelnen Monate gut zu erkennen, die sich bei den Stundenwerten und den Tagesmaxima ganz unterschiedlich ausbilden. Generell ist zu beobachten, dass sich bei allen untersuchten Stationen kein einheitliches Bild in diesen Verläufen zeigt und die Änderungen der Monatsmittel bei den Stationen sehr unterschiedlich auftreten. Beim Betrachten der Periode April bis September zeigt sich in den Monaten April, Mai und Juli eine unterschiedliche Zunahme von der ersten zur zweiten Dekade, während die anderen Monate nur sehr geringe Abweichungen vom Periodenmittel zeigen. Die Differenzen zwischen den Dekaden nehmen Werte bis zu 0,6 m/s an. Bei den Monatsmittel der Stundenwerte wird auch bei den Stationen Groß Enzersdorf, Jauerling, Retz, Wr. Neustadt und Wien Hohe Warte eine generelle Zunahme beobachtet. Indessen zeigen die Stationen Poysdorf und Puchberg eine abnehmende und Reichenau eine gleichbleibende Tendenz der Werte.

Bei den Monatsmittel der Tagesmaxima ist ebenso ein sehr unregelmäßiges Bild der einzelnen Monate bei den unterschiedlichen Stationen zu sehen. Die Stationen Wien Hohe Warte und Groß Enzersdorf zeigen eine Zunahme der Maxima in der zweiten Dekade, während die Veränderungen bei den anderen Stationen in den einzelnen Monaten zwischen zunehmenden und abnehmenden Tendenzen variiert. Die Stationen mit den abnehmenden Tendenzen bei den Mittelwerten weisen auch bei den Mitteln der Maxima in den einzelnen Monaten mehr abnehmende Tendenzen auf. Die Periodenmittel der Tagesmaxima aller Stationen, mit Ausnahme der bereits genannten Talstationen, liegen in einem Bereich von 3,4 bis 6,6 m/s.

Nachdem die einzelnen monatlichen Tendenzen unterschiedliche Ergebnisse zeigen, wurden die monatlichen Variabilitäten der einzelnen Monate im gesamten Beobachtungszeitraum untersucht. Als Beispiel sind in der Abbildung 4.58 die Monatsmittel der Stundenwerte des Monats Juli aller Stationen in der gesamten Periode abgebildet. Zusätzlich wurde das Stationsmittel (rot strichliert), sowie die Monatsmittel der Ozontagesmaximas (blau strichliert), über die gesamte Periode geplottet. Die schwarzen Linien zeigen die linearen dekadischen Tendenzen der Monatsmittel aller Stationen.

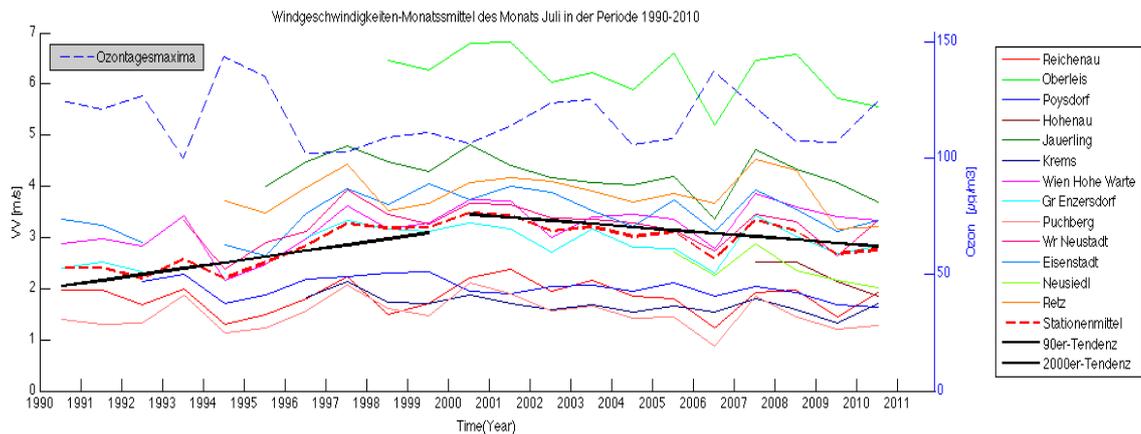


Abb. 4.58: Monatsmittel der Windgeschwindigkeit des Monats Juli aller Station von 1990 – 2010

Die meisten Stationen zeigen innerhalb des Monats einen relativ homogenen Verlauf über die gesamte Periode. Man erkennt das eigene Regime der Station Oberleis (hellgrün) und auch die höheren Werte der Stationen Jauerling (grün), und stellenweise Retz (orange).

Wurde im Juli bei den dekadischen Auswertungen steigende Tendenzen beobachtet, so ist hier eine abfallende Tendenz innerhalb der zweiten Dekade festzustellen. Dies ist durch den Anstieg der 90er Jahre mit bis zu 1 m/s im Mittel, der sich noch in den Jahren 2000 und 2001 fortsetzt, möglich. Dadurch errechnen sich, wegen des flacheren Abfalles der zweiten Dekade, über das Mittel gerechnet höhere Werte für diese Zeitspanne.

Die steigende Tendenz der 90er Jahre ist bei allen Monaten im unterschiedlichen Maße feststellbar. Indessen ist der abfallende Verlauf der zweiten Dekade nur in den Monaten April, Juni, Juli und September zu sehen. Bei der Betrachtung der Monatsmittel der Ozontagesmaxima ist stellenweise die umgekehrte Proportionalität der beiden Parameter zu erkennen. Das sieht man zum Beispiel in der Abbildung 4.58 in den Jahren 1993, 1994 und 2006. Die dekadischen Tendenzen der Windgeschwindigkeit können allerdings bei den Ozontagesmaxima nicht beobachtet werden.

So zeigt sich, dass gewisse markante Änderungen bei den Monatsmittel der Windgeschwindigkeit eine Auswirkung auf die mittleren Ozonmaxima in dem jeweiligen Monat haben, jedoch findet sich keine Bestätigung über diese Zeitperioden, um relevante statische Aussagen machen zu können.

## **Zusammenfassung:**

- Monatsmittel der Stundenwerte und Tagesmaxima weisen keine Tendenz über den gesamten Beobachtungszeitraum auf.
- Monatsmittel im dekadischen und gesamten Beobachtungszeitraum zeigen hohe Variabilität innerhalb der Monate und unter den Stationen.
- Dekadische Differenzen der einzelnen Monate erreichen Werte bis zu 0,6 m/s bei den Monatsmitteln.
- Dekadische Tendenzen zeigen bei den Monaten April bis September im Mittel über alle Stationen eine Zunahme der Monatsmittel der Windstärke bis zu 1 m/s in der ersten Dekade und eine fallende bis gleichbleibende Tendenz in der zweiten Periode.
- Das Maximum der Monatsmittel der Windstärken im Jahresgang tritt in den Monaten Februar bis April auf.
- Der Vergleich mit den Monatsmitteln der Ozontagesmaxima zeigt nur in den Jahren mit markanten Veränderungen der Windgeschwindigkeiten einen Zusammenhang zwischen den Parametern.
- Die dekadischen Tendenzen der Windgeschwindigkeit zeigen keinen Einfluß auf die Monatsmittel der Ozontagesmaxima.

### **4.7.4.2 Variabilität der Windrichtung**

Die bisherigen Auswertungen der Windrichtungen an den Stationen zeigten sehr individuelle und charakteristische Windsysteme bei den Perioden hoher Ozonkonzentrationen. So zeigen sich mit Ausnahme der Hügelstation Oberleis bei allen Stationen die Hauptwindrichtungen aus dem nordwestlichen Bereich. Wir haben bereits im Kapitel 4.5 auf die Veränderungen der Windrichtungen an ozonreichen Perioden in den unterschiedlichen Zeiträumen hingewiesen und die jeweiligen Hauptwindrichtungen der einzelnen Stationen an Tagen hoher Ozonkonzentration festgestellt. Auf diese Windrichtungen hin werden nun die Datensätze untersucht und ihre Häufigkeit und Variabilität analysiert, um die Zusammenhänge mit den Veränderungen der Ozonkonzentrationen zu finden. Am Beispiel der Station Wien Hohe Warte sehen wir in der oberen Grafik der Abbildung 4.59 die Hauptwindrichtungen, die an der Station an ozonreichen

Tagen in der Zeit von 6h – 21h auftreten. So erkennt man die Vorherrschaft der Ostrichtung und in weiterer Folge die Richtungen Südost, West und Nordost als die zu untersuchenden Windrichtungen an dieser Station.

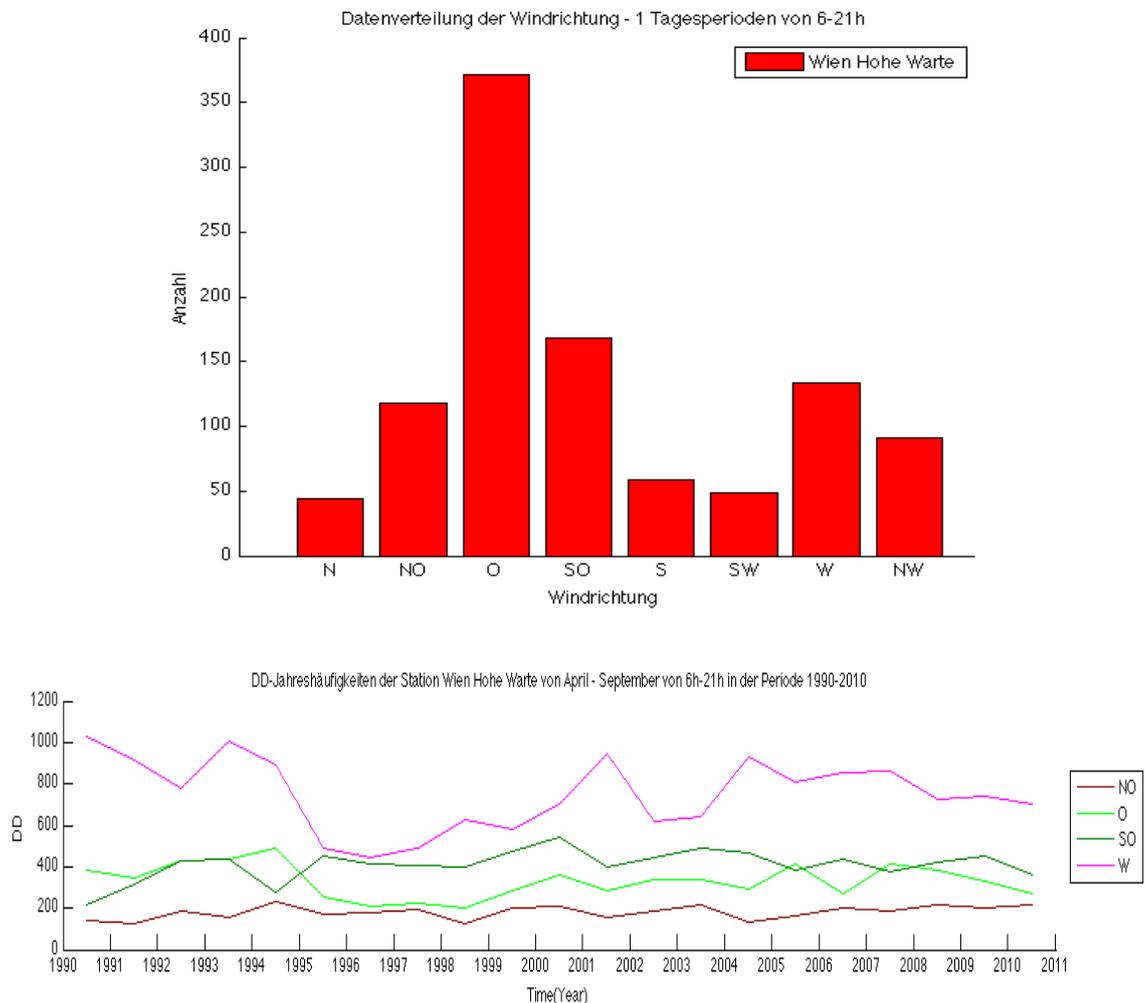


Abb. 4.59: Verteilung der Windrichtungen an der Station Hohe Warte an ozonreichen Tagen (li. Bild) und Jahressummen der 4 Hauptwindrichtungen von April - September in der Zeit von 6h – 21h (re.Bild)

In der unteren Grafik der Abbildung 4.59 wurden die Jahressummen der vier am häufigsten an der Station Hohe Warte in Wien auftretenden Windrichtungen über die gesamte Periode abgebildet. Es ist der Rückgang der westlichen Windrichtung in der ersten Hälfte der 90er-Jahre und der zweiten Hälfte der 2000er-Jahre zu erkennen. Im Bereich der SO-Richtung sieht man eine leicht steigende Tendenz in der ersten Dekade mit einem sehr leichten Rückgang in der zweiten Hälfte der Periode. Daneben treten keine Tendenzen der anderen Windrichtungen über diesen Beobachtungszeitraum auf. Im Jahresgang der dominanten SO-Richtung ist zu beobachten, dass ihre Maxima über die Monate November bis April verteilt sind.

Bei der Untersuchung der einzelnen Monate über die beiden Dekaden, oberes Bild der Abbildung 4.60, sind sehr unterschiedliche Veränderung bei den vier zu untersuchenden Windrichtungen der Station Hohe Warte zu erkennen. In der Grafik ist der relative Anteil der einzelnen Windrichtungen in den Monaten der einzelnen Dekaden dargestellt. In der unteren Grafik der Abbildung 4.60 ist die jahreszeitliche Veränderung der Windrichtungen zwischen der ersten und der zweiten Dekade abgebildet. Es wurden die Monate April bis Juni (rot) und Juli bis September (blau) im Tageszeitfenster von 6h bis 21h zusammengefasst und der relative Anteil der einzelnen Richtungen dargestellt.

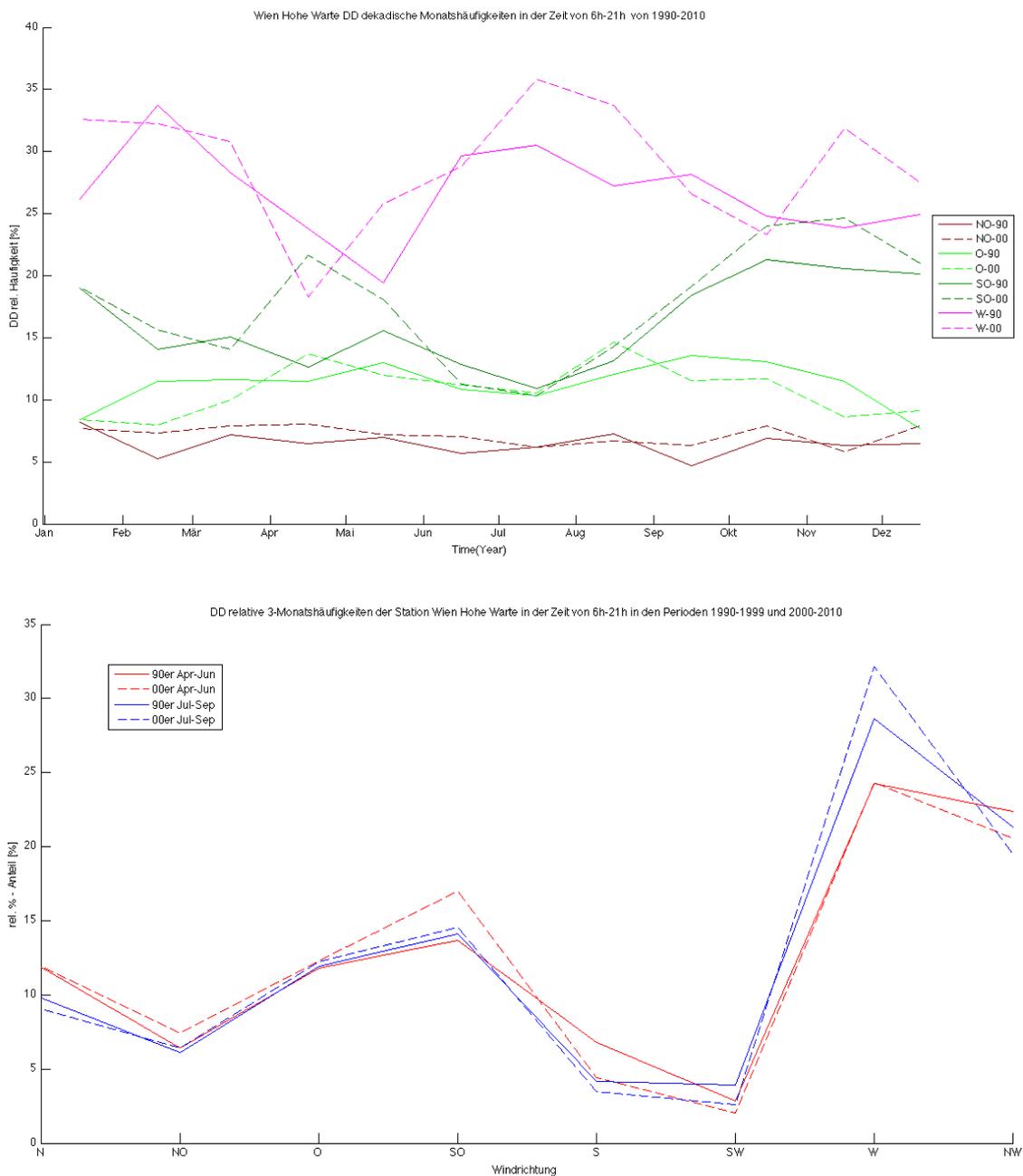


Abb. 4.60: Dekadische monatliche (o.Bild) und jahreszeitliche (u. Bild) Verteilungen des relativen Anteils der Windrichtungen an der Station Hohe Warte in der Zeit von 6h – 21h

Die Monatsdifferenzen der einzelnen Richtungen in den Monaten April bis September zeigen, dass die SO-Richtung eine starke Zunahme im Monat April um 8% hat, während es bei der westlichen Richtung eine Abnahme um 5% zur zweiten Dekade gibt. Auch die beiden anderen Richtungen zeigen eine leichte Zunahme in der zweiten Dekade in diesem Monat. Dieses Ergebnis zeigt eine gute Übereinstimmung mit der Zunahme der dekadischen Ozon-Monatsmittel im Monat April. Die Monate Mai und Juni zeigen nicht so deutliche Signale, während die Monate Juli bis September bei den östlichen Richtungen ein gleichbleibendes Bild zeigen, was wieder gut zu den Ozonwerten passt. Auch die jahreszeitlichen Auswertungen zeigen ein sehr ähnliches Bild mit einer geringen Steigerung von ~4% rel. Häufigkeit der SO-Komponente in den Monaten April bis Juni und gleichbleibenden Tendenzen der anderen östlichen Richtungen. Der westliche Anteil weist eine Zunahme im zweiten Zeitabschnitt (JAS) bei den 2000er Jahren auf, was auch deutlich in den dekadischen Monatssummen der Monate Juli und August sichtbar ist.

Die Windrichtungen zeigen immer wieder deutliche Signale, die den Tendenzen der Ozonkonzentrationen entsprechen. Es lässt sich jedoch kein durchgehend einheitliches Bild bei den Veränderungen herausfiltern.

An allen Stationen ist bei den Windrichtungen zu erkennen, dass die Windsektoren der auftretenden Winde bei ozonreichen Tagen aus mindestens zwei benachbarten Richtungen stammen und die dritte Richtung oft die komplementäre ist. So sind an vielen Stationen Sektoren aus den östlichen Richtungen in verschiedenen Kombinationen erkennbar. Genau wie an der Station Hohe Warte sind auch an den Stationen Groß Enzersdorf, Poysdorf und Retz Kombinationen aus O- und SO-Richtungen vorherrschend. An den Stationen Wr. Neustadt, Puchberg und Jauerling sind es die Sektoren aus NO und O, sowie aus nordwestlichen Sektoren an den Stationen Eisenstadt und Reichenau. Betrachtet man die unterschiedlichen zeitlichen Auswertungen von Monats- und Jahressummen und deren Änderungen über die gesamte Periode im Hinblick auf die Änderungen der Ozonkonzentrationen, so kann man folgende Punkte zusammenfassen:

- Tendenzen einzelner Windrichtungen über die ganze Periode treten nur über einen dekadischen Zeitraum mit gleichen Tendenzen der Ozonkonzentrationen auf.

- Die einzelnen Windrichtungen zeigen kein einheitliches Bild in ihren monatlichen und dekadischen Variabilitäten und Tendenzen.
- Bei den dekadischen Differenzen zeigen die Monate April bis Juni die besten Übereinstimmungen mit den Differenzen der O<sub>3</sub>-Konzentration. Bei den anderen Monaten heben sich positive und negative Differenzen auf und führen so zu einer gleichbleibenden Tendenz.
- Die jahreszeitlichen Analysen zeigen bei den einzelnen Windrichtungen unterschiedliche Ergebnisse, sodass die Resultate der Veränderungen der Ozonkonzentrationen nur von einem Teil der Windrichtungen unterstützt werden. Auch hier zeigen die Monate April bis Juni deutlichere Ergebnisse zu den Veränderungen der O<sub>3</sub>-Konzentrationen.
- Es kommt oft zu kompensierenden Tendenzen bei den benachbarten Windsektoren.
- Die langfristigen Veränderungen der einzelnen Windrichtungen mit den Tagesmaxima der Ozonkonzentrationen ergeben keine aussagekräftigen Resultate.

#### 4.7.5 Längerfristige Veränderungen der NO<sub>2</sub> – Konzentrationen

Die bereits durchgeführten Untersuchungen zwischen den Konzentrationen von Ozon und NO<sub>2</sub> brachten keine Zusammenhänge zwischen den beiden Stoffen hervor. Man erkennt bei den Verläufen, dass beim Anstieg der O<sub>3</sub>-Konzentrationen ein gleichzeitiger Abfall der NO<sub>2</sub>-Konzentrationen stattfindet. Bei der Variabilität der NO<sub>2</sub>-Werte konnte keine durchgehende Systematik bei den Perioden hoher Ozonkonzentrationen beobachtet werden.

Am Beispiel der Station Hohe Warte in der oberen Grafik der Abbildung 4.61 sind die Verläufe der Tages-, Monats- und Jahresmittel der NO<sub>2</sub>-Konzentration über den gesamten Beobachtungszeitraum dargestellt. In der unteren Grafik sind die Jahregänge der einzelnen dekadischen und des Perioden-Monatsmittel der Konzentrationen abgebildet. Mit einem Periodenmittel von 27,4 µg/m<sup>3</sup> und einem Mittel der Tagesmaxima von 54 µg/m<sup>3</sup> liegen sie deutlich über den Werten der anderen Stationen.

In der oberen Grafik der Abbildung 4.61 ist der deutlich höhere Mittelwert der 90er Jahre, der durch die schwarz strichlierte Regressionsgerade für diese

Zeitspanne zu sehen ist, zu beobachten. Dieser markante Sprung in den Daten kann durch eine Messsystemumstellung oder durch einen Ortswechsel der Messstation entstanden sein. Ein wesentlicher Unterschied zu den anderen Stationen zeigt sich in der Regressionslinie der 90er Jahre. Hier ist im Gegensatz zu den anderen Stationen kein markanter Rückgang der Konzentrationen zu sehen. Die Tendenz der geringfügigen Abnahme in der ersten Dekade zeigt sich für urbane Gebiete auch in österreichweiten Untersuchungen. Die Konzentrationen der zweiten Dekade zeigen so wie hier keine nennenswerten Tendenzen auf.

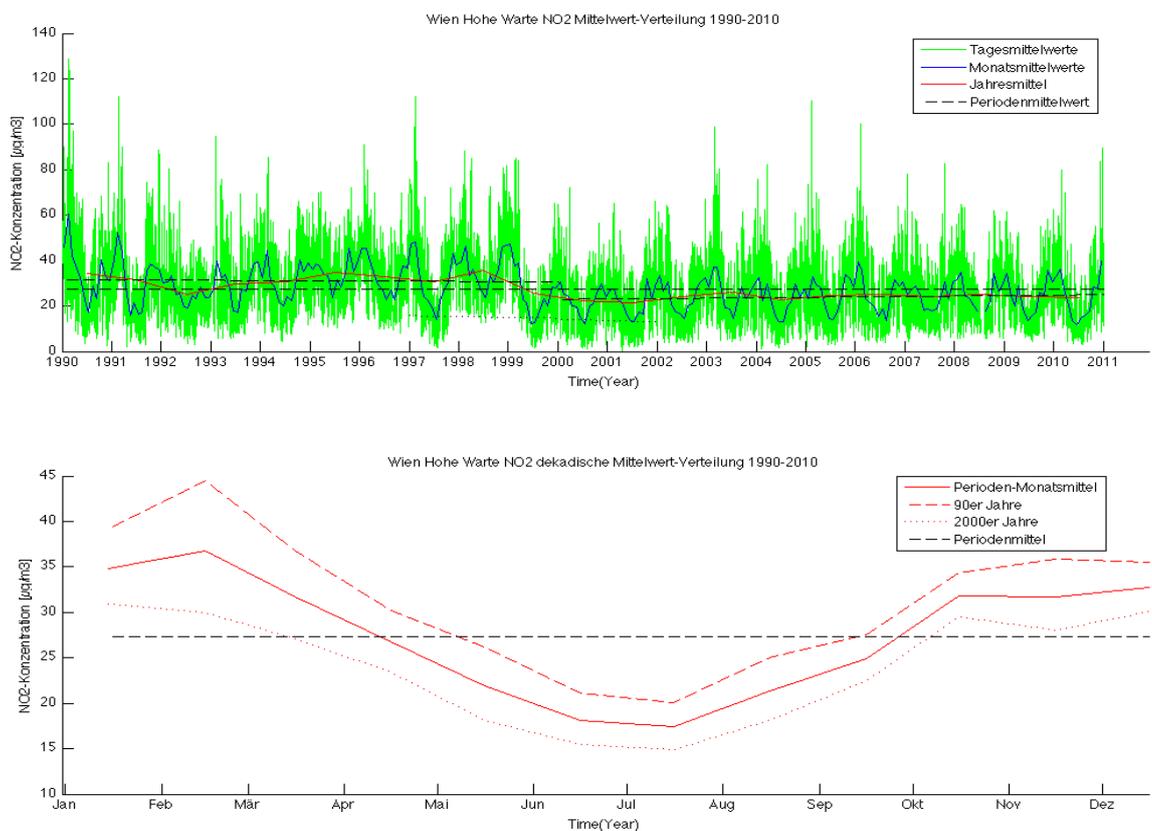


Abb. 4.61: NO<sub>2</sub>-Konzentrationen an der Station Hohe Warte im Zeitraum 1990 – 2010

Die Monatsmittel der einzelnen Dekaden deuten bei allen Stationen auf einen Rückgang der Konzentrationen bei den Mittelwerten und bei den Tagesmaxima der NO<sub>2</sub>-Konzentrationen hin. Der Jahresgang zeigt deutlich das Maximum in den Wintermonaten, während die Monate April bis September niedrige Konzentrationen aufweisen. Sowohl die Monatsmittel und die Mittel der Tagesmaxima zeigen über die Monate Mai bis August die niedrigsten Werte auf. Mit Periodenmitteln im Bereich von 7–27  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  und dazugehörigen Standardabweichungen von 6–21  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  erkennt man die sehr breite Verteilung

und hohe Variabilität der Konzentrationen. Die Periodenmittel der Tagesmaxima bewegen sich in einem Bereich von 16-54  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Die Jahresmittel der Tagesmaxima in Abbildung 4.62 zeigen die hohe Variabilität als auch eine abnehmende Tendenz dieser Jahre bei allen Stationen. Diese Abnahme ist durch den Einsatz neuer Technologien in der Industrie und im Verkehr erklärbar. Die hohe Variabilität in dem Datenmaterial der 90er Jahre lässt veraltete Messsysteme bzw. örtliche Umstellungen oder Baumaßnahmen in der näheren Umgebung der Stationen vermuten.

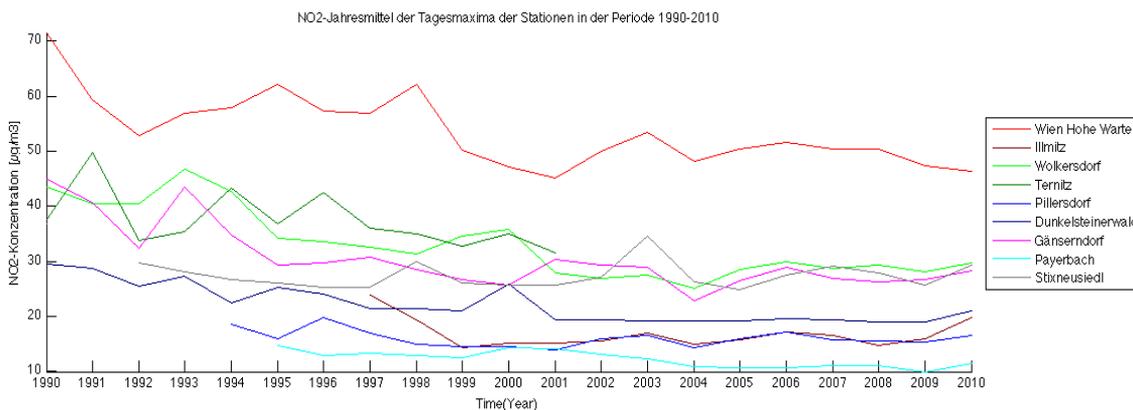


Abb. 4.62: Jahresmittel der  $\text{NO}_2$ -Konzentrationen aller Stationen von 1990-2010

In der zweiten Hälfte der Untersuchungsperiode ist bei manchen Stationen eine sehr geringe Abnahme, aber meist gleichbleibende Tendenz zu beobachten. Die Verläufe der  $\text{NO}_2$ -Konzentrationen zeigen keine Wirkung auf die Verläufe der Ozonkonzentrationen.

### Zusammenfassung:

- Bei den Jahresmitteln und gemittelten Tagesmaxima zeigt die Tendenz der 90er Jahre einen Rückgang der Konzentrationen. Die zweite Dekade ist tendenziell gleichbleibend.
- Die Variabilität in den Messreihen der 90er Jahre ist höher als in der zweiten Hälfte der Beobachtungsreihe.
- In den Verteilungen der dekadischen Monatsmittel zeigt sich sehr deutlich die Abnahme der Konzentrationen von den 90er Jahren zu den 2000er Jahren bei allen Stationen.
- Der Jahresgang der Monatsmittel weist das Maximum in den Wintermonaten auf, während über den Beobachtungszeitraum April bis September die Minima des Jahres erreicht werden.

- Die langfristigen Tendenzen zeigen keinen Zusammenhang zu den langfristigen Veränderungen der Ozonkonzentrationen.
- Die Tendenzen der einzelnen Monate der NO<sub>2</sub>-Konzentration weisen keinen Zusammenhang zu den Verläufen der Ozonkonzentrationen auf.

#### **4.8 Regionale Unterschiede der Stationen:**

Die Auswertungen haben gezeigt, dass bei den Ozonkonzentrationen der einzelnen Stationen durch Veränderungen von einzelnen Parametern mehr oder weniger Reaktion zu beobachten ist. Die Clusterung von mehreren Stationen auf Grund der gleichen Zusammenhänge der Ozonkonzentration zu einzelnen Parametern ist durch die Abhängigkeit dieser von jedem einzelnen sehr schwierig. Nur durch das Zusammenwirken aller Parameter in Verbindung mit der richtigen chemischen Zusammensetzung der Atmosphäre können die Ozonkonzentrationen höhere Werte annehmen.

In dem regional so kleinen Untersuchungsgebiet sind die Differenzen bei der Sonnenscheindauer und Globalstrahlung zwischen den meteorologischen Stationen am geringsten. Bei diesen beiden Parametern zeigen nur die beiden Talstationen Puchberg und Reichenau, durch die orographischen Gegebenheiten in diesem Gebiet, einen geringeren Wertebereich als die anderen Stationen. Liegt der südliche Teil des Untersuchungsgebietes, mit dem nördlichen Teil Burgenlands und dem südlichen Niederösterreich, im allgemeinen in einem Gebiet mit höheren Sonnenstunden als der nördliche Teil des Untersuchungsgebietes, so zeigen die Analysen der Perioden hoher Ozonkonzentrationen, dass dies bei den Auswertungen keine Auswirkungen auf die Anzahl der Perioden bzw. auf die berechneten Mittelwerte oder Maxima hat. Auch die Werte der Globalstrahlung zeigen bei den Perioden hoher O<sub>3</sub>-Konzentrationen keinen wesentlichen Unterschied zu den weiter nördlichen Stationen. Die Station Neusiedl zeigt zwar etwas höhere Mittelwerte bei den 3-Tages-Perioden als die anderen Stationen, jedoch muss man die noch recht kurze Messreihe (2005-2010) beim Vergleich berücksichtigen.

Bei der Temperatur zeigt sich ein sehr ähnliches Bild. Zu den zwei Talstationen kommt noch die Bergstation Jauerling dazu, die durch ihre Höhenlage auch in

einem niedrigeren Temperaturregime liegt. Bei der Station Krems sieht man wie sehr die umgebende Landschaft (Biosphäre) Einfluss auf die Temperatur haben kann. Mit nur 22°C bei den 3-Tages-Perioden und 23,1°C im Durchschnitt an Tagen hoher Ozonkonzentrationen liegt die am Ufer der Donau gelegene Station auch im unteren Wertebereich. Hier zeigt sich der Einfluss der Donau und der umgebenden Hügellandschaft mit dem beginnenden Waldviertel. Trotz der regionalen Unterschiede zeigt die Temperatur, neben der Globalstrahlung, die deutlichsten Ergebnisse bei den Zusammenhängen mit Ozon und bestätigt mit ihren Analysen die Resultate der anderen Parameter.

Bei den Windparametern treten die größten Unterschiede unter den Stationen auf. Die Hügelstationen wie Jauerling, Oberleis und auch teilweise Retz müssen bei den Analysen separiert analysiert werden, da sie durch ihre Höhenlage oder exponierte Lage ein höheres Windregime aufweisen. Darüber hinaus zeigt sich ein sehr durchmischtes Bild bei den Stationen, die im Regelfall an den Tagen hoher Ozonkonzentrationen Windgeschwindigkeiten kleiner 2-3 m/s aufweisen. Hier zeigen die Talstationen Reichenau und Puchberg die geringsten Windgeschwindigkeiten mit mittleren Windstärken von 1 m/s.

Neben der Windgeschwindigkeit zeigt die Windrichtung die größten Differenzen an den Stationen. Durch die geringen Windgeschwindigkeiten sind sehr starke Variabilitäten in der Richtung möglich. So zeigen die Ozon-Stationen im Untersuchungsgebiet immer eine starke Empfindlichkeit gegenüber östlichen Richtungen an den meteorologischen Stationen. Neben dieser Ostrichtung weisen die Stationen Hohe Warte, Groß Enzersdorf, Poysdorf und Retz auch südöstliche Richtungen auf. Die nördlichen Richtungen weisen die Stationen Eisenstadt, Wr. Neustadt, Gr. Enzersdorf, Krems und die Talstationen auf. Hier kann auch der Einfluss von urbanen Gebieten wie Wien auf die ländlichen Stationen, die im südlichen Stationengebiet liegen, beobachtet werden. Weiters sind die Stationen Bergern im Dunkelsteinerwald und Pillersdorf im Einflussgebiet von St. Pölten und Krems bei südöstlichen Richtungen, als auch aus tschechischem Gebiet bei nordöstlichen Richtungen.

Die Abhängigkeiten jedes einzelnen Gebietes hängen sehr stark von dem chemischen Regime, das dieses Gebiet bestimmt, ab. So unterscheiden sich die Einflüsse der Advektion in ein NO<sub>x</sub>-sensitives oder VOC-sensitives Gebiet. Dies spielt vor allem bei den Analysen der Windparameter eine wichtige Rolle.

## 5 Schlussfolgerungen und Ausblick:

Zusammenfassend kann man aus meteorologischer Sicht die komplexen Zusammenhänge und Abhängigkeiten der einzelnen meteorologischen Parameter zur Bildung hoher Ozonkonzentrationen erkennen. Das Bild der meteorologischen Faktoren, das für die Bildung hoher Ozonkonzentrationen entsteht, deutet auf sommerliche Hochdruckwetterlagen hin. Dennoch weisen die Häufigkeiten von meteorologischen Perioden der einzelnen Parameter auf drei wesentliche Punkte hin:

- Ein Zusammenspiel aller Faktoren ist notwendig, um höhere Ozonkonzentrationen entstehen zu lassen. Das bedeutet, dass die Veränderung der Häufigkeiten jedes einzelnen Parameters Auswirkungen auf die Häufigkeit von hohen Ozonkonzentrationen haben kann.
- Die Häufigkeiten der meteorologischen Ereignisse zeigen, wie relevant das Zusammenspiel der Parameter für hohe Ozonkonzentrationen und die Bedeutung der richtigen Konzentrationen von Primärstoffen in der Luft ist.
- Die Betrachtung des richtigen Zeitraumes ist für die Erkennung der Zusammenhänge der unterschiedlichen meteorologischen Parameter mit hohen Ozonkonzentrationen von Bedeutung.

Die regionalen Eigenschaften und Unterschiede der Stationen lassen kein generelles Statement über einzelne Parameter und ihren Zusammenhang mit den Ozonkonzentrationen zu. Auf Grund der Resultate kann man aber für jede Station Mindestwerte für jeden Parameter angeben, welche notwendig sind, um höhere Ozonkonzentrationen bei entsprechendem Vorhandensein von primären Luftschadstoffen mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit entstehen zu lassen. Die Analysen der Windrichtung gaben Erklärungen für die Abhängigkeit von advektiven Einflüssen der einzelnen Stationen aus städtischen und industriellen Gebieten. Weniger die mit höheren Windgeschwindigkeiten auftretenden Hauptwindrichtungen sind für die hohen Konzentrationen des Ozons wichtig, sondern sehr oft auftretende regionale, thermisch induzierte Windsysteme, die die Advektion von Luftschadstoffen beeinflussen und damit das Ozonpotential

erhöhen. Die eben angesprochene Windstärke ist ein wichtiger Faktor für die Variabilität der Ozonkonzentrationen. Die Ergebnisse für diesen Parameter zeigen, dass der Wertebereich der Windgeschwindigkeiten für einen möglichen Ozonanstieg sehr begrenzt ist und schon minimale Anstiege um 1 m/s die Ozonkonzentrationen reduzieren können.

Die Resultate der Sonnenscheindauer und Globalstrahlung zeigen die besten Übereinstimmungen mit den Perioden hoher Ozonkonzentrationen. Ihre Korrelationsergebnisse verdeutlichen, dass die Globalstrahlung und Sonnenscheindauer neben der Temperatur die wichtigsten Parameter für hohe Konzentrationen von Ozon sind. Der Umstand, dass nicht immer die höchsten Globalstrahlungssummen an den Tagen der Ozonüberschreitungen aufgetreten sind, deutet auf zwei wichtige Punkte hin:

- Die Globalstrahlungssummen an den Vortagen hoher Ozonkonzentrationen sind wichtig für die Erwärmung der unteren Luftschichten, da die Temperatur ein wesentlicher Faktor für die Geschwindigkeit der chemischen Reaktionen ist.
- Es reicht oft, wenn die wesentlichen Tageszeiten (Vormittags- und Mittagsstunden) mit den höheren Globalstrahlungswerten auf die unteren Luftschichten Einwirkung haben, um die Konzentrationen rasch ansteigen zu lassen.

Bei den längerfristigen Veränderungen der einzelnen Parameter ist sehr deutlich zu erkennen, dass die Abnahme der Vorläufersubstanz  $\text{NO}_2$  zu keinem Rückgang der Ozonkonzentrationen führt. Die dekadischen und langfristigen Veränderungen der Sonnenscheindauer und Globalstrahlung geben jedoch zwei gute Erklärungen für:

- die dekadischen Veränderungen der Ozonkonzentrationen in den Monaten April bis Juli,
- den Rückgang der Ozonkonzentrationen in den letzten Jahren der Untersuchungsperiode.

Generell sind Einflüsse und Zusammenhänge zwischen den Parametern zu sehen, jedoch ist der beobachtete Zeitraum zu kurz, um klimatologische Aussagen treffen zu können.

Ein langfristiger Ausblick auf zukünftige Entwicklungen ist durch die Komplexität der Zusammenhänge und Abhängigkeit von mehreren Variablen sehr schwierig. Die sich wahrscheinlich verändernden klimatologischen Bedingungen durch den anthropogen erzeugten Treibhauseffekt würden eine positive Entwicklung der Ozonkonzentrationen, mit einer steigenden Häufigkeit von Tagen hoher Ozonkonzentrationen, bewirken, da die steigende Erwärmung der Atmosphäre einen positiven Effekt auf die Reaktionen der Ozonchemie ausübt.

Die Reduktion der anthropogen erzeugten  $\text{NO}_2$ -Immissionen zeigen im Allgemeinen wenig Einfluss auf die Konzentrationen des Ozons. Die regional unterschiedlichen Ursachen und Bedingungen des Entstehens hoher Ozonkonzentrationen können sehr unterschiedlich sein. Auch die Veränderungen meteorologischer Parameter, wie Sonnenscheindauer und Globalstrahlung, können Veränderungen bei natürlichen  $\text{NO}_2$ -Quellen und anderen Primärstoffen hervorrufen. Die Reduktion von primären Luftschadstoffen ist langfristig gesehen die einzige Möglichkeit der Menschen in diesen Kreislauf einzugreifen. Aus diesem Grund muss man die  $\text{NO}_x$ -Emissionen in  $\text{NO}_x$ -sensitiven Gebieten und die VOC-Emissionen in den VOC-sensitiven Gebieten reduzieren, um langfristige Änderungen zu bewirken.

Die langfristigen Auswirkungen des anthropogenen Verhaltens bei der Immission von primären Luftschadstoffen durch Verkehr, Industrie und Landwirtschaft, sind im Zusammenhang mit Ozon noch nicht geklärt.

## 6 Anhang

### Anhang A:

#### Liste der Stationen mit ihren Topographien, Siedlungsstrukturen und lokalen sowie unmittelbaren Umgebungen

##### Quellen:

Umweltbundesamt , REP-0263, Wien 2010;

ZAMG, Klimaabteilung,

[http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe7100/klima2000/klimadaten\\_oesterreich\\_1971\\_frame1.htm](http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe7100/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm)

Wikipedia, <http://de.wikipedia.org>

##### OZON - Stationen:

###### *Hohe Warte:*

Topographie: Hügelland, Seehöhe (m) 207

Siedlungsstruktur: Stadt mit über 1 Mil. EW, locker verbautes Gebiet am Stadtrand

Lokale Umgebung: Hohe Straßenverkehrsemissionen im Umkreis von 1 km Stadtrand, Wohngebiet, Wald

Unmittelbare Umgebung: Messstelle auf Gebäude, Turm, Wiese mit Bäumen, Park und Garten

###### *Illmitz:*

Topographie: Ebene, Seehöhe (m) 117

Siedlungsstruktur: Unbesiedeltes Gebiet

Lokale Umgebung: Landwirtschaftliche Nutzfläche, See

Unmittelbare Umgebung: Weingarten, Wiese (keine Bäume, keine Gebäude)

###### *Mistelbach:*

Topographie: Hügelland, Seehöhe (m) 250

Siedlungsstruktur: Stadt mit 10.000 bis 20.000 EW, Stadtrand

Lokale Umgebung: Kleinstadt – Wohngebiet, Landwirtschaftliche Nutzfläche, mäßige Straßenverkehrsemissionen im Umkreis von 1 km

Unmittelbare Umgebung: Außerorts-Straße, Weingarten, Wiese (keine Bäume, keine Gebäude), geringe Straßenverkehrsemissionen

###### *Ternitz:*

Topographie Ebene, Seehöhe (m) 380

Siedlungsstruktur: Stadt mit 10.000 bis 20.000 EW, Stadtrand

Lokale Umgebung: Gering belastetes Industriegebiet, geringe Straßenverkehrsemissionen im Umkreis von 1 km Kleinstadt - Wohn-, Industrie- und Gewerbegebiet

Unmittelbare Umgebung: Wiese mit Bäumen, Park und Garten

###### *Pillersdorf:*

Topographie: Hügelkuppe in der Ebene, Seehöhe (m) 315

Siedlungsstruktur: Einzelhäuser

Lokale Umgebung: Geringe Straßenverkehrsemissionen im Umkreis von 1 km Landwirtschaftliche Nutzfläche, Dorf - Wohngebiet

Unmittelbare Umgebung: Weingarten, Wiese (keine Bäume, keine Gebäude)

###### *Bergern / Dunkelsteinerwald:*

Topographie: Kuppe im Hügelland, Seehöhe (m) 320

Siedlungsstruktur: Siedlung mit weniger als 5000 EW

Lokale Umgebung: Geringe Straßenverkehrsemissionen im Umkreis von 1 km Landwirtschaftliche Nutzfläche, Wald, Wiese

Unmittelbare Umgebung: Außerorts-Straße, Wiese (keine Bäume, keine Gebäude), geringe Straßenverkehrsemissionen

###### *Gänserndorf:*

Topographie: Ebene, Seehöhe (m) 161

Siedlungsstruktur: Stadt mit 5.000 bis 10.000 EW, Stadtrand

Lokale Umgebung: Geringe Straßenverkehrsemissionen im Umkreis von 1 km Kleinstadt-Wohngebiet, Landwirtschaftliche Nutzfläche

Unmittelbare Umgebung: Wiese mit Bäumen; Park; Garten

## NO<sub>2</sub> – Stationen:

### ***Wolkersdorf:***

Topographie: Hügelland, Seehöhe (m) 260

Siedlungsstruktur: Einzelhäuser

Lokale Umgebung: Kleinstadt – Wohngebiet, Landwirtschaftliche Nutzfläche, mäßige Straßenverkehrsemissionen im Umkreis von 1 km, Wald

Unmittelbare Umgebung: Weingarten, Wiese mit Bäumen, Park und Garten

### ***Payerbach:***

Topographie: Bergland, Seehöhe (m) 890

Siedlungsstruktur: Einzelhäuser

Lokale Umgebung: Geringe Straßenverkehrsemissionen im Umkreis von 1 km, Wald und Wiese

Unmittelbare Umgebung: Wiese, Wald im Abstand von mehreren 10 Metern

### ***Stixneusiedl:***

Topographie: Hügelkuppe in der Ebene, Seehöhe (m) 240

Siedlungsstruktur: Siedlung mit weniger als 5000 EW

Lokale Umgebung: Dorf – Wohngebiet, Landwirtschaftliche Nutzfläche, Wald

Unmittelbare Umgebung: Feld (keine Bäume, keine Gebäude), Weingarten

## Meteorologische Stationen:

### ***Reichenau:*** geogr. Länge: 15° 50', geogr. Breite: 47° 42'

Die Klimastation Reichenau befindet sich in 486m Höhe, im Kurort am Fuße der Rax im südlichen Niederösterreich. Der Ort ist sehr abgeschirmt gegenüber der Hauptwind- und Wetterrichtung Südwest bis Nordwest. Seine Höhenlage reicht im Winter manchmal bereits aus, um außerhalb des trüben Wiener Beckens zu liegen, im Sommer profitiert es vom Sonnenscheinreichtum des Alpenostrandes. Beeindruckend sind allerdings die Gewitter in dieser Gegend, die gerade am Rand einer der Hauptgewitterzonen Österreichs, dem Semmering-Wechselgebiet liegt.

### ***Oberleis:*** geogr. Länge: 16° 22', geogr. Breite: 48° 34'

Die Klimastation Oberleis befindet sich in 420m Höhe in den Leiser Bergen im niederösterreichischen Weinviertel. Gegenüber dem typischen Weinviertler Klima mit viel Sonne im Sommer, häufig trübem, mäßig kalten Wetter im Winter, und geringen Niederschlägen, ist das Klima auf den Kuppen der Leiser Berge leicht modifiziert: Einerseits sind in der exponierten Lage die Windgeschwindigkeiten erhöht, andererseits wird der Frost gemildert, da die Station häufig oberhalb des winterlichen Kaltluftsees liegt, und somit ist hier auch die Zahl der Sonnenscheinstunden höher, die Zahl der trüben Tage niedriger als im übrigen Weinviertel.

### ***Poysdorf:*** geogr. Länge: 16° 38' geogr. Breite: 48° 40'

Die Klimastation Poysdorf liegt im Hügelland des nördlichen Weinviertel in 209m Seehöhe. Das Gebiet liegt im charakteristischen Weinviertler Klima mit viel Sonne im Sommer, und häufig trübem, mäßig kalten Wetter im Winter, und geringen Niederschlägen. Die lokale Umgebung ist eine Ortschaft (~5500EW) mit mäßigen Straßenverkehr und großen landwirtschaftlichen Nutzflächen (Weinanbau).

### ***Hohenau:*** geogr. Länge: 16° 54', geogr. Breite: 48° 37'

Die Klimastation Hohenau liegt in 155m Höhe im kontinentalsten Klima Österreichs. Typisch sind heiße Sommer, Trockenheit, trübe Winter mit häufigen Hochnebellagen.

Die Winter sind wegen der geringen Seehöhe trotz Kontinentalität nur mäßig kalt.

### ***Jauerling:*** geogr. Länge: 15° 20' , geogr. Breite: 48° 20'

Die Klimastation Jauerling steht in 952m Seehöhe am Jauerling, einem Berg im südöstlichen Waldviertel. Der Jauerling ist die höchste Erhebung der Wachau an dessen Fuß im Osten die Donau fließt. Weiter im Südosten liegt St. Pölten und noröstlich Krems. Auf Grund seiner erhöhten Lage können erhöhte Windgeschwindigkeiten und höhere Globalstrahlungswerte auftreten.

**Krems:** geogr. Länge: 15° 37', geogr. Breite: 48° 25'

Die Klimastation Krems befindet sich in 203m Höhe in der Wachau in Niederösterreich. Hier, im Donautal am Übergang vom Waldviertel ins Weinviertel bzw. Tullnerfeld herrscht trockenes, im Sommer heißes und sonniges Klima, die Winter sind durch oft beständige Hochnebellagen beeinträchtigt. Durch die geringe Höhenlage sind die Winter aber nur mäßig kalt.

**Groß-Enzersdorf:** geogr. Länge: 16° 34' geogr. Breite: 48° 12'

Die Klimastation liegt in 153m Seehöhe, und ist am südwestlichen Rand des Marchfeldes installiert. Das Marchfeld ist eine der größten Ebenen Österreichs und bildet den nördlichen Teil des Wiener Beckens. Durch die unmittelbare Nähe zur Bundeshauptstadt Wien wird ein geringer Stadteffekt wirksam.

**Puchberg:** geogr. Länge: 15° 55', geogr. Breite: 47° 47'

Die Klimastation Puchberg am Schneeberg liegt auf 580m Seehöhe in einem Talkessel am südlichen Rand der Ortschaft und ist von mehreren Bergen umgeben. Die höchste Erhebung ist der Schneeberg, ein Tafelberg, der den Talabschluss nach Westen bildet. Mit seinen beiden Hauptgipfeln Klosterwappen (2.076 m ü. A.) und Kaiserstein (2.061 m ü. A.) ist dieser der höchste Berg Niederösterreichs.

Tage mit Hitze- und Schwüleperioden kommen auf Grund des Bergklimas selbst im Hochsommer nur sehr selten vor; die Nächte bringen starke Abkühlung, da die Temperatur wegen der gespeicherten Feuchtigkeit im Talkessel rasch abfällt. Im Sommer liegt die Durchschnittstemperatur um 25 °C, im Winter knapp unter 0 °C. An rund 75 % der Tage herrscht schwacher Wind von 10 bis 20 Kilometer pro Stunde.

**Wiener Neustadt:** geogr. Länge: 16° 16' geogr. Breite: 47° 48'

Die Klimastation Wiener Neustadt liegt zum Teil noch im pannonischen Klima auf 270m Seehöhe. Man spricht davon, wenn ein relativ warmes und trockenes, gemäßigtes Klima vorherrscht. "Zum Teil" deshalb, da sich angrenzend das alpine Klima befindet und ebenfalls Einfluss auf die Region ausübt.

Geo-Info: Das Steinfeld ist die südliche Region des Wiener Beckens in Niederösterreich. Der Name rührt von der Schotterebene her, die auf einer Seehöhe von 230 bis 370 m ü. A. liegt. Die wichtigsten Städte sind Wiener Neustadt und Neunkirchen. Entwässert wird das Gebiet von Schwarza und Piesting sowie Triesting. Im Süden liegt die Bucklige Welt mit dem Wechselmassiv, im Westen bzw. Südwesten ist das Steinfeld durch die Berge Rax, Schneeberg und Hohe Wand begrenzt. Gegen Nordosten, nördlich der Wiener Neustädter Pforte befindet sich das niedrige Leithagebirge.

**Eisenstadt:** geogr. Länge: 16° 32', geogr. Breite: 47° 51'

Die Klimastation Eisenstadt liegt am Südostabhang des Leithagebirges in 184m Seehöhe. Sie gehört zu den Vertretern des kontinentalen pannonischen Klimas mit heißen Sommern und (bedingt durch die geringe Seehöhe) mäßig kalten Wintern. Es gibt wenig Niederschlag und viel Sonne im Sommer. Im Winter ist die Sonnenscheindauer durch häufige beständige Hochnebellagen reduziert.

**Neusiedl am See:** geogr. Länge: 16° 51', geogr. Breite: 47° 57'

Die Klimastation Neusiedl am See liegt auf 135m Seehöhe am nördlichen Ufer des Neusiedler See zwischen dem Leithagebirge im Westen und der Parndorfer Platte. Die umliegende Umgebung der ~7000 EW zählenden Stadt ist geprägt durch die umgebenden Weingärten, und einigen Berghügeln wie dem Taborberg. Das Klima um den See ist geprägt vom kontinentalen panonischen Klima mit bis zu 300 Sonnentage im Jahr und Niederschlagssummen von unter 600 mm im Jahresmittel. Der See sorgt mit seiner temperatenausgleichenden Wirkung für milde Herbsttage. Die Gegend um den See gilt als windreich, mit der vorherrschenden Windrichtung aus Nordwest. In den Sommermonaten können auch Winde aus Südost bis Südwest häufig auftreten.

**Retz:** geogr. Länge: 15° 57', geogr. Breite: 48° 46'

Die Klimastation Retz befindet sich in 256m Seehöhe im nordwestlichen Niederösterreichischen Weinviertel. Die Gegend ist eine der trockensten Österreichs, die Sommer sind heiß und sonnenscheinreich, die Winter eher trüb und mäßig kalt, die Windgeschwindigkeiten sind über dem Österreichischen Durchschnitt.

## Eingelesene Datenfiles aller Stationen:

### Ozon-Datenfiles:

WienHoheWarte: AT900ZA0000700100hour.1-1-1991.31-12-2009  
Illmitz: AT0ILL10000700500hour.1-1-1990.31-12-2009  
Mistelbach: AT313010000700500hour.6-2-1990.31-12-2009  
Ternitz: AT315010000700100hour.1-1-1990.31-12-2009  
Pillersdorf: AT0PIL10000700500hour.27-2-1992.31-12-2009  
Bergern/Dstw: AT317010000700100hour.1-1-1990.31-12-2009  
Gänserndorf: AT304010000700100hour.1-3-1990.31-12-2009

### NO<sub>2</sub>-Datenfiles:

WienHoheWarte: AT900ZA0000800100hour.1-1-1988.31-12-2009  
Illmitz: AT0ILL10000800500hour.10-5-1994.31-12-2009  
Wolkersdorf: AT304030000800100hour.1-1-1990.31-12-2009  
Ternitz: AT315010000800100hour.1-1-1990.31-12-2002  
Pillersdorf: AT0PIL10000800500hour.1-1-1993.31-12-2009  
Bergern/Dstw: AT317010000800100hour.1-1-1990.31-12-2009  
Gänserndorf: AT304010000800100hour.1-1-1990.31-12-2009  
Payerbach: AT315020000800100hour.3-6-1993.31-12-2009  
Stixneusiedl: AT303020000800100hour.1-1-1990.31-12-2009

### Meteorologische Datenfiles:

Reichenau: 10510.txt  
Oberleis: 2415.txt  
Poysdorf: 2503.txt  
Hohenau: 2601.txt  
Jauerling: 3702.txt  
Krems: 3805.txt  
Wien Hohe Wartel: 5901.txt  
Wien Hohe Warte2: 5904.txt  
Gr Enzersdorf: 5972.txt  
Puchberg1: 7500.txt  
Puchberg2: 7505.txt  
Wr Neustadt: 7604.txt  
Eisenstadt: 7704.txt  
Neusiedl: 7906.txt  
Retz: 905.txt

## Anhang B: Programmmodule

### *read\_airbase\_O3.m*

Lieft die O<sub>3</sub>-Rohdaten (1990-2009) der ausgewählten AIRBASE-Stationen aus dem Unterverzeichniss AirBase\_AT\_v5\AirBase\_AT\_v5\_rawdata ein und speichert alle Daten im File *ab\_O3\_data.mat*.

### *read\_vdf\_O3.m*

Lieft die O<sub>3</sub>-Rohdaten des Jahres 2010 der ausgewählten AIRBASE-Stationen aus dem Unterverzeichniss UBA\vdf\_daten ein und speichert alle Daten im File *vdf\_O3\_data.mat*.

### *read\_airbase\_NO2.m*

Lieft die NO<sub>2</sub>-Rohdaten (1990-2009) der ausgewählten AIRBASE-Stationen aus dem Unterverzeichniss AirBase\_AT\_v5\AirBase\_AT\_v5\_rawdata ein und speichert alle Daten im File *ab\_NO2\_data.mat*.

### *read\_vdf\_NO2.m*

Lieft die NO<sub>2</sub>-Rohdaten des Jahres 2010 der ausgewählten AIRBASE-Stationen aus dem Unterverzeichniss UBA\vdf\_daten ein und speichert alle Daten im File *vdf\_NO2\_data.mat*.

### *read\_metdata.m*

Lieft die meteorologischen Daten (1990-2010) der ausgewählten Stationen aus dem Verzeichniss ZAMG ein, und speichert alle Daten in dem File *meteo\_data.mat*. In diesem File sind für die jeweiligen meteorologischen Parameter Untermatrizen definiert worden.

### *ozon.m*

Hauptprogramm für die statistischen Berechnungen und graphischen Ausgaben der Ozondaten. In dem Verzeichniss *Datenfiles* werden unter dem *Stationsnamen* die gesamten verifizierten und homogenisierten Ozondaten (1990-2010) gespeichert. Im Verzeichniss *Datenfiles/Statistiken* werden in dem File *Stationsnamen\_stat* die statistischen Werte über fehlende Daten und nicht zu berechnende Daten der Zeitserie gespeichert. Weiters kann man sich verschiedenen Grafiken wie Verteilungen der Mittelwerte oder Tagesmaxima ausgeben lassen, die gesammelt im Verzeichniss *Datenfiles/Grafiken* abgespeichert werden.

### *no2.m*

Hauptprogramm für die statistischen Berechnungen und graphischen Ausgaben der NO<sub>2</sub>-Daten. In dem Verzeichniss *Datenfiles* werden unter dem *Stationsnamen\_NO2* die gesamten verifizierten und homogenisierten NO<sub>2</sub>-Daten (1990-2010) gespeichert. Im Verzeichniss *Datenfiles/Statistiken* werden in dem File *Stationsnamen\_statNO2* die statistischen Werte über fehlende Daten und nicht zu berechnende Daten der Zeitserie gespeichert. Weiters kann man sich verschiedenen Grafiken wie Verteilungen der Mittelwerte oder Tagesmaxima ausgeben lassen, die gesammelt im Verzeichniss *Datenfiles/Grafiken* abgespeichert werden.

### *sddata.m*

Programm für die statistischen Berechnungen und graphischen Ausgaben der Sonnenschein-Daten. Im Verzeichniss *Datenfiles/Statistiken* werden in dem File *Stationsnamen\_sd\_stat* die statistischen Werte über fehlende Daten und nicht zu berechnende Werte der Zeitserie gespeichert. In dem File *sd\_data.mat* werden alle Stundenwerte, Tagessummen und Monatsmittel aller Stationen gespeichert. Weiters kann man sich verschiedenen Grafiken wie Verteilungen der Mittelwerte oder Tagessummen, etc. ausgeben lassen, die gesammelt im Verzeichniss *Datenfiles/Grafiken* abgespeichert werden.

### *gsdata.m*

Programm für die statistischen Berechnungen und graphischen Ausgaben der Daten der Globalstrahlung. Im Verzeichniss *Datenfiles/Statistiken* werden in dem File *Stationsnamen\_gs\_stat* die statistischen Werte über fehlende Daten und nicht zu berechnende Werte der Zeitserie gespeichert. In dem File *gs\_data.mat* werden alle Stundenwerte, Tagessummen und Monatsmittel aller Stationen gespeichert. Weiters kann man sich verschieden Grafiken wie Verteilungen der Mittelwerte oder Tagessummen, etc. ausgeben lassen, die gesammelt im Verzeichniss *Datenfiles/Grafiken* abgespeichert werden.

### *vvdata.m*

Programm für die statistischen Berechnungen und graphischen Ausgaben der Daten der Windgeschwindigkeit. Im Verzeichniss *Datenfiles/Statistiken* werden in dem File *Stationsnamen\_vv\_stat* die statistischen Werte über fehlende Daten und nicht zu berechnende Werte der Zeitserie gespeichert. In dem File *vv\_data.mat* werden alle Stundenmittel, Tagesmittel und –maxima, sowie Monatsmittel der Maxima aller Stationen gespeichert. Weiters kann man sich verschieden Grafiken wie Verteilungen der Mittelwerte oder Maxima, etc. ausgeben lassen, die gesammelt im Verzeichniss *Datenfiles/Grafiken* abgespeichert werden.

### *dddata.m*

Programm für die statistischen Berechnungen und graphischen Ausgaben der Daten der Windrichtung. Im Verzeichniss *Datenfiles/Statistiken* werden in dem File *Stationsnamen\_dd\_stat* die statistischen Werte über fehlende Daten und nicht zu berechnende Werte der Zeitserie gespeichert. In dem File *dd\_data.mat* werden alle Stundenmittel, Tages- und Monatssummen, sowie Periodensummen aller Stationen gespeichert. Weiters kann man sich verschieden Grafiken wie Verteilungen der Mittelwerte oder Tagessummen, etc. ausgeben lassen, die gesammelt im Verzeichniss *Datenfiles/Grafiken* abgespeichert werden.

### *ttdata.m*

Programm für die statistischen Berechnungen und graphischen Ausgaben der Daten der 2m-Temperatur. Im Verzeichniss *Datenfiles/Statistiken* werden in dem File *Stationsnamen\_tt\_stat* die statistischen Werte über fehlende Daten und nicht zu berechnende Werte der Zeitserie gespeichert. In dem File *tt\_data.mat* werden alle Stundenmittel und Tagesmittel aller Stationen gespeichert. Weiters kann man sich verschieden Grafiken wie Verteilungen der Mittelwerte oder Maxima, etc. ausgeben lassen, die gesammelt im Verzeichniss *Datenfiles/Grafiken* abgespeichert werden.

### *periode.m*

Programm für die Suche nach Perioden von hohen Ozonkonzentrationen über einen angegebenen Level. Im File *Datenfiles/Statistiken/perioden\_stat* werden die statistischen Werte über die Anzahl der Überschreitungen und deren Auftrittszeit gespeichert. Weiter werden 15-Tagesperioden aus den Zeitreihen ausgefiltert, in denen die hohen Konzentrationen auftreten. Dazu werden die jeweiligen meteorologischen Parameter und NO<sub>2</sub> in diesem Zeitraum analysiert. In dem File *Datenfiles/Statistiken/pero3\_stat* werden die 3Tages-Mittelwerte der letzten drei Tage vor einer Überschreitung gespeichert. In dem File *permat.mat* werden die Ozon- und NO<sub>2</sub>-Werte, sowie die meteorologischen Werte aller 15-Tagesperioden aller Stationen im gesamten Beobachtungszeitraum gespeichert. Für die Plotausgaben wurden noch Perzentil-Berechnungen einiger meteorologischen Parameter durchgeführt. Weiters kann man sich verschieden Grafiken aller Perioden aller Stationen ausgeben lassen, wo die O<sub>3</sub>-Periodenverläufe mit den jeweiligen Parametern dargestellt werden. Weiters kann man sich die Häufigkeitsverteilungen aller meteorologischer Parameter als Histogramm (Windrichtung als Rose-Plot) für die 15-Tages-, 3-Tages- und 1-Tag-Periode ausgeben lassen.

### *korrelation.m*

Programm für die Berechnung der Korrelationen von Ozon mit den jeweiligen NO<sub>2</sub>- und meteorologischen Parametern in unterschiedlichen Beobachtungszeiträumen. Es wird entweder über den ganzen Zeitraum, bzw. nur von April bis September, oder noch zusätzlich in ozonreiche und ozonarme Jahre, verglichen. In dem File *Datenfiles/Statistiken/korrelation\_stat* werden die unterschiedlichen Korrelationskoeffizienten in den unterschiedlichen Beobachtungszeiträumen für alle Stationen und alle Parameter gespeichert. Zusätzlich kann man sich die Ergebnisse graphisch ausgeben lassen, die gesammelt im Verzeichniss *Datenfiles/Grafiken* abgespeichert werden.

### *metper.m*

Programm für die Suche nach speziellen meteorologischen Zuständen (Input sind die 3-Tagesmittelwerte bei hohen O<sub>3</sub>-Konzentrationen) in den Zeitreihen für den individuellen meteorologischen Parameter. Diese Tagesdaten werden im File *Datenfiles/Statistiken/metper\_%parameter%\_stat* gespeichert. Gleichzeitig werden in einem File *vergleich\_stat* die Überschneidungstage, an denen auch hohe O<sub>3</sub>-Konzentrationen bei den jeweiligen Tagen für den jeweiligen Parameter auftraten, gespeichert. Zusätzlich werden in dem File *metord\_stat* die Daten nochmals nach der Höhe der O<sub>3</sub>-Konzentrationen geordnet mit den dazugehörigen meteorologischen Daten für jede Station ausgegeben. Die jeweiligen Grenzwerte für die meteorologischen Untersuchungen als auch der Ozonwert können im Programm verändert werden, damit eine individuelle Auswertung durchgeführt werden kann. Die Windrichtungsdaten werden zusätzlich als Häufigkeitsverteilung graphisch ausgegeben.

## **Anhang C: Programmausgaben von Daten und Grafiken**

### Ausgegebene Matlab-Matrizendatei:

#### *ab\_O3\_data.mat*

AIRBASE – Ozondaten (Stundenmittel) von 1990 – 2009 aller ausgewählten Stationen mit Stationsliste und Stationsnummern

#### *ab\_NO2\_data.mat*

AIRBASE – NO<sub>2</sub>-Daten (Stundenmittel) von 1990 – 2009 aller ausgewählten Stationen mit Stationsliste und Stationsnummern

#### *vdf\_O3\_data.mat*

Ozondaten (Stundenmittel) vom Jahr 2010 aller ausgewählten Stationen, mit Stationsnamen und Stationsnummern

#### *vdf\_NO2\_data.mat*

NO<sub>2</sub>-Daten (Stundenmittel) vom Jahr 2010 aller ausgewählten Stationen, mit Stationsnamen und Stationsnummern

#### *meteo\_data.mat*

Ausgewählte meteorologische Daten (Stundenmittel oder -summen) von der ZAMG, von 1990 – 2010. Jeder meteorologische Parameter separat in einer eigenen Matrize abgespeichert. Globalstrahlung (*gs\_data*), Sonnenscheindauer (*sd\_data*), Windgeschwindigkeit (*vv\_data*), Windrichtung (*dd\_data*) und Temperatur (*tt\_data*), mit Stationsliste der Stationsnamen

#### *O3\_data.mat*

Ozondaten von 1990 – 2010 in den Formaten Stundenmittel, Tagesmittel, Tagesmaximum und 8h Running Mean, sowie Stationsnummer und Stationsnamen

#### *NO2\_data.mat*

NO<sub>2</sub>-Daten von 1990 – 2010 in den Formaten Stundenmittel, Tagesmittel, Tagesmaximum und 8h Running Mean, sowie Stationsnummer und Stationsnamen

#### *sd\_data.mat, gs\_data.mat, vv\_data.mat, dd\_data.mat, tt\_data.mat*

Matrizen der meteorologischen Parameter:

Sonnenscheindauer (*sd\_data.mat*) in den Formaten Stundensummen, Tagessummen und Monatsmittel der Tagessummen

Globalstrahlung (*gs\_data.mat*) in den Formaten Stundensummen, Tagessummen und Monatsmittel der Tagessummen

Windgeschwindigkeit (*vv\_data.mat*) in den Formaten Stundenmittel, Tagesmittel, Tagesmaximum und Monatsmittel der Tagesmaxima

Windrichtung (*dd\_data.mat*) in den Formaten Stundenmittel, Tagessummen und Monatssummen der einzelnen Sektoren (8 Stück)

Temperatur (*tt\_data.mat*) in den Formaten Stundenmittel und Tagesmittel

#### *metper.mat*

Daten von meteorologischen Episoden der Sonnenscheindauer, Globalstrahlung und Windgeschwindigkeit in Kombination mit hohen Ozonkonzentrationen. Alle Daten von 3-Tages-Perioden meteorologischer Gegebenheiten aller Stationen.

#### *permat.mat*

Daten der 15-Tages-Perioden von hohen Ozonkonzentrationen mit allen Stundenwerten der meteorologischen und NO<sub>2</sub>-Daten. Weiter stehen in einer separaten Matrize (*highO3\_all*) sämtliche meteorologischen und chemischen Werte in Form von 3-Tages-Mittelwerten, bei Tagen mit hohen Ozonkonzentrationen, zur Verfügung.

## Ausgegebene Grafiken der Programmmodule:

### *Programmmodul ozon.m und no2.m*

Ausgabe1: (für jede Station einzeln ausgegeben)

- 1.Plot: Tages-, Monats- und Jahresmittelwerte der ganzen Periode
- 2.Plot: Dekadische- und Perioden-Monatsmittelwerte
- 3.Plot: 8h-Running Mean und Monatsmittel des 8h-RM
- 4.Plot: Dekadische- und Perioden- 8h-RM-Monatsmittel
- 5.Plot: Tagesmaxima, Monatsmittel der Tagesmaxima
- 6.Plot: Dekadische- und Perioden-Monatsmittelwerte der Tagesmaxima

Ausgabe2:

- 1.Plot: Dekadische- und Perioden-Monatsmittel der Tagesmaxima aller Stationen
- 2.Plot: Monatsmittel aller Stationen von Apr-Sep
- 3.Plot: Monatsmittel der Tagesmaxima aller Stationen von Apr-Sep
- 4.Plot: Jahresmittel aller Stationen
- 5.Plot: Jahresmittel der Tagesmaxima aller Stationen

Ausgabe3:

- 1.Plot: Monatsmittel aller Stationen für die Monate April bis September
- 2.Plot: Monatsmittel der Tagesmaxima aller Stationen für die Monate Apr-Sep

### *Programmmodul sddata.m (Sonnenscheindauer)*

Ausgabe1: (für jede Station einzeln ausgegeben)

- 1.Plot: Tagessummen, Monatsmittel und Jahresmittel der Tagessummen
- 2.Plot: Dekadische- und Perioden-Monatsmittelwerte der Tagessummen

Ausgabe2:

- 1.Plot: Monatssummen aller Stationen
- 2.Plot: Jahressummen aller Stationen

Ausgabe3:

- Plot: Monatsmittel der Tagessummen aller Stationen von Apr-Sep

Ausgabe4:

- Plot: Variabilität der Monatsmittel (Apr-Sep) aller Stationen über die ganze Periode

Ausgabe5:

- Plot: Monatsmittel aller Stationen für die Monate April bis September

### *Programmmodul gsdata.m (Globalstrahlung)*

Ausgabe1: (für jede Station einzeln ausgegeben)

- 1.Plot: Tagesmittel, Monatsmittel und Jahresmittel
- 2.Plot: Dekadische- und Perioden-Monatsmittelwerte

Ausgabe2:

- 1.Plot: Monatssummen aller Stationen
- 2.Plot: Jahressummen aller Stationen

Ausgabe3:

- Plot: Monatsmittel der 1h-Summen aller Stationen von Apr-Sep

Ausgabe4:

- Plot: Variabilität der Monatsmittel (Apr-Sep) aller Stationen über die ganze Periode

### *Programmmodul vvdata.m (Windgeschwindigkeit)*

Ausgabe1: (für jede Station einzeln ausgegeben)

1.Plot: Tagesmittel und Tagesmaxima

Ausgabe2:

1.Plot: Monatsmittel und Monatsmittel der Tagesmaxima aller Stationen

2.Plot: Dekadische Monatsmittel aller Stationen

3.Plot: Dekadische Monatsmittel der Tagesmaxima aller Stationen

Ausgabe3:

1.Plot: Monatsmaxima einzelner Stationen für die Monate April bis September

Ausgabe4:

1.Plot: Monatsmittel einzelner Stationen für die Monate April bis September

Ausgabe5:

1.Plot: Monatsmittel und -Maxima aller Stationen für die Monate April bis September

### *Programmmodul dddata.m (Windrichtung)*

Ausgabe1: (für jede Station einzeln ausgegeben)

1.Plot: Monatshäufigkeiten

2.Plot: Jahreshäufigkeiten

Ausgabe2:

Plot: Dekadische Monatshäufigkeiten aller Stationen

Ausgabe3:

Plot: Dekadisch gemittelten Tageshäufigkeiten aller Stationen

Ausgabe4: (für jede Station einzeln ausgegeben)

Plot: Relativen Häufigkeiten der Perioden Apr-Jun und Jul-Sep pro Dekade

Ausgabe5: (für jede Station einzeln ausgegeben)

Plot: Häufigkeitsverteilung über gesamte Periode im Rose-Plot

Ausgabe6:

Plot: Häufigkeitsverteilung über gesamte Periode

### *Programmmodul ttdata.m (Temperatur)*

Ausgabe1: (für jede Station einzeln ausgegeben)

1.Plot: Tagesmittel, Monatsmittel und Jahresmittel

2.Plot: Dekadische Monatsmittel

### *Programmmodul metper.m (Meteorologische Perioden)*

Ausgabe1:

1.Plot: Häufigkeitsverteilung der Windrichtung über die ganze Periode

2.Plot: Häufigkeitsverteilung der Windrichtung über die 3-Tages Perioden bei Tagen mit hohen O<sub>3</sub>-Konzentrationen.

Ausgabe2:

Plot: Datenverteilung der meteorologischen Parameter über die gesamte Periode

Ausgabe3:

1.Plot: Häufigkeitsverteilung der Perioden der Sonnenscheindauer mit Stationenwahl und Höhe der Sonnenscheindauer

2.Plot: Häufigkeitsverteilung der Perioden der Globalstrahlung mit Stationenwahl und Höhe der Globalstrahlung

3.Plot: Häufigkeitsverteilung der Perioden der Windgeschwindigkeit mit Stationenwahl und Höhe der Windgeschwindigkeit

### *Programmmodul periode.m (15-Tages Perioden)*

Ausgabe1: (alle Perioden gemeinsam für jede Station einzeln ausgegeben)

- 1.Plot: Ozon mit Sonnenscheindauer
- 2.Plot: Ozon mit Globalstrahlung
- 3.Plot: Ozon mit Windgeschwindigkeit
- 4.Plot: Ozon mit Windrichtung

Ausgabe2: (Perioden für jede Station einzeln ausgegeben)

- 1.Plot: Ozon mit Sonnenscheindauer
- 2.Plot: Ozon mit Globalstrahlung
- 3.Plot: Ozon mit Windgeschwindigkeit
- 4.Plot: Ozon mit Windrichtung

Ausgabe3: (Perioden für jede Station einzeln ausgegeben)

Plot: Ozon mit NO<sub>2</sub>-Stunden- und Tagesmittelwerten

Ausgabe4: (alle Perioden gemeinsam für jede Station einzeln ausgegeben)

Plot: Ozon mit NO<sub>2</sub>-Tagesmittelwerten und deren Perzentilen

Ausgabe5: (Perioden für jede Station einzeln ausgegeben)

Plot: Ozon mit Temperatur-Stunden- und Tagesmittelwerten

Ausgabe6: (wird für die jeweilige meteorologischen Stationen einzeln ausgegeben)

Plot: Häufigkeitsverteilungen der meteorologischen Parameter für die unterschiedlichen Zeitperioden (15 Tage, 3 Tage, 1 Tag).

### *Programmmodul korrelation.m (Korrelationen der Parameter)*

Ausgabe1: (für jede O<sub>3</sub>-Station einzeln ausgegeben)

- 1.Plot: Korrelation Ozon mit Sonnenscheindauer
- 2.Plot: Korrelation Ozon mit Globalstrahlung
- 3.Plot: Korrelation Ozon mit Temperatur
- 4.Plot: Korrelation Ozon mit Windgeschwindigkeit
- 5.Plot: Korrelation Ozon mit Windrichtung
- 6.Plot: Korrelation Ozon mit NO<sub>2</sub>

Ausgabe2:

Ist wie Ausgabe 1, nur das die Monate April – Juni und Juli – September separat korreliert werden.

Ausgabe3:

Ist wie Ausgabe 1, nur das man den Beobachtungszeitraum von 1990 – 2010 in ozonreichere und ozonarme Jahre trennt und sie dann erst korreliert.

Ausgabe4:

Ist wie Ausgabe 2, nur das man den Beobachtungszeitraum von 1990 – 2010 in ozonreichere und ozonarme Jahre trennt und die Zeitabschnitte danach korreliert.

Ausgabe5:

Plot: Datenverteilung der meteorologischen Parameter über die gesamte Periode

## Anhang D: Tabellen und Grafiken

**Tab.D1: Mittelwerte und Standardabweichungen der meteorologischen Parameter in den Zeitperioden von 1, 3 und 15 Tagen:**

MITTELWERTE und STANDARDABWEICHUNGEN der meteor. Parameter :  
1-TAGES-Analysen mit Untersuchungslevel von Ozon bei 180 µg/m<sup>3</sup>

MET-STATION	SD- MW	SD- STD	GS- MW	GS- STD	T- MW	T- STD	VV- MW	VV- STD	DD	DD- RH	DD	DD- RH	DD	DD- RH
	h/day	h/day	J/cm2	J/cm2	°C	°C	m/s	m/s	dir	%	dir	%	dir	%
Wien Hohe Warte	12,2	2,3	2377,0	335,1	24,7	2,4	1,9	0,6	O	24,2	W	20,4	NO	12,4
Eisenstadt	11,4	2,4	2258,4	351,5	24,3	2,8	2,5	0,7	N	33,3	NW	31,5	O	13,2
Neusiedl	13,1	1,2	2564,4	202,0	28,0	1,5	1,8	0,4	N	42,6	NW	13,1	NO	12,2
Oberleis	12,3	1,7	0	0	25,0	2,0	4,8	1,3	SO	26,7	S	26,3	N	12,4
Poysdorf	11,6	1,8	0	0	25,0	1,7	1,4	0,5	W	19,9	S	16,8	SW	13,6
Hohenau	12,8	1,5	2266,0	0	26,7	2,6	1,7	0,8	N	39,6	SO	17,7	NO	11,5
Reichenau	10,1	2,0	2153,6	312,6	21,3	4,9	1,2	0,4	NW	33,5	W	24,7	O	18,1
Puchberg	11,2	1,7	2298,1	235,2	21,3	4,9	1,1	0,4	W	48,6	O	11,1	NO	10,2
Wr Neustadt	11,7	2,2	2336,3	287,1	24,6	5,0	2,6	0,6	SW	30,6	NW	14,8	NO	11,6
Retz	12,2	1,5	2496,5	300,1	25,9	1,9	3,0	0,7	NO	26,1	SO	20,2	O	17,5
Jauerling	12,8	2,0	2591,3	352,4	20,3	3,1	3,9	1,0	O	40,1	NO	22,7	W	9,1
Krems	12,7	1,3	2512,9	313,4	23,1	3,4	1,3	0,3	O	29,7	W	15,7	SW	15,1
Gr Enzersdorf	11,3	2,4	2256,9	352,8	25,4	1,9	1,7	0,7	N	18,9	S	18,0	SO	15,4

MITTELWERTE und STANDARDABWEICHUNGEN der meteorologischen Parameter:  
1- TAGES-Analysen mit Untersuchungslevel von Ozon bei 160 µg/m<sup>3</sup>

MET-STATION	SD- MW	SD- STD	GS- MW	GS- STD	T- MW	T- STD	VV- MW	VV- STD	DD	DD- RH	DD	DD- RH	DD	DD- RH
	h/day	h/day	J/cm2	J/cm2	°C	°C	m/s	m/s	dir	%	dir	%	dir	%
Reichenau	10,1	2,2	2229,4	398,8	20,2	4,0	1,0	0,4	NW	29,3	W	21,6	O	20,2
Puchberg	10,7	2,0	2233,8	397,4	19,7	4,3	0,9	0,3	W	40,5	O	21,7	NO	11,0
Wr Neustadt	12	2,2	2398,4	381,3	23,1	4,7	2,3	0,6	SW	27,0	O	17,2	W	12,3

MITTELWERTE und STANDARDABWEICHUNGEN der meteor. Parameter:  
3- TAGES-Analysen mit Untersuchungslevel von Ozon bei 180 µg/m<sup>3</sup>

MET-STATION	SD- MW	SD- STD	GS- MW	GS- STD	T- MW	T- STD	VV- MW	VV- STD	DD	DD- RH	DD	DD- RH	DD	DD- RH
	h/day	h/day	J/cm2	J/cm2	°C	°C	m/s	m/s	dir	%	dir	%	dir	%
Wien Hohe Warte	12,5	1,5	2459,8	260,7	24,0	2,6	2,1	0,6	W	20,1	O	17,7	NW	14,1
Eisenstadt	11,8	1,8	2317,1	300,8	23,5	3,0	2,6	0,5	N	32,7	NW	28,3	O	14,5
Neusiedl	13,2	1,3	2616,8	193,7	27,6	1,5	2,1	0,5	N	38,4	NW	16,1	NO	10,9
Oberleis	13,0	1,3	0	0	24,2	2,1	4,8	1,2	SO	31,1	N	19,2	S	17,2
Poysdorf	12,3	1,3	0	0	24,1	2,1	1,5	0,4	W	19,9	NW	13,4	SW	12,8
Hohenau	13,7	1,2	2437,3	0	26,2	3,3	2,1	0,2	N	39,9	SO	26,4	S	11,8
Reichenau	10,6	1,6	2299,7	262,8	20,8	4,9	1,1	0,4	NW	29,1	W	25,0	O	18,2
Puchberg	11,6	1,6	2369,3	264,1	20,3	5,1	1,0	0,4	W	42,4	NO	15,4	O	14,8
Wr Neustadt	12,7	1,5	2493,4	214,4	23,6	5,2	2,7	0,6	SW	26,5	O	14,5	S	14,5
Retz	11,9	1,8	2492,2	289,7	24,6	2,4	3,0	0,6	NO	25,5	O	16,5	SO	15,8
Jauerling	12,0	2,0	2476,0	313,3	18,9	3,5	3,7	0,7	O	34,0	NO	19,6	W	13,1
Krems	12,1	1,5	2438,3	307,8	22,0	3,6	1,3	0,3	O	22,3	W	19,3	SW	16,2
Gr Enzersdorf	12,1	1,8	2385,5	295,9	24,7	2,1	1,8	0,7	N	22,1	SO	21,5	S	18,0

MITTELWERTE und STANDARDABWEICHUNGEN der meteorologischen Parameter:  
3- TAGES-Analysen mit Untersuchungslevel von Ozon bei 160 µg/m<sup>3</sup>

MET-STATION	SD- MW	SD- STD	GS- MW	GS- STD	T- MW	T- STD	VV- MW	VV- STD	DD	DD- RH	DD	DD- RH	DD	DD- RH
	h/day	h/day	J/cm2	J/cm2	°C	°C	m/s	m/s	dir	%	dir	%	dir	%
Reichenau	9,8	1,8	2210,7	320,0	19,7	4,4	1,1	0,4	NW	28,4	W	23,4	O	19,3
Puchberg	10,5	1,8	2216,9	313,4	19,1	4,5	0,9	0,3	W	38,7	O	18,4	NW	13,8
Wr Neustadt	11,9	1,8	2415,7	305,7	22,4	5,1	2,4	0,5	SW	24,9	O	13,7	NW	13,7

MITTELWERTE und STANDARDABWEICHUNGEN der meteor. Parameter:  
15- TAGES-Analysen mit Untersuchungslevel von Ozon bei 180 µg/m<sup>3</sup>

MET-STATION	SD- MW	SD- STD	GS- MW	GS- STD	T-MW	T-STD	VV- MW	VV- STD
	h/day	h/day	J/cm2	J/cm2	°C	°C	m/s	m/s
Wien Hohe Warte	10,3	3,9	2190,0	601,6	21,2	3,6	2,8	1,2
Eisenstadt	10,4	3,7	2166,0	527,7	21,5	3,5	3,1	1,1
Neusiedl	12,5	2,8	2575,4	418,9	24,1	3,5	2,3	0,9
Oberleis	10,0	4,0	0	0	20,3	3,9	5,5	1,9
Poysdorf	10,3	3,7	0	0	21,3	3,3	1,9	0,8
Hohenau	9,8	4,1	2022,2	481,6	21,7	4,3	2,2	0,9
Reichenau	7,8	3,7	1879,8	622,0	16,8	5,4	1,8	1,3
Puchberg	8,5	3,9	1882,8	640,3	16,4	5,6	1,5	1,0
Wr Neustadt	9,4	4,3	2043,9	626,0	19,2	6,0	3,2	1,4
Retz	10,0	3,9	2265,0	586,2	21,6	3,9	3,5	1,1
Jauerling	9,2	4,6	2030,7	728,8	15,2	5,5	4,0	1,3
Krems	9,3	4,0	2078,7	633,5	20,1	3,8	1,6	0,7
Gr Enzersdorf	10,0	3,9	2123,8	560,1	21,9	4,1	2,5	1,2

MITTELWERTE und STANDARDABWEICHUNGEN der meteor. Parameter:  
15- TAGES-Analysen mit Untersuchungslevel von Ozon bei 160 µg/m<sup>3</sup>

MET-STATION	SD- MW	SD- STD	GS- MW	GS- STD	T-MW	T-STD	VV- MW	VV- STD
	h/day	h/day	J/cm2	J/cm2	°C	°C	m/s	m/s
Wien Hohe Warte	9,6	4,2	2072,2	638,0	19,9	4,1	2,9	1,3
Eisenstadt	9,5	4,0	2014,0	580,3	18,5	5,0	3,2	1,1
Neusiedl	10,3	4,0	2224,7	627,6	20,0	4,8	2,4	0,8
Oberleis	9,9	4,1	2238,7	577,5	19,1	4,2	5,7	2,1
Poysdorf	10,0	3,9	2494,9	655,9	20,3	3,8	1,9	0,8
Hohenau	10,5	4,1	2195,9	498,2	21,1	4,9	2,0	1,0
Reichenau	7,8	3,5	1917,5	629,8	17,3	5,4	1,6	1,2
Puchberg	8,3	3,6	1912,0	623,5	16,8	5,5	1,3	0,8
Wr Neustadt	9,7	4,1	2123,2	636,7	19,2	6,2	3,0	1,2
Retz	9,4	4,1	2128,0	617,0	20,0	4,2	3,5	1,2
Jauerling	8,7	4,6	1925,7	757,5	14,3	5,3	4,0	1,3
Krems	8,8	4,1	1998,2	671,4	19,0	4,3	1,6	0,7
Gr Enzersdorf	9,9	4,0	2120,0	623,2	20,5	4,4	2,6	1,2

**Tab.D2: Anzahl meteorologischer Ereignisse aller Stationen:**

Station	d>160 µg/m <sup>3</sup>	SD>10 h/day	SD>9 h/day	SD>8 h/day	GS>2.2 kJ/cm <sup>2</sup>	GS>2.1 kJ/cm <sup>2</sup>	GS>2.0 kJ/cm <sup>2</sup>	VV<1 m/s	VV<2 m/s
Reichenau	49	25	30	40	24	30	34	22	47
Station	d>180 µg/m <sup>3</sup>	SD>12 h/day	SD>11 h/day	SD>10 h/day	GS>2.4 kJ/cm <sup>2</sup>	GS>2.3 kJ/cm <sup>2</sup>	GS>2.2 kJ/cm <sup>2</sup>	VV<5 m/s	VV<6 m/s
Oberleis	37 (20)	15	18	20	0	0	0	10	16
Station	d>180 µg/m <sup>3</sup>	SD>12 h/day	SD>11 h/day	SD>10 h/day	GS>2.4 kJ/cm <sup>2</sup>	GS>2.3 kJ/cm <sup>2</sup>	GS>2.2 kJ/cm <sup>2</sup>	VV<2 m/s	VV<3 m/s
Poysdorf	37 (33)	19	29	32	0	0	0	28	33
Station	d>180 µg/m <sup>3</sup>	SD>12 h/day	SD>11 h/day	SD>10 h/day	GS>2.4 kJ/cm <sup>2</sup>	GS>2.3 kJ/cm <sup>2</sup>	GS>2.2 kJ/cm <sup>2</sup>	VV<2 m/s	VV<3 m/s
Hohenau	37 (4)	4	4	4	1	1	1	1	4
Station	d>180 µg/m <sup>3</sup>	SD>12 h/day	SD>11 h/day	SD>10 h/day	GS>2.4 kJ/cm <sup>2</sup>	GS>2.3 kJ/cm <sup>2</sup>	GS>2.2 kJ/cm <sup>2</sup>	VV<4 m/s	VV<5 m/s
Jauerling	86 (64)	27	44	50	34	41	46	38	55
Station	d>180 µg/m <sup>3</sup>	SD>12 h/day	SD>11 h/day	SD>10 h/day	GS>2.4 kJ/cm <sup>2</sup>	GS>2.3 kJ/cm <sup>2</sup>	GS>2.2 kJ/cm <sup>2</sup>	VV<1 m/s	VV<2 m/s
Krems	86 (49)	27	37	45	28	35	37	4	47
Station	d>180 µg/m <sup>3</sup>	SD>13 h/day	SD>12 h/day	SD>11 h/day	GS>2.5 kJ/cm <sup>2</sup>	GS>2.4 kJ/cm <sup>2</sup>	GS>2.3 kJ/cm <sup>2</sup>	VV<2 m/s	VV<3 m/s
Hohe Warte	69	26	43	62	29	41	55	33	63
Station	d>180 µg/m <sup>3</sup>	SD>12 h/day	SD>11 h/day	SD>10 h/day	GS>2.4 kJ/cm <sup>2</sup>	GS>2.3 kJ/cm <sup>2</sup>	GS>2.2 kJ/cm <sup>2</sup>	VV<2 m/s	VV<3 m/s
Gr Enzersdorf	43	23	33	35	20	26	32	31	38
Station	d>160 µg/m <sup>3</sup>	SD>10 h/day	SD>9 h/day	SD>8 h/day	GS>2.2 kJ/cm <sup>2</sup>	GS>2.1 kJ/cm <sup>2</sup>	GS>2.0 kJ/cm <sup>2</sup>	VV<1 m/s	VV<2 m/s
Puchberg	49	27	40	45	25	30	39	35	49
Station	d>160 µg/m <sup>3</sup>	SD>12 h/day	SD>11 h/day	SD>10 h/day	GS>2.4 kJ/cm <sup>2</sup>	GS>2.3 kJ/cm <sup>2</sup>	GS>2.2 kJ/cm <sup>2</sup>	VV<3 m/s	VV<4 m/s
Wr Neustadt	49 (43)	25	31	38	20	27	34	39	42
Station	d>180 µg/m <sup>3</sup>	SD>11 h/day	SD>10 h/day	SD>9 h/day	GS>2.3 kJ/cm <sup>2</sup>	GS>2.2 kJ/cm <sup>2</sup>	GS>2.1 kJ/cm <sup>2</sup>	VV<3 m/s	VV<4 m/s
Eisenstadt	67 (56)	51	58	62	32	37	42	52	67
Station	d>180 µg/m <sup>3</sup>	SD>13 h/day	SD>12 h/day	SD>11 h/day	GS>2.5 kJ/cm <sup>2</sup>	GS>2.4 kJ/cm <sup>2</sup>	GS>2.3 kJ/cm <sup>2</sup>	VV<2 m/s	VV<3 m/s
Neusiedl	67 (14)	9	10	13	9	11	13	8	12
Station	d>180 µg/m <sup>3</sup>	SD>12 h/day	SD>11 h/day	SD>10 h/day	GS>2.4 kJ/cm <sup>2</sup>	GS>2.3 kJ/cm <sup>2</sup>	GS>2.2 kJ/cm <sup>2</sup>	VV<3 m/s	VV<4 m/s
Retz	43 (35)	20	27	30	21	25	29	19	33

## Anhang D3.: Verzeichniss der Abbildungen:

- Abb. 2.1: Schema der Ozonbildung bei ungestörter solarer Einstrahlung und ausreichenden Konzentrationen von Vorläufersubstanzen
- Abb. 2.2: Schema des photochemischen Abbaus von VOC und CO
- Abb. 2.3: Höhenabhängigkeit in der die UV-Strahlung unterschiedlicher Wellenlängen vordringen kann
- Abb. 2.4: Absorptionsbanden der wichtigsten Spurengase der Atmosphäre
- Abb. 2.5: Richtung und Zenitwinkel der scheinbaren Position der Sonne am Himmelsgewölbe
- Abb. 3.1: Übersicht über das Messgebiet mit den ausgewählten Stationen
- Abb.4.1: Ozonvariabilität der Station Gänserndorf
- Abb. 4.2: Anzahl der Stundenwerte und Tage von hohen Ozonkonzentrationen
- Abb. 4.3: Verlauf der Ozonkonzentration der Station Gänserndorf und Sonnenscheindauer der meteorologischen Station Gr. Enzersdorf im Zeitraum 14.6. – 28.6.2000
- Abb. 4.4: Verlauf der Ozonkonzentration der Station Illmitz und Sonnenscheindauer der meteorologischen Stationen Eisenstadt und Neusiedl im Zeitraum 14.7. – 28.7.2006
- Abb. 4.5: Verlauf aller Perioden der Ozonkonzentration der Station Illmitz und Sonnenscheindauer der meteorologischen Stationen Eisenstadt und Neusiedl
- Abb. 4.6: Verlauf der Ozonkonzentration der Station Bergern/Dunkelsteinerwald und Globalstrahlung der meteorologischen Stationen Jauerling und Krems im Zeitraum 13.4. – 27.4.1996
- Abb. 4.7: Verlauf der Ozonkonzentration der Station Pillersdorf und Globalstrahlung der meteorologischen Station Retz im Zeitraum 20.5. – 3.6.2005
- Abb. 4.8: Verlauf aller Perioden der Ozonkonzentration der Station Bergern / Dunkelsteinerwald und Globalstrahlung mit den meteorologischen Stationen Jauerling und Krems
- Abb. 4.9: Verlauf aller Perioden der Ozonkonzentration der Station Pillersdorf und Globalstrahlung der meteorologischen Station Retz
- Abb. 4.10: Verlauf der Ozonkonzentration und Wingschwindigkeit der Station Hohe Warte im Zeitraum 15.6. – 29.6.2000
- Abb. 4.11: Verlauf der Ozonkonzentration der Station Ternitz und Windgeschwindigkeit der meteor. Stationen Reichenau, Puchberg und Wr.Neustadt im Zeitraum 6.7. – 20.7.2006
- Abb. 4.12: Verlauf aller Perioden der Ozonkonzentration und Windgeschwindigkeiten der Station Wien Hohe Warte
- Abb. 4.13: Häufigkeitsverteilungen der Windrichtung der meteorologischen Stationen Oberleis, Poysdorf und Hohenau als Rose-Plot
- Abb. 4.14: Verlauf der Ozonkonzentration der Station Mistelbach und Windrichtung der meteor. Stationen Oberleis, Poysdorf und Hohenau im Zeitraum 31.7. – 14.8.2007
- Abb. 4.15: Verlauf der Ozonkonzentration der Station Bergern / Dunkelsteinerwald und Windrichtung der meteorologischen Stationen Jauerling und Krems im Zeitraum 13.4. – 27.4.1996
- Abb. 4.16: Verlauf aller Perioden der Ozonkonzentration der Station Bergern / Dunkelsteinerwald und Windrichtung mit der meteorologischen Stationen Jauerling
- Abb. 4.17: Verlauf aller Perioden der Ozonkonzentration der Station Bergern /Dunkelsteinerwald und Windrichtung der meteorologischen Stationen Krems
- Abb. 4.18: Verlauf der Ozon- und NO<sub>2</sub>-Konzentration der Station Wien Hohe Warte im Zeitraum 23.5. – 6.6.1999
- Abb. 4.19: Verlauf der Ozon- und NO<sub>2</sub>-Konzentration der Station Pillersdorf im Zeitraum 19.7. – 2.8.1994
- Abb. 4.20: Verlauf aller Ozonkonzentrationen und NO<sub>2</sub>-Konzentrationen der Station Wien Hohe Warte
- Abb. 4.21: 15 tägige Periode der Ozonstation Bergern mit den meteorologischen Stationen Jauerling und Krems im Zeitraum 26.8.-9.9.1997
- Abb. 4.22: Häufigkeitsverteilungen der Sonnenscheindauer der Stationen Jauerling und Krems in den Zeitperioden von 15 Tagen (o.Bild), 3 Tagen (mi.Bild) und 1Tag (u.Bild)
- Abb. 4.23: Häufigkeitsverteilungen der Globalstrahlung der Stationen Jauerling und Krems in den Zeitperioden von 15 Tagen (o.Bild), 3 Tagen (mi.Bild) und 1Tag (u.Bild)
- Abb. 4.24: Häufigkeitsverteilungen der Windgeschwindigkeiten der Stationen Jauerling und Krems in den Zeitperioden von 15 Tagen (o.Bild), 3 Tagen (mi.Bild) und 1Tag (u.Bild)

- Abb. 4.25: Häufigkeitsverteilungen der Windrichtung der Stationen Jauerling und Krems in den Zeitperioden von 15 Tagen (o.Bild), 3 Tagen (mi.Bild) und 3 Tagen von 6 bis 21h (u.Bild)
- Abb. 4.26: 15 tägige Periode der Messstation Wien Hohe Warte im Zeitraum 15.6.- 29.6.2000
- Abb. 4.27: NO<sub>2</sub>-Konzentrationen der Messstation Wien Hohe Warte im Zeitraum 15.6.- 29.6.2000
- Abb. 4.28: Häufigkeitsverteilungen der Sonnenscheindauer der Station Wien Hohe Warte in den Zeitperioden von 3 Tagen (o.Bild) und 1Tag (u.Bild)
- Abb. 4.29.: Häufigkeitsverteilungen der Globalstrahlung der Station Wien Hohe Warte in den Zeitperioden von 3 Tagen (o.Bild) und 1Tag (u.Bild)
- Abb. 4.30: Häufigkeitsverteilungen der Windgeschwindigkeit der Station Wien Hohe Warte in den Zeitperioden von 3 Tagen (o.Bild) und 1Tag (u.Bild)
- Abb. 4.31: Häufigkeitsverteilungen der Windrichtung der Station Wien Hohe Warte in den Zeitperioden von 15 Tagen (o.Bild), 3 Tagen (mi.Bild) und einem Tag von 6 bis 21h (u.Bild)
- Abb. 4.32: Häufigkeitsverteilungen der Windrichtungen der meteorologischen Stationen Hohenau, Oberleis und Poysdorf
- Abb. 4.33: 15 tägige Periode der O<sub>3</sub>-Messstation Illmitz im Zeitraum 14.7.- 28.7.2006 mit den meteorologischen Verläufen der Stationen Eisenstadt und Neusiedl
- Abb. 4.34: NO<sub>2</sub>-Konzentrationen der Messstationen Illmitz und Stixneusiedl im Zeitraum 14.7.- 28.7.2006
- Abb. 4.35.: Häufigkeitsverteilungen der Sonnenscheindauer der Stationen Eisenstadt und Neusiedl in den Zeitperioden von 15 Tagen (o.Bild) und 1Tag (u.Bild)
- Abb. 4.36.: Häufigkeitsverteilungen der Globalstrahlung der Stationen Eisenstadt und Neusiedl in den Zeitperioden von 3 Tagen (o.Bild) und 1Tag (u.Bild)
- Abb. 4.37: Häufigkeitsverteilungen der Windgeschwindigkeit der Stationen Eisenstadt und Neusiedl in den Zeitperioden von 15 Tagen (o.Bild) und 1Tag (u.Bild)
- Abb. 4.38: Häufigkeitsverteilungen der Windrichtungen der Stationen Eisenstadt und Neusiedl in den Zeitperioden von 3 Tagen (o.Bild) und einem Tag von 6 - 21h (u.Bild)
- Abb. 4.39: Häufigkeitsverteilungen der Windrichtungen aller meteor. Stationen von April – September in der Zeitperiode von einem Tag von 6 - 21h ohne und mit Ozonlevel (160/180µg/m<sup>3</sup>)
- Abb. 4.40: Korrelationen der Daten der Station Pillersdorf und der meteorologischen Station Retz über den Zeitraum 1994 – 2010
- Abb. 4.41: NO<sub>2</sub>-Korrelation der Station Wien Hohe Warte im Zeitraum 1990 - 2010
- Abb. 4.42: Korrelationen der Sonnenscheindauer, Globalstrahlung und Temperatur der meteorologischen Station Retz und der Ozontagesmaxima der Station Pillersdorf über den Zeitraum 1994 – 2010 in den Perioden April - Juni und Juli - September
- Abb. 4.43: Korrelationen der Windgeschwindigkeit, Windrichtung und NO<sub>2</sub>-Konzentration der Stationen Retz und Pillersdorf mit den Ozontagesmaxima der Station Pillersdorf über den Zeitraum 1994 – 2010 in den Perioden April - Juni und Juli - September
- Abb. 4.44: Korrelationen der Sonnenscheindauer, Globalstrahlung und Temperatur der meteorologischen Station Retz und der Ozontagesmaxima der Station Pillersdorf über den Zeitraum 1994 – 2010 in den Perioden April - Juni und Juli – September bei ozonreichen und –armen Jahren.
- Abb. 4.45: Korrelationen der Windgeschwindigkeit, Windrichtung und NO<sub>2</sub>-Konzentration der Stationen Retz und Pillersdorf mit den Ozontagesmaxima der Station Pillersdorf über den Zeitraum 1994 – 2010 in den Perioden April - Juni und Juli – September bei ozonreichen und –armen Jahren.
- Abb. 4.46: Ozon-Monatsmittelverteilung der Station Gänserndorf in der Periode 1990-2010
- Abb. 4.47: Gemittelte Ozon-Maximaverteilung der Station Gänserndorf in der Periode 1990-2010
- Abb. 4.48: Dekadische und Periodische Monatsmittel der Stundenmittel und Tagesmaxima aller Stationen in der Periode 1990-2010
- Abb. 4.49: Verlauf der Monatsmittel der Stundenmittel (rot) und Tagesmaxima (blau) für die Monate April (oben) und August (unten)
- Abb. 4.50: Monats- und Jahressummen der Sonnenscheindauer aller Stationen (1990 – 2010)
- Abb. 4.51: Jahresmittel der Tagesmaxima der Ozonkonzentrationen von allen Stationen (1990 – 2010)
- Abb. 4.52: Dekadische Monatsmittel und Periodenmittel von Tagessummen der Sonnenscheindauer der Station Groß Enzersdorf
- Abb. 4.53: Monatsmittel der Tagessummen der Sonnenscheindauer und der Tagesmaxima der O<sub>3</sub>-Konzentrationen aller Stationen in den Monaten April bis September

- Abb. 4.54: Jahressummen der Globalstrahlung aller Stationen (1990 – 2010)
- Abb. 4.55: Dekadische Monatsmittel und Periodenmittel von Stundensummen der Globalstrahlung der Station Groß Enzersdorf
- Abb. 4.56: Monatsmittel der Tagessummen der Globalstrahlung und der Tagesmaxima der O<sub>3</sub>-Konzentrationen aller Stationen in den Monaten April und Juni
- Abb. 4.57: Verteilungen der Monatsmittel und gemittelten Tagesmaxima der Windgeschwindigkeit der Station Eisenstadt im Zeitraum 1990 – 2010
- Abb. 4.58: Monatsmittel der Windgeschwindigkeit des Monats Juli aller Station von 1990 – 2010
- Abb. 4.59: Verteilung der Windrichtungen an der Station Hohe Warte an ozonreichen Tagen und Jahressummen der 4 Hauptwindrichtungen von April - September in der Zeit von 6h – 21h
- Abb. 4.60: Dekadische monatliche (o.Bild) und jahreszeitliche (u. Bild) Verteilungen des relativen Anteils der Windrichtungen an der Station Hohe Warte in der Zeit von 6h – 21h
- Abb. 4.61: NO<sub>2</sub>-Konzentrationen an der Station Hohe Warte im Zeitraum 1990 – 2010
- Abb. 4.62: Jahresmittel der NO<sub>2</sub>-Konzentrationen aller Stationen von 1990-2010

## Anhang D4: Verzeichniss der Tabellen

- Tab. 3.1: Meteorologische Stationsliste mit der Messreihendauer der einzelnen Parameter
- Tab. 4.1: Anzahl der Stundenwerte und Tage von hohen Ozonkonzentrationen
- Tab. 4.2: Anzahl der Tage pro Jahr mit O<sub>3</sub>-Konzentrationen über 180(160) µg/m<sup>3</sup>
- Tab. 4.3: Häufigkeiten von 15-Tages-Perioden hoher Ozonkonzentrationen
- Tab. 4.4: Mittelwerte und Standardabweichungen des Parameters Sonnenscheindauer aller 15- / 3- und 1-tägigen Perioden der Stationen Jauerling und Krems
- Tab. 4.5: Mittelwerte und Standardabweichungen des Parameters Globalstrahlung aller 15- / 3- und 1-tägigen Perioden der Stationen Jauerling und Krems
- Tab. 4.6: Mittelwerte und Standardabweichungen des Parameters Windgeschwindigkeit aller 15- / 3- und 1-tägigen Perioden der Stationen Jauerling und Krems
- Tab. 4.7: Relative Häufigkeiten der 3 Hauptwindrichtungen der Stationen Jauerling und Krems bei Ozonüberschreitungen der Station Bergern, in einem Zeitfenster von einem Tag in der Zeit von 6h-21h
- Tab. 4.8: Relative Häufigkeiten der 3 Hauptwindrichtungen an den Stationen Eisenstadt und Neusiedl in den Zeitperioden von 3 Tagen und einen Tag in der Zeit von 6h – 21h
- Tab. 4.9: 3-Tages-Mittelwerte und –Standardabweichungen der Stationen Jauerling und Krems der meteor. Parameter Sonnenscheindauer, Globalstrahlung, Temperatur u. Windgeschwindigkeit
- Tab. 4.10: Anzahl der Ereignisse meteorologischer 3-Tages-Mittelwerte von Sonnenscheindauer, Globalstrahlung und Windgeschwindigkeiten der Stationen Jauerling und Krems
- Tab. 4.11: Relative Häufigkeiten der 3 Hauptwindrichtungen an den Stationen Krems und Jauerling in der Zeit von 6-21h ohne und mit Ozonuntersuchungslevel von 180 µg/m<sup>3</sup>
- Tab. 4.12: 3-Tages-Mittelwerte und –Standardabweichungen der meteor. Parameter Sonnenscheindauer, Globalstrahlung, Temperatur u. Windgeschwindigkeit der Station Wien Hohe Warte
- Tab. 4.13: Anzahl der Ereignisse meteorologischer 3-Tages-Mittelwerte von Sonnenscheindauer, Globalstrahlung und Windgeschwindigkeiten der Station Wien Hohe Warte
- Tab. 4.14: Relative Häufigkeiten der 3 Hauptwindrichtungen an den Station Wien Hohe Warte in der Zeit von 6-21h ohne und mit Ozonuntersuchungslevel von 180 µg/m<sup>3</sup>
- Tab. 4.15: Häufigkeiten der Windrichtungen der meteor. Stationen Eisenstadt, Wien Hohe Warte und Krems im Teitraum von April bis September in der Zeitperiode von einem Tag von 6 - 21h ohne und mit Ozonlevel (160/180µg/m<sup>3</sup>) sowie die relative Häufigkeit jeder Richtung und der Summe
- Tab. 4.16: Korrelationsfaktoren aller O<sub>3</sub>-Konzentrationen mit den Parametern der meteorologischen Stationen über den Zeitraum 1990 - 2010
- Tab. 4.17: Durchschnitt der Korrelationsfaktoren aller Stationen über den kompletten Datensatz und in den Zeitperioden April – Juni (AMJ) und Juli bis August (JJA)

## 7 Literaturverzeichnis

Seinfeld J.H., 1986: Atmospheric chemistry and physics of air pollution, John Wiley & Sons, Canada

Graedel, T. E. und Crutzen, P. J., 1993: Chemie der Atmosphäre, Spektrum, Heidelberg

Roedel, W., 2000: Physik unserer Umwelt, die Atmosphäre, Springer, Berlin

Bergmann, L., Schäfer, C., Lehrbuch der Experimentalphysik, Erde und Planeten, Band 7, Walter des Gruy`ere, Berlin

Wallace, J.M. and Hobbs, P. V., 2006: Atmospheric Science, an Introductory Survey, Academic Press

Gass, I. G., 1971: Understanding the Earth, Artemis Press, Sussex

Mayer D., 2009: Allgemeine Meteorologie 1, VL-Skriptum, Wien

Hammer M.U., 2001: Photochemische Indikatoren zur Charakterisierung der Oxidantienbildung bei Hochdruckwetterlagen, Dissertationsarbeit, Kirchheim am Neckar

Rieder H.E. et al, 2008: Reconstruction of erythemal UV-doses for two stations in Austria: a comparison between alpine and urban regions, Atmos. Chem. Phys., 8, 6309–6323, EU

Schneider J., UBA, 2012: Klimaschutzbericht 2012, Rep-0391, Wien

Pazdernik K., UBA, 2012: Emissionstrends 1990-2010, Rep-0393, Wien

Spangl W., UBA:

Luftgütemessungen und meteorologische Messungen, Rep-0325, Wien 2011

Luftgütemessstellen in Österreich, Rep-0263, Wien 2010

Jahresbericht der Luftgütemessungen in Österreich 2010, Rep-0326, Wien 2011

Michael Anderl, UBA:

Austria's annual air emission inventory 1990-2010, Rep-0358, Vienna 2011

EEA, Technical Report, No 7/2009

Assessment of ground-level ozone in EEA member countries, with a focus on long-term trends, ISSN 1725-2237

Ernst-Peter Röth, Umweltchemie der Luft, VO-Skript, Duisburg-Essen 2000

BOKU – Wien, Institut für Meteorologie und Physik

Vertical ozone transport in the Alps I + II, Final Reports, Vienna 1998 und 2000

# Cirriculum vitae

Name Beil Peter  
Geburtsdatum 6.11.1965  
Geburtsort Wien  
Staatsbürgerschaft Österreich

## Schulische Ausbildung

1971 – 1975 Volksschule Wien 3  
1975 – 1979 Hauptschule Wien 3  
1979 – 1985 Höhere Technische Lehranstalt Wien 10  
Fachrichtung: Elektrotechnik und Elektronik  
1985 – 1986 Ableistung des österreichischen Bundesheerdienstes  
1986 – 1987 Studium der Betriebswirtschaftslehre, Universität Wien  
2004 – 2013 Studium der Meteorologie, Universität Wien

## Berufserfahrung

06/86 – 07/86 Fa. Siemens, EDV - Systemprogrammierer, Assembler  
08/86 – 08/88 Fa. Rosenberger  
Techniker für Alarm- und Sicherheitsanlagen  
09/88 – 08/93 Fa. Blazek (EDV-Systeme für Architektur)  
Hard- und Softwaretechniker  
Kundenbetreuung und Schulung  
02/09 – 07/10 Tutorium Feldpraktikum, Universität Wien  
Institut für Meteorologie und Geophysik

*Peter Beil*