

Messbericht

der Messkampagne

Nanopartikel in Salzburg Stadt und Umland

Sommer- und Wintererhebung

Messkampagne durchgeführt und ausgewertet von
KWASNY, F. und MADL P.
unter Leitung von Prof. HOFMANN W.

1. Zusammenfassung

Die Messkampagne zur Erhebung des Nanopartikel-Spektrums zwischen 5,5 bis 350,4 nm, bzw. 11,1 bis 1083,3 nm wurde mittels eines SMPS an zwei städtischen, zwei ländlichen Messorten sowie an der A10 TAB im Land Salzburg durchgeführt. Zum jahreszeitlichen Vergleich wurden Sommer- und Wintermessungen gemacht.

An den verschiedenen Standorten zeigen sich Wochen- und Tagesrhythmen der jeweils vorliegenden Partikelkonzentrationen, die an den stark befahrenen Standorten entsprechend deutlicher ausfallen. An der A10 ist der Konzentrationsabfall an Wochenenden besonders ausgeprägt, was sich bei gemeinsamer Betrachtung der Verkehrsdaten größtenteils auf das Wochenendfahrverbot für LKW zurückführen lässt.

Bei den erfassten Umweltdaten spielen vor allem die Stickoxidwerte sowie der Wind eine Rolle. Im Kurvenverlauf zeigen sich Windgeschwindigkeit und Partikelkonzentration oft gegenläufig, je nach Richtung trägt der Wind zum Partikeleintrag bei oder reduziert ihn. Eine Korrelation von Stickoxiden (NO_x und NO_2) mit dem gemessenen Partikelinventar ist bei allen Messungen erkennbar. Da diese Umweltdaten besser korrelieren als mit jenen der PM_{10} Erfassung, sollten sie eher als Anzeiger für die zu erwartende Partikelkonzentrationen genutzt werden.

2. Einleitung

Dieser Bericht enthält die erhobenen Daten einer Messkampagne in der Stadt und im Umland von Salzburg im Sommer 2007, sowie eine Vergleichsmessung im Winter 2008. Ziel der Untersuchung war eine Bestandsaufnahme des Nanopartikel-Spektrums an ausgewählten Standorten, deren Darstellung als Tagesgänge sowie die Bezugsetzung mit weiteren ausgewählten Umweltfaktoren.

3. Messverfahren

Die Untersuchung wurde mit einem Scanning Mobility Partiale Sizer (SMPS) der Firma Grimm durchgeführt¹. Das Messspektrum der Standorte (SO) 1 - 4 beträgt 11,1 nm – 1083,3 nm durch Messung mit der grossen Säule (DMA, Dynamic Mobility Analyzer), am Standort 5, Tauernautobahn A10 wurde mit der mittleren Säule gemessen und somit ein Partikelspektrum zwischen 5,5 nm – 350,4 nm erfasst.

An den SO 1, 2, 3 und 5 wurde im Sommer 2007 sowie im Winter 2008 gemessen, am SO 4 (Hallein-Winterstall) wurde auf eine Vergleichsmessung während der Wintermonate verzichtet (zusammengefasst in Tabelle 1).

Die Auswahl der SO richtete sich nach den vorhandenen Messstationen der Landesregierung (LR), um durch die zeitgleich erhobenen Klima- und Umweltdaten vergleichbare Messbedingungen zu erreichen. An allen SO wurde die Messausrüstung in den Messcontainer der LR eingestellt. Die Probenahme erfolgte mittels elektrostatisch geerdeter Sonde (Zufuhr der Außenluft über einen elektrisch leitfähigen Kunststoff-Schlauch).

Standort (SO)	Messspektrum in [nm]	
1) Lehen	11,1 – 1083,3	
2) Rudolfsplatz	11,1 – 1083,3	
3) Haunsberg	11,1 – 1083,3	
4) Hallein-Winterstall	11,1 – 1083,3	
5) Autobahn A10 bei Ausfahrt Hallein	5,5 – 350,4	
	Messzeitraum ['07 / '08]	
1) Lehen	14.-19. Juli	10. – 13. Jan.
2) Rudolfsplatz	21. – 26. Juli	03. – 08. Jan. 16. – 19. Feb.
3) Haunsberg	28. – 30. Juli	16. – 19. Jan.
4) Hallein-Winterstall	01. – 05. Aug.	-
5) Autobahn A10 bei Ausfahrt Hallein	15. – 26. Aug	15. – 20. Jan.

Tab. 1: Tabellarisch die 5 Standorte (SO) welche an folgenden Tagen beprobt wurden:

Umweltdaten:

Verschiedene Umweltparameter (Temperatur, Luftfeuchte, NO₂, NO_x usw.) wurden zeitgleich an den SO erfasst. Diese Daten wurden von der LR übernommen und in der Auswertung berücksichtigt. Da die Umweltparameter der Messstationen als Halbstunden-Mittelwerte ausgegeben wurden, sind auch die SMPS-Spektren dem

¹ In folgende Grössenklassen aufgeteilt:

11-1083nm: 11.1, 12.1, 13.2, 14.5, 15.8, 17.3, 18.9, 20.6, 22.6, 24.7, 27.0, 29.6, 32.4, 35.5, 38.9, 42.6, 46.8, 51.3, 56.4, 62, 68.2, 75.1, 82.8, 91.5, 101.1, 111.9, 124.1, 137.8, 153.4, 171.1, 191.3, 214.4, 241.0, 271.8, 307.4, 348.9, 397.4, 454.3, 521.0, 599.5, 692.1, 801.4, 930.5, 1083.3 nm.

5.5-350nm: 5.5, 6.0, 6.6, 7.2, 7.8, 8.5, 9.3, 10.2, 11.1, 12.1, 13.3, 14.5, 15.8, 17.3, 18.9, 20.7, 22.6, 24.7, 27.1, 29.6, 32.5, 35.6, 39.0, 42.7, 46.9, 51.5, 56.6, 62.2, 68.4, 75.4, 83.1, 91.8, 101.4, 112.3, 124.5, 138.3, 153.9, 171.7, 192.0, 215.2, 242.0, 272.9, 308.7, 350.4 nm.

angegeben und als Halbstunden-Mittelwerte dargestellt. Diese Werte sind in Tagesgängen von 0 – 24 Uhr dargestellt, Angaben in MEZ (astronomisch).

Datendarstellung:

- Die gemessenen Partikelkonzentrationen aufgeschlüsselt über den Messbereich sind zur Vergleichbarkeit in normierter Form dargestellt [dN/dln(dp)].
- Die Mittelwerte der Tageskonzentrationen gehen auf die absolut gemessenen Partikelanzahlen zurück [N/cm³].
- Zur Berechnung der Tages-Mittelwerte wurden nur vollständige Messtage (00-24h) herangezogen (angeschnittene Messtage wurden ausgeklammert).
- Bei den zusammenhängenden Tagesgängen wurde zur besseren Übersicht einige der dargestellten Parameter (PM₁₀, Partikelanzahl, etc.) mit einem Faktor multipliziert. Dies erlaubt eine bessere optische Vergleichbarkeit zwischen den Verlaufskurven.

4. Ergebnisse

Mesoklimatische Beschreibung:

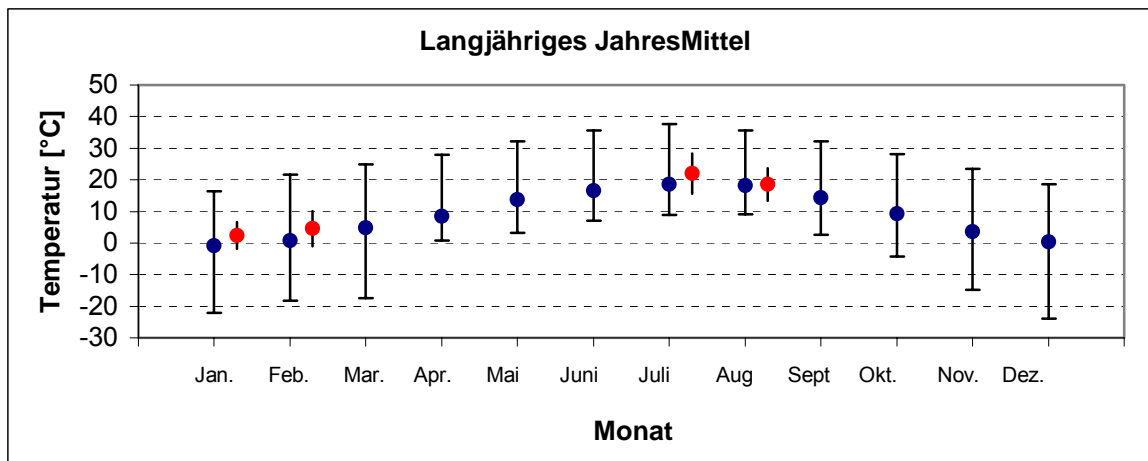
Temperatur und Luftfeuchte sind im Messzeitraum pro SO innerhalb der Tages- / Nacht-Rhythmen relativ konstant (siehe Tabelle 2). Sie wurden deshalb nicht in den Wochendiagrammen der einzelnen SO integriert – Ausnahme bilden jene Winter-SO in welchen starke Schwankungen durch besondere Wetterlagen zu beobachten waren, wie dies während der zweiten Wintermessung am Rudolfsplatz der Fall war.

Messort	Temperatur [°C]		Rel. Luftfeuchte [%]	
	Wochendurchschnitt (SD)		Wochendurchschnitt (SD)	
	Sommer	Winter	Sommer	Winter
Rudolfsplatz	25,7 (5,1)	0,4 (4,3) & 1,6 (4,5)	54,6 (17,2)	75,1 (12,3) & 57,8 (18,6)
Lehen	21,5 (4,6)	5,8 (7,2)	64,2 (15,2)	73,3 (16,7)
Haunsberg	13,5 (4,2)	2,5 (2,1)	75,8 (4,0)	75,3 (12,4)
Hallein/Winterstall	16,8 (4,0)	- (-)	67,3 (15,0)	- (-)
TAB A10	18,2 (4,2)	2,8 (3,0)	79,2 (4,8)	76,9 (16,8)

Tabelle 2: Durchschnittswerte von Temperatur- und Rel. Feuchte; alle SO mit Standardabweichung (SD).

Laut langjähriger Klimadaten der ZAMG² sollte das Temperatur-Tagesmittel im Monat Jänner 2008 bei -0.8°C liegen und zum Monat Februar auf +0.7°C ansteigen. Demgegenüber sollten die Mittelwerte der Temperatur in den Monaten Juli-August sich bei 18.6-18.3°C einpendeln.

² http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm



Grafik 1: Langjähriges Temperatur-Jahresmittel laut ZAMG. Werte in [°C].
Durchschnittswerte der Jahre 1971 – 2000.

Rot eingetragene Werte entsprechen den tatsächlich erhobenen Messwerten während der Messmonate

Klimatische Anmerkungen zum Messzeitraum Juli-August 2007³: Die seit September 2006 ununterbrochene Folge übernormal warmer Monate neigte sich während der Messperiode im Juli dem Ende zu. Das August-Monatsmittel der Lufttemperatur lag hingegen nur knapp unter oder weniger als 0,5 °C über dem langjährigen Durchschnitt (Grafik 1).

Klimatische Anmerkungen zum Messzeitraum Jänner-Februar 2008⁴: Nur die ersten Tage des Monats brachten winterlich tiefe Temperaturen. Spätestens ab dem 6. Jänner setzte mildes Wetter ein, und bis zum Monatsende blieben die Tagesmittel laut ZAMG beinahe überall über dem Normalwert. Daraus ergaben sich für die weitaus größten Teile Österreichs 2,5 bis 3,5 °C übernormale Temperatur-Monatsmittel. Für den Bereich Salzburg und Umgebung wurde eine Abweichung von $\leq 2,5$ °C für den Jänner festgestellt. Der Februar war bei durchwegs übernormalen Temperaturen viel zu trocken.

Im Vergleich mit den tatsächlich erfassten Sommerwerten aus Tabelle 2 erkennt man, dass der SO TAB-A10 dem langjährigen Mittelwert viel näher kommt als z.B. der SO Rudolfsplatz. Die SO Haunsberg und Hallein-Winterstall sind aufgrund der Höhenlage leicht darunter angesiedelt. Bei den Winterwerten erkennt man jedoch eindeutig, dass es während der Messkampagne viel zu warm war (Ausnahme erste Wintermessung am SO Rudolfsplatz), folglich sind die meteorologischen Bedingungen zum Zeitpunkt der Erhebung des Partikelinventars eher als untypisch zu charakterisieren.

Niederschlagsmengen (NS):

Im Vergleich zu den durchschnittlichen Regentagen pro Monat konnten die direkte NS-Werte in Stadtnähe (Datenmaterial der ZAMG; Messstation Freisaal) mit jenen der LR nur am Untersberg und in Bergheim in Bezug gesetzt werden. Am SO Haunsberg wurde die NS-Menge von der LR-eigenen Messapparatur erfasst. Diese Werte werden

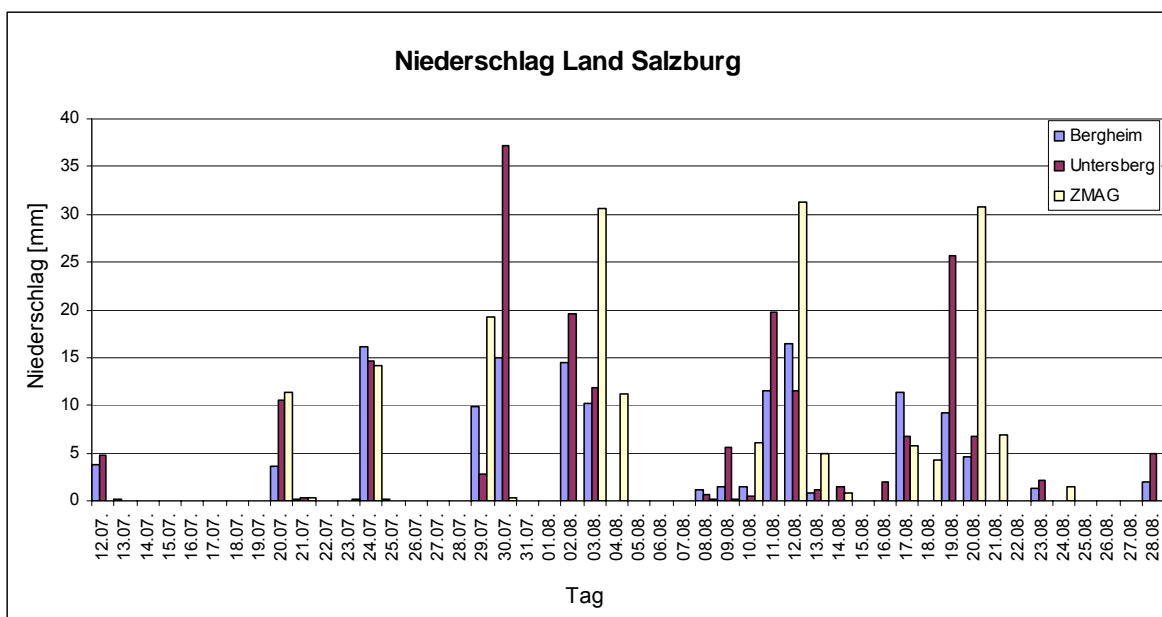
³ http://www.zamg.ac.at/klima/klima_monat/wetterrueckblick/?jahr=2007&monat=07 und [monat=08](http://www.zamg.ac.at/klima/klima_monat/wetterrueckblick/?jahr=2007&monat=08)

⁴ http://www.zamg.ac.at/klima/klima_monat/wetterrueckblick/?jahr=2008&monat=01 und [monat=02](http://www.zamg.ac.at/klima/klima_monat/wetterrueckblick/?jahr=2008&monat=02)

Nanopartikel in Salzburg Stadt und Umland

für das ganze Land Salzburg herangezogen. Es hat sich jedoch gezeigt, dass die NS-Werte während der Messkampagne die Partikelmessungen nur geringfügig beeinflussten. Dies wird im Vergleich mit den tatsächlich erfassten NS-Werten der Sommermessung aus Grafik 2 deutlich. Der SO Lehen war während der Sommermessung niederschlagsfrei. Am SO Rudolfsplatz regnete es fallweise am 24. Juli; am SO Haunsberg leicht am 29. Juli, stark jedoch am 30. Juli. Leichter NS fand auch am 2./3. August, am SO Hallein/Winterstall statt und am SO TAB-A10 regnete es am 17., 19., 20., und 23. August, wobei nur der 19. August etwas ergiebiger war.

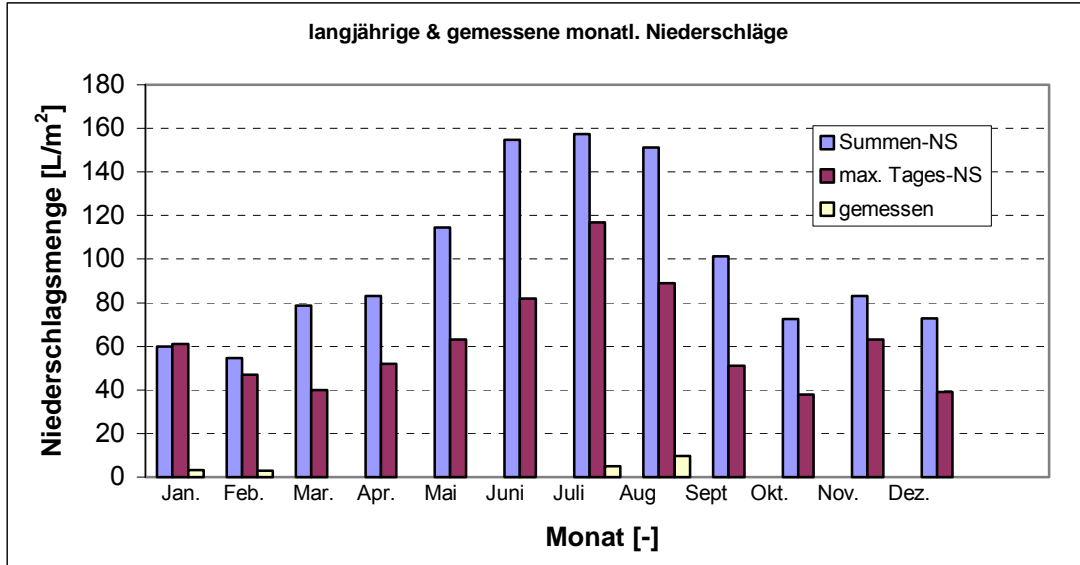
Die von der ZAMG erhaltenen NS-Daten (Messstation Salzburg Freisaal) stimmen sehr gut mit jenen NS-Werten überein, die vom Messnetz der LR an den SO Untersberg und Bergheim erfasst wurden. Aus Grafik 2 ist auch herauslesbar, dass die NS-Werte in Untersbergnähe (beginnendes Salzachtal – TAB-A10 und Hallein/Winterstall) zum Teil intensiver ausfallen als in den nördlicheren Bereichen (Messstationen in der Stadt, Bergheim und Haunsberg). Dies konnte in der Interpretation der Daten nur insofern berücksichtigt werden, wenn an Tagen mit ergiebigeren NS es mit einem Rückgang der Partikelanzahl korreliert; folglich wurde versucht diesen Aspekt bei den südlicheren SO stärker zu gewichten als bei den nördlicheren SO (Nähe Bergheim).



Grafik 2: Niederschlag Sommer in [mm] im Untersuchungszeitraum im Land Salzburg anhand zweier Standorte während 2 ausgewählten Zeiträumen (Daten der LR) im Vergleich zu den ZMAG-Daten.

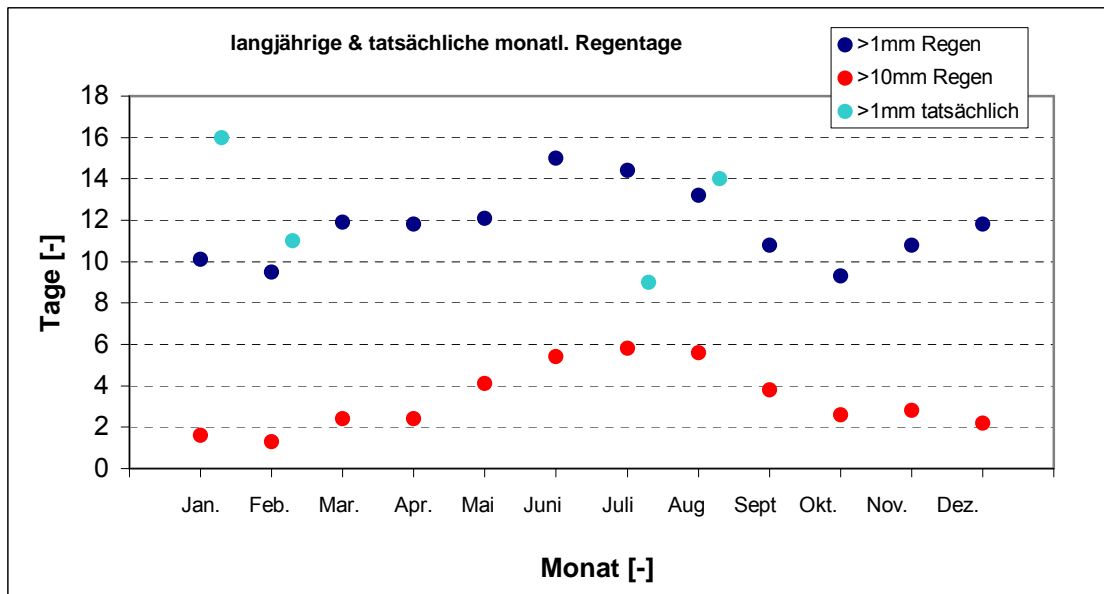
Mit Bezug auf den langjährigen Durchschnitt (Grafik 3 & 4) waren die NS-Menge sowie die Anzahl an Tagen mit NS während des Beprobungszeitraumes im Sommer viel zu gering. Ein "Auswaschungseffekt" bodennaher Aerosole kann daher während der durchgeführten Messzeiträume weitestgehend vernachlässigt werden.

Nanopartikel in Salzburg Stadt und Umland



Grafik 3: Durchschnittliche monatliche Niederschlagswerte laut ZAMG in [L/m²].
Durchschnittswerte der Jahre 1971 – 2000.

Gelb eingetragene Werte entsprechen den tatsächlich erhobenen Messwerten während der Messmonate



Grafik 4: Durchschnittliche monatliche Regentage laut ZAMG.
Durchschnittswerte der Jahre 1971 – 2000.

Hellblau: Werte entsprechen den tatsächlich erhobenen >1mm-Messwerten während der Messmonate

Nanopartikel in Salzburg Stadt und Umland

Jahresdurchschnitts-Tagesverkehr (JDTV):

Alle SO weisen sehr verschiedene Verkehrsbelastung auf. Die SO Haunsberg und Hallein-Winterstall gelten als Grünland, es gibt keine ermittelten Jahresdurchschnitts-Tagesverkehr (JDTV). Für Lehen zählt die nächstgelegene Strasse.

Standort	JDTV
Lehen	3.000
Rudolfsplatz	58.000
A 10	50.000

Tabelle 3: Jahresdurchschnittstagesverkehr der einiger SO.

Die von der ASFINAG zur Verfügung gestellten Verkehrsdaten ergeben für die TAB-A10 im Sommer einen Tagesmittelwert im Untersuchungszeitraum von 59185 (SD ± 7381) Fahrzeugen und liegen somit über den JDTV-Wert. Während der Wintermessung spiegeln die ASFINAG-Daten einen Tagesmittelwert von 43002 (SD ± 8115) Fahrzeugen wider und liegen somit unter dem JDTV-Wert (vgl. Tabelle 3).

Die Unter- bzw. Überrepräsentation der JDTV-Daten mit den tatsächlich erhobenen Daten an der A10 lässt darauf schließen, dass im gesamten Jahr die JDTV-Daten als durchschnittlicher Richtwert anwendbar sind. Dies dürfte auch für den SO Rudolfsplatz zutreffen. Für den SO Lehen dürfte sich der JDTV-Wert nicht direkt anwenden lassen, da die nächstgelegene Straße mit einer derartigen Verkehrsfrequenz sich nicht in unmittelbarer Nähe der Messstation befindet.

Standort Lehen

Abb. L.1: Luftbild des SO Lehen. Messstation als roter Kreis dargestellt. (modifiziert nach Google Earth)

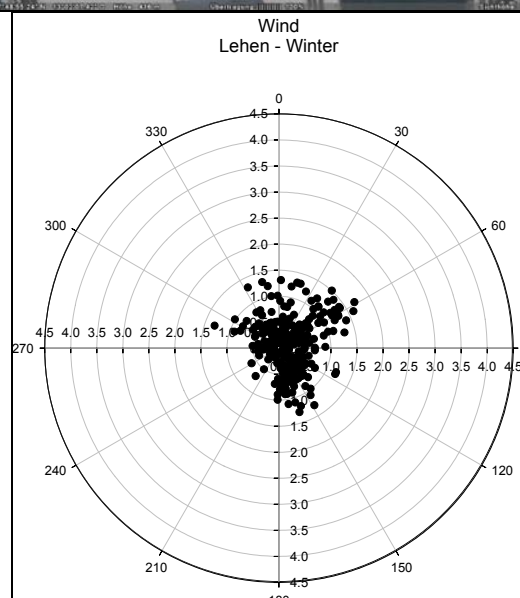
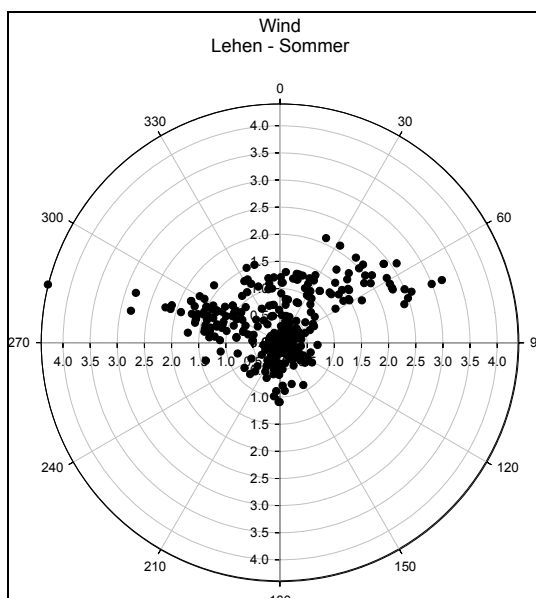


Abb. L.2 a & b: Diagramm der Windrichtung (Kreisgrade [°]) und Windgeschwindigkeit (Achsen[m/s]) am SO Lehen. Links: während der Sommermessung. Rechts: während der Wintermessung

Die Aufschlüsselung der klimatischen Daten – insbesondere der Winddaten spiegelt einen relativ abgeschotteten SO und einen eher unauffälligen Befund wider. Lediglich ein leichter Ferntransport lässt sich bei stärkerem Windeintrag in diese Wohngegend beobachten – Wind und PM_{10} korrelieren zeitweilig (Abb. L.6a).

Laut Abb. L.3a-b wirken sich auch die NS-Mengen kaum auf das erhobene Partikelinventar aus. Sowohl bei der Sommer- als auch die Wintermessung ist kein unmittelbarer Zusammenhang erkennbar. Der Regentag am 20. Juli floss nicht in die Abb. L.3a ein, da kein vollständiger 24h-Datensatz erhoben wurde.

Im Wochenvergleich der Sommermessung (Abb. L.6a) erkennt man ein leicht zyklisches Verhalten weniger des Partikelverlaufs sondern der Wind- und Ozon-Messwerte welche dem Tagesgang angenähert ist; d.h. etwas schwächere Konzentrationen während der

Nanopartikel in Salzburg Stadt und Umland

ersten Tageshälfte gegenüber der zweiten Tageshälfte. Sehr prägnant ist dieser Verlauf anhand des NO_2 -Verlaufs erkennbar. Während die Schwankungen der Partikelmasse nahezu zwei Größenordnungen betragen, weist die Partikelanzahl nur eine schwache Fluktuation auf und pendelt konstant um einen charakteristischen Nennwert. Erst aufgrund der kühleren Temperaturen während der Wintermessung (Abb. L.6b) zeigt sich eine eindeutige Korrelation zwischen den Stickoxiden und der Partikelanzahl und nur geringfügig mit jenen der PM_{10} -Messwerten.

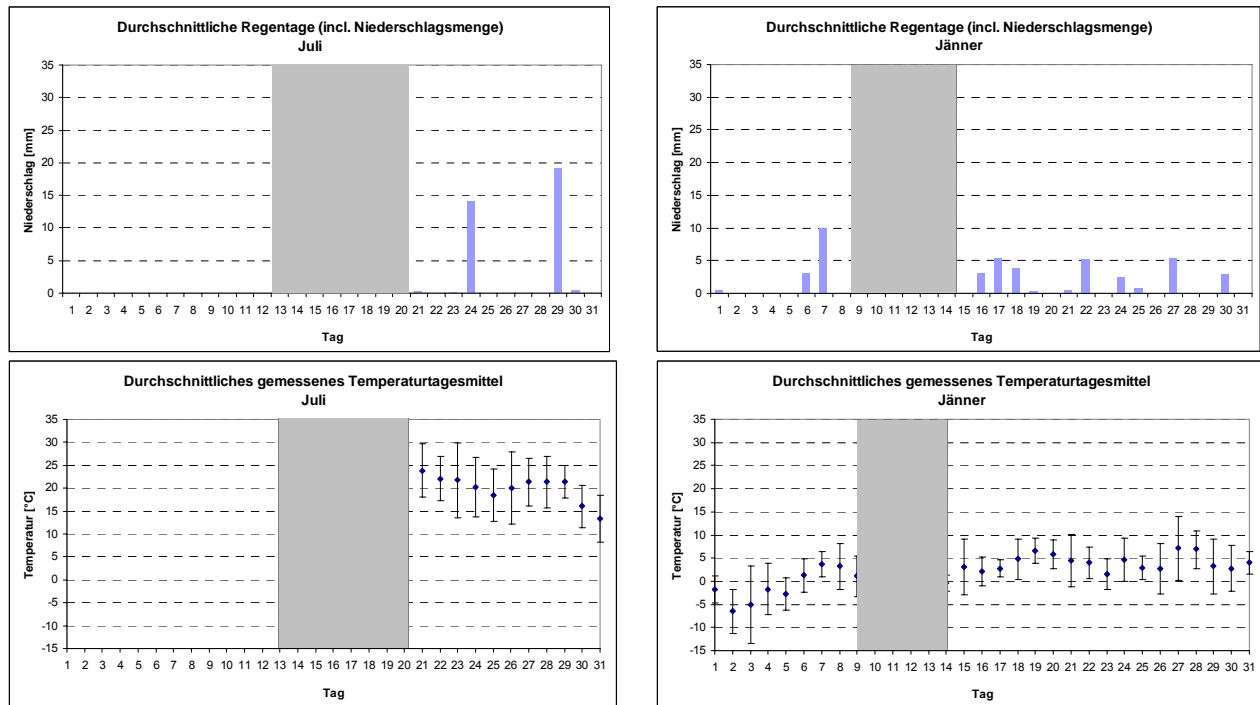


Abb. L.3 a-d: Tatsächliche Regentage (a & b) und Temperaturtagesmittelwerte (c & d) nach ZAMG für den jeweiligen Monat. Grau unterlegt die Messzeiträume am SO Lehen.

Wie zu erwarten, spiegeln sich die saisonbedingten Schwankungen auch in den Mittelwerten der Tageskonzentrationen wider (Abb. L.4), welche in der Wintermessung um rund 80% über jenen der Sommermessung liegen. Wie auch in Abb. L.5a&b ersichtlich, ist diese saisonbedingte Abweichung besonders stark in den kleineren Größenklassen ausgeprägt (10-50 nm) und weist somit eindeutig auf die klimatische Komponente hin, in dem sie die Agglomeration der Partikel zu größeren Modi stark verlangsamt ist bzw. anhält.

Nanopartikel in Salzburg Stadt und Umland

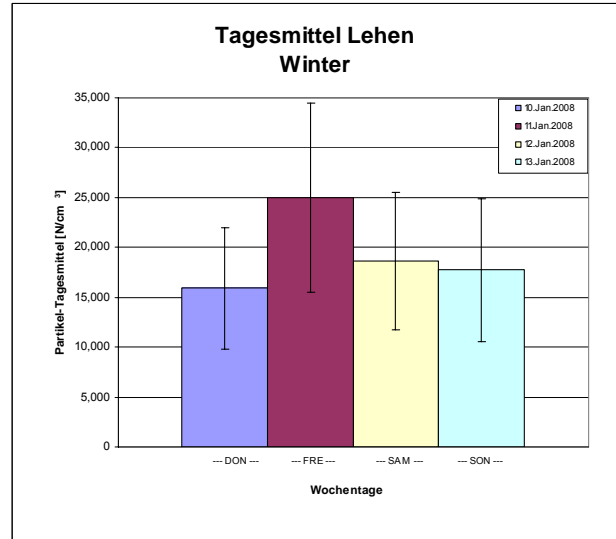
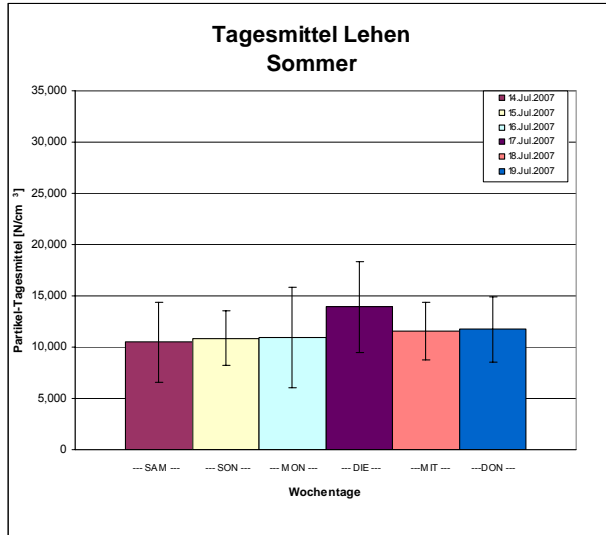


Abb. L.4 a&b.: Tages-Konzentrations-Mittelwert und deren SD des SO Lehen während der Sommer und Wintermessung

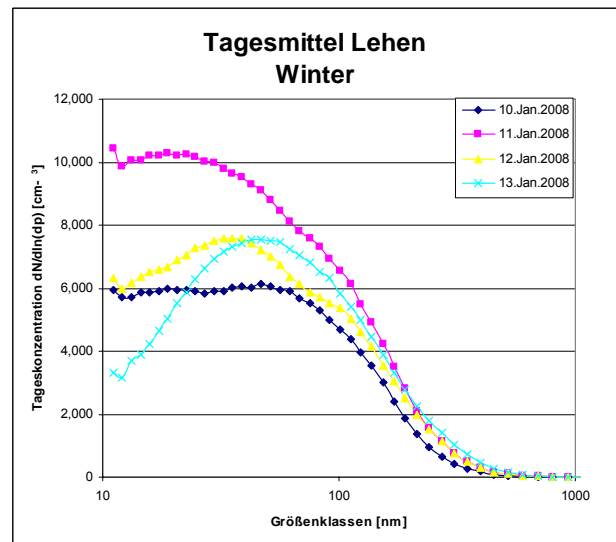
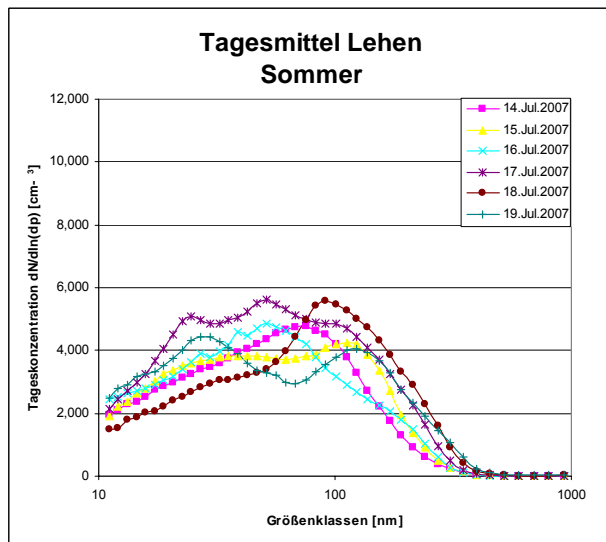


Abb. L.5 a&b: Tages-Konzentrations-Mittelwert aufgeschlüsselt über den Messbereich zw. 11-1080 nm des SO Lehen während der Sommer und Wintermessung

Nanopartikel in Salzburg Stadt und Umland

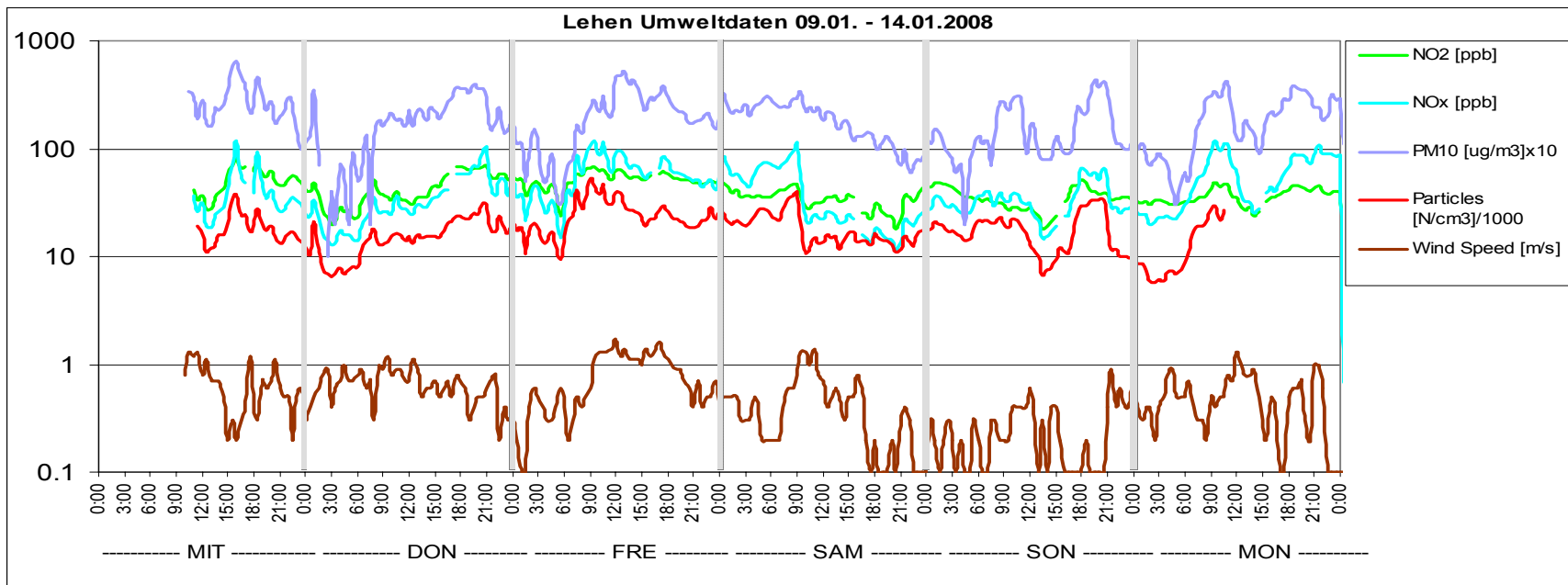
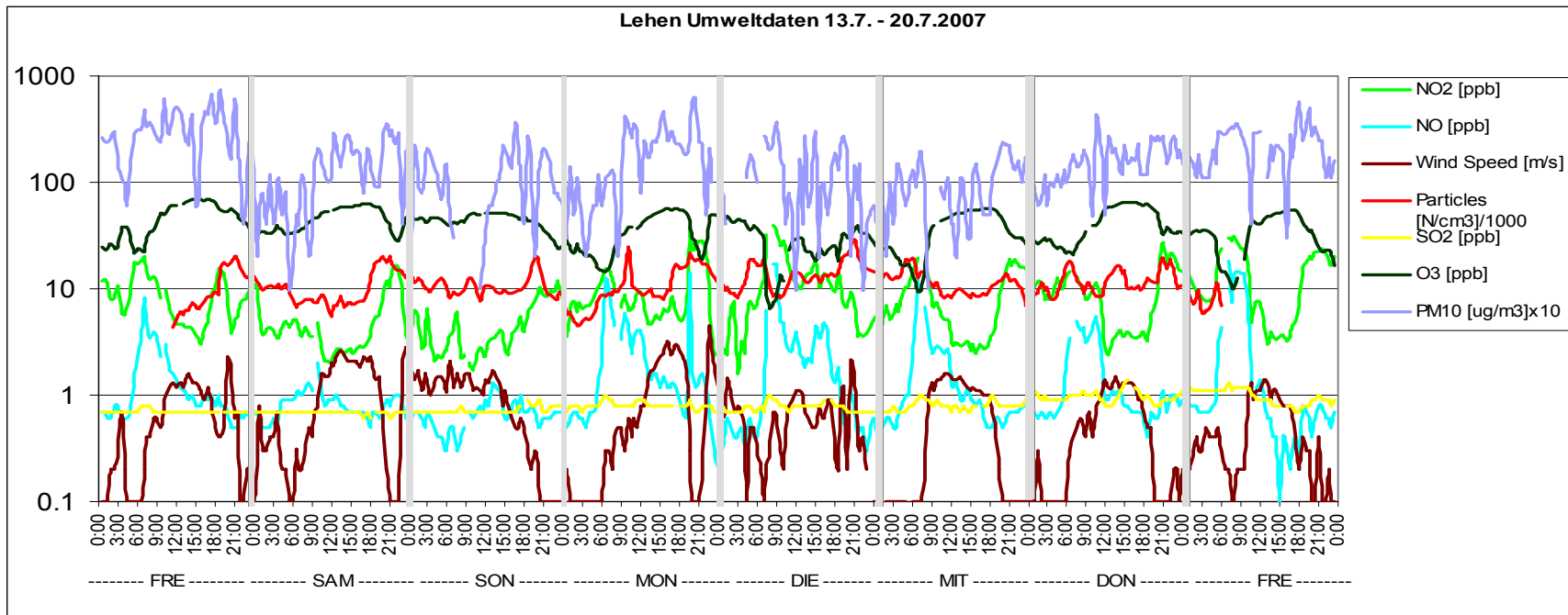


Abb. L.6 a&b: Tagesgänge des SO Lehen während der Sommer und Wintermessung. PM10 sowie Partikelanzahl sind um 10-Potenzen angeglichen (siehe Legende) um die grafische Darstellung der Zusammenhänge besser zu veranschaulichen.

Standort **Rudolfplatz**

Abb. R.1.:
Luftbild des SO Rudolfplatz
Messstation als roter Kreis dargestellt.
(modifiziert nach Google Earth)

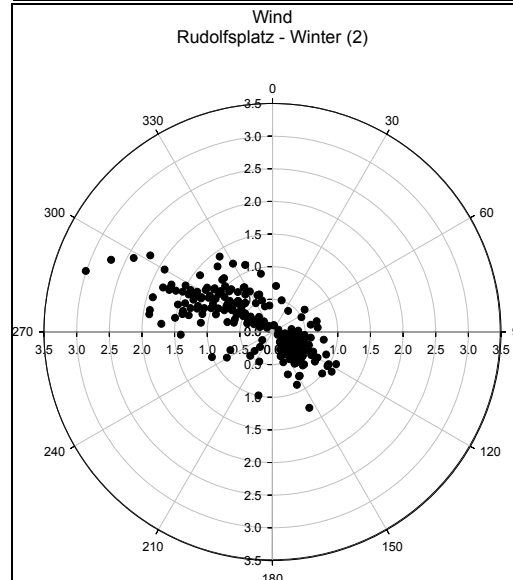
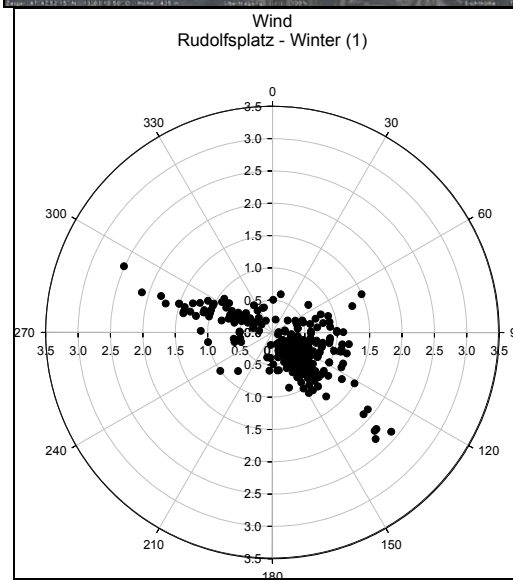
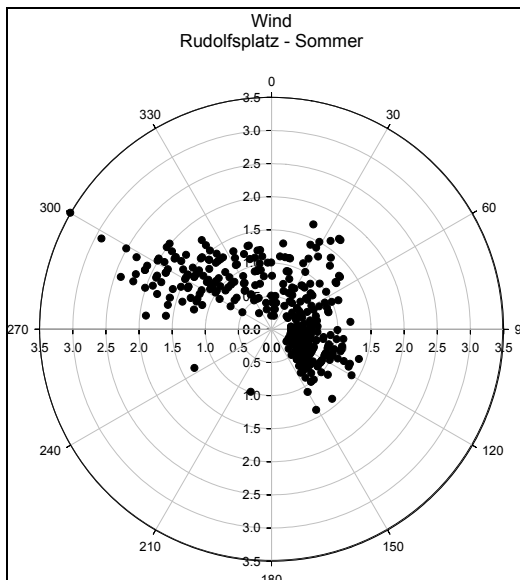


Abb. R.2 a-c: Diagramm der Windrichtung
(Kreisgrade [°]) und Windgeschwindigkeit
(Achsen[m/s]) am SO Rudolfplatz.
Links: während der Sommermessung. Rechts:
während der beiden Wintermessungen

Die Aufschlüsselung der klimatischen Daten – insbesondere der Winddaten zeigt einen

relativ ruhigen SO, der bei windbedingter Durchmischung starke Präferenzen um Nordwest und Südost aufweist. Aufgrund der Partikel-Massendaten aus Abb. R.6a kann ein Vortex vermutet werden, welcher die Partikelmassen nur zu einem geringeren Teil abtransportiert, als man durch die laut Windrose (Abb. R.2 a-c) erwarten würde. Eine derartige Vortexbildung ist wesentlich durch die Anordnung der durch drei Seiten umgebenden Gebäudefronten mit beeinflusst und entspricht dem Streetcanyon-Effekt, so wie es von Spadaro & Rabl (2001) beschrieben wurde.

Die beobachteten NS-Mengen dürften sich kaum auf das Partikelinventar ausgewirkt haben (inkl. der Gewichtung der NS-Verteilung zw. Untersberg und Bergheim – vergleiche Grafik 2). Abb. R.3 a-c zeigen, dass die geringen NS keine erkennbaren Einbrüche in der Partikelanzahl hervorrufen – selbst nicht am leicht verregneten 24. Juli.

Das Absinken der Konzentration am Wochenende ist durch den Wegfall des Berufsverkehrs erwartungsgemäß (Abb.R.4a-c). Die in der zweiten Wintermessung geringer ausfallenden Partikelanzahlen sind hauptsächlich durch die überdurchschnittlich warmen Temperaturen, welche eine raschere Agglomeration zu größeren Modi günstig beeinflussen, zurückzuführen.

Im Wochenvergleich der Sommermessung (Abb. R.6a) erkennt man ebenso ein leicht zyklisches Verhalten des Partikelverlaufs, das dem Tagesgang angenähert ist; d.h. etwas stärkere Konzentrationen während der Verkehrsspitze am Morgen und am Abend, wobei letztere nur fallweise jene der Morgenspitze erreicht. Wesentlich markanter ist diese Charakteristik bei den Verläufen der Stickoxide, der Partikelanzahl und der Kohlenmonoxid-Werte.

Die Schwankungen der Partikelmasse dehnen sich wiederum über zwei Größenordnungen aus. Im Vergleich dazu zeigt die Partikelanzahl eine wesentlich schwächere Fluktuation. Während der Wintermessungen (Abb. R.6 b-c) zeigt sich wiederum eine eindeutige Korrelation zwischen den Stickoxiden, der Partikelanzahl und bedingt auch zur Partikelmasse (PM_{10}). Letzteres stellt insofern eine Besonderheit dar, da die kleineren Partikel mit eher "gasförmigen Charakter" gegenüber jenen größeren Volumens bzw. Masse dominieren (vgl. Abb.R6 b&c mit Abb.R5 b&c).

Generell erkennt man, dass die Partikelanzahl durch die Nähe zur Abgasquelle wesentlich besser mit den Stickoxiden korreliert als dies durch den Ferntransport am SO Lehen zu erkennen war.

Nanopartikel in Salzburg Stadt und Umland

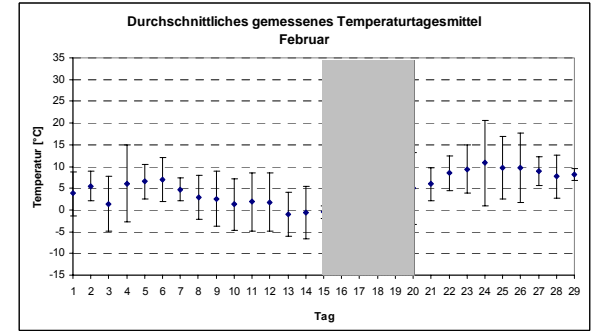
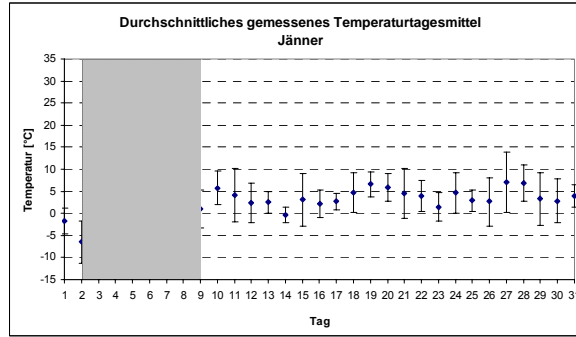
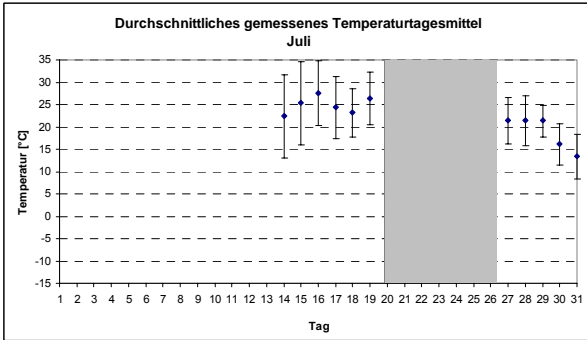
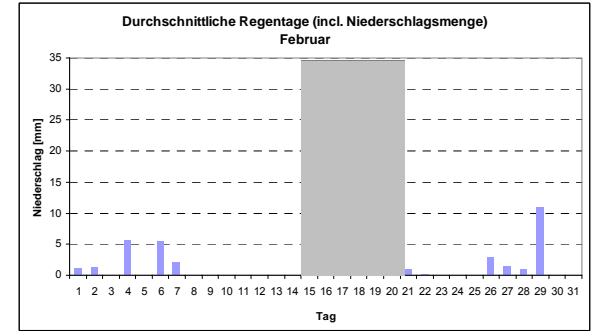
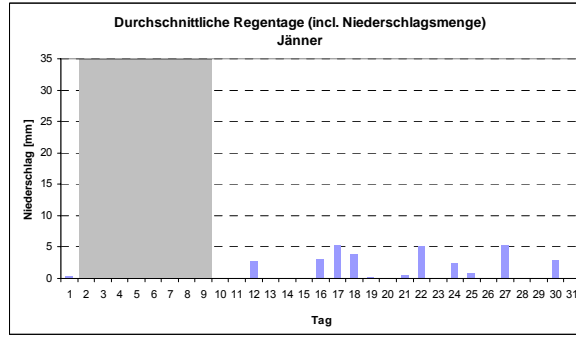
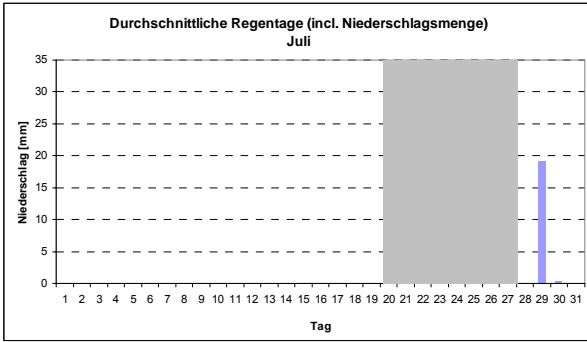


Abb. R.3 a-f: Tatsächliche Regentage (a – c) und Temperaturtagesmittelwerte (d – f) nach ZAMG für den jeweiligen Monat. Grau unterlegt die Messzeiträume am SO Rudolfsplatz.

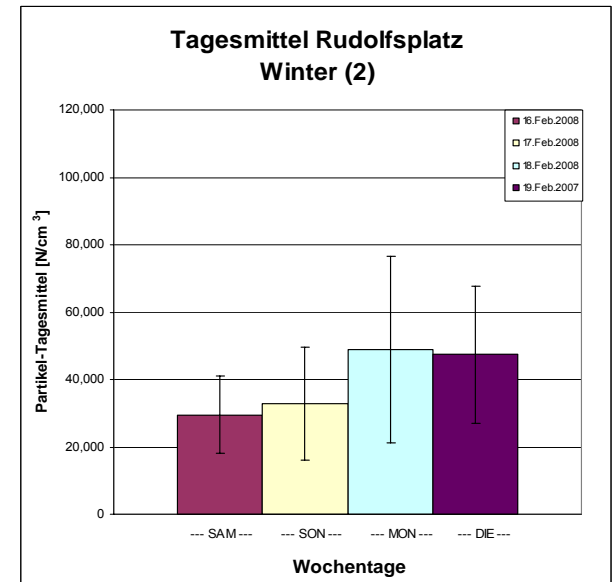
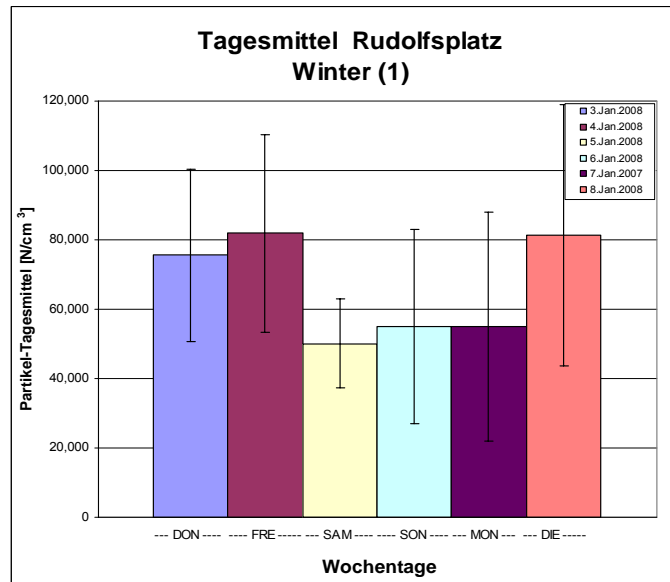
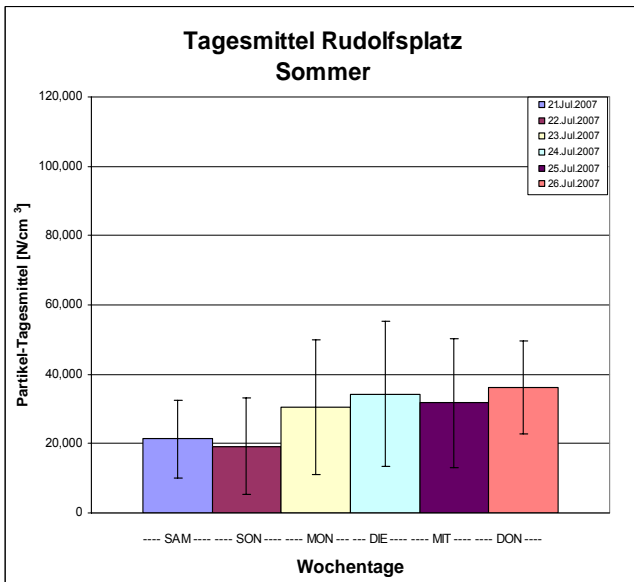


Abb. R.4.a-c: Tages-Konzentrations-Mittelwert und deren SD des SO Rudolfsplatz während der Sommer und Wintermessung

Nanopartikel in Salzburg Stadt und Umland

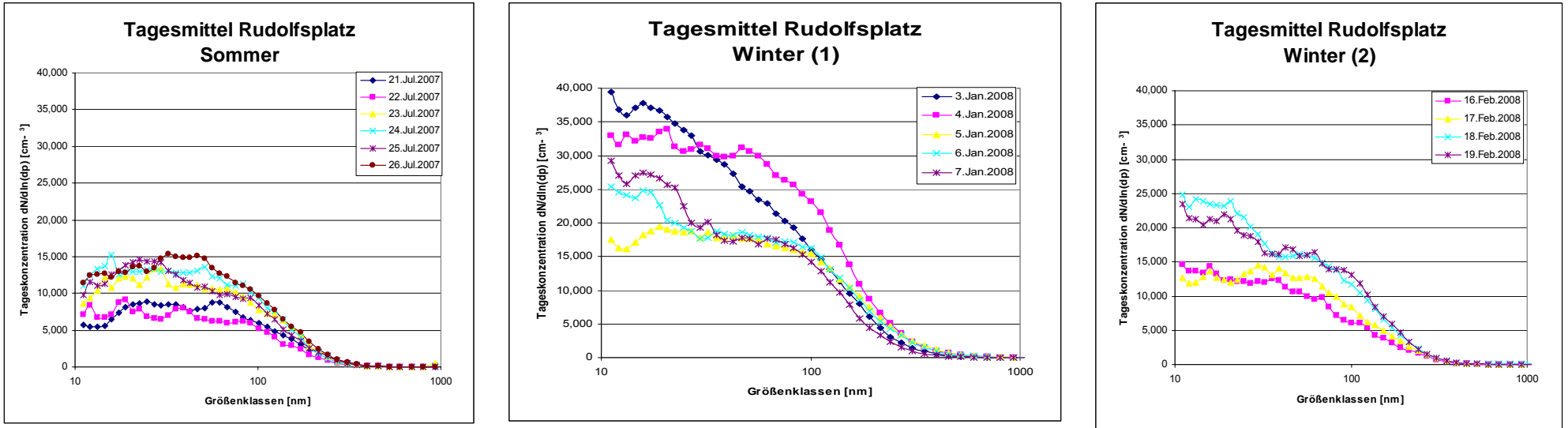


Abb. R.5 a-c: Tageskonzentrationsmittelwert aufgeschlüsselt über den Messbereich 11-1080nm am SO Rudolfplatz während Sommer und Wintermessung

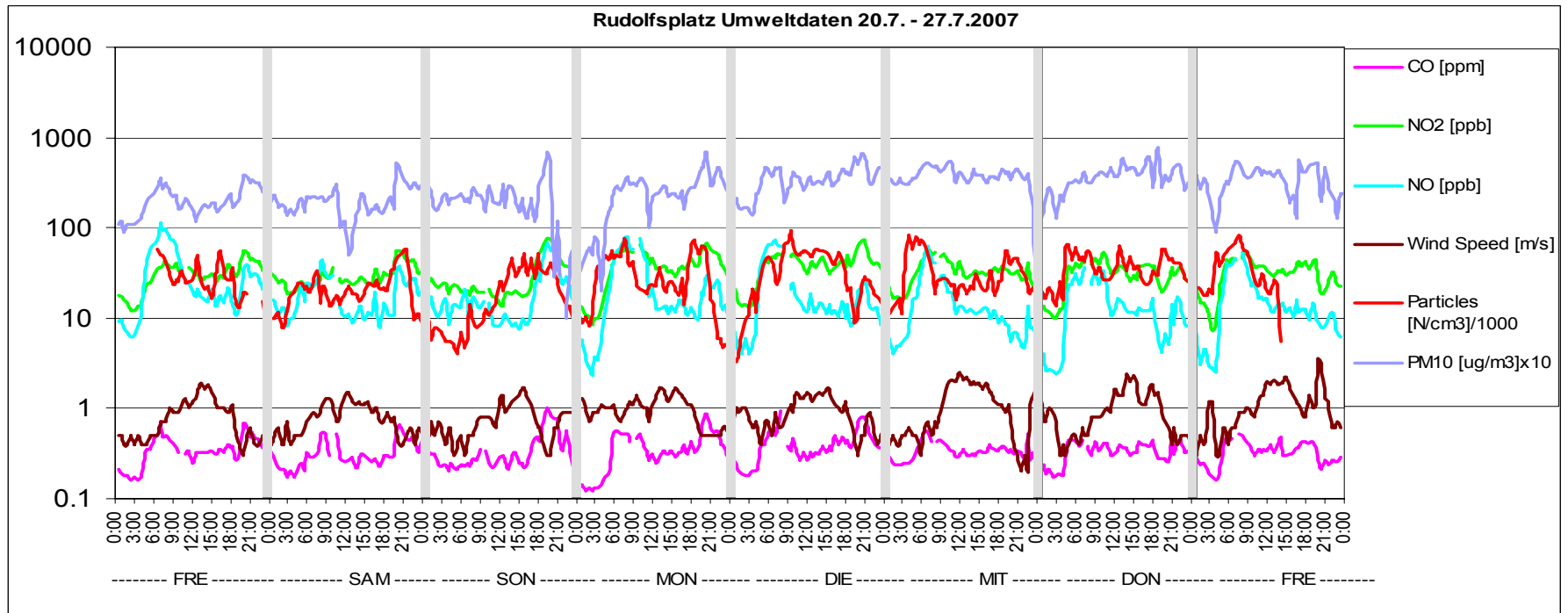


Abb R.6a: Tagesgänge des SO Rudolfplatz während der Sommermessung. PM₁₀ sowie Partikelanzahl sind um 10-Potenzen angeglichen (siehe Legende) um die grafische Darstellung der Zusammenhänge besser zu veranschaulichen

Nanopartikel in Salzburg Stadt und Umland

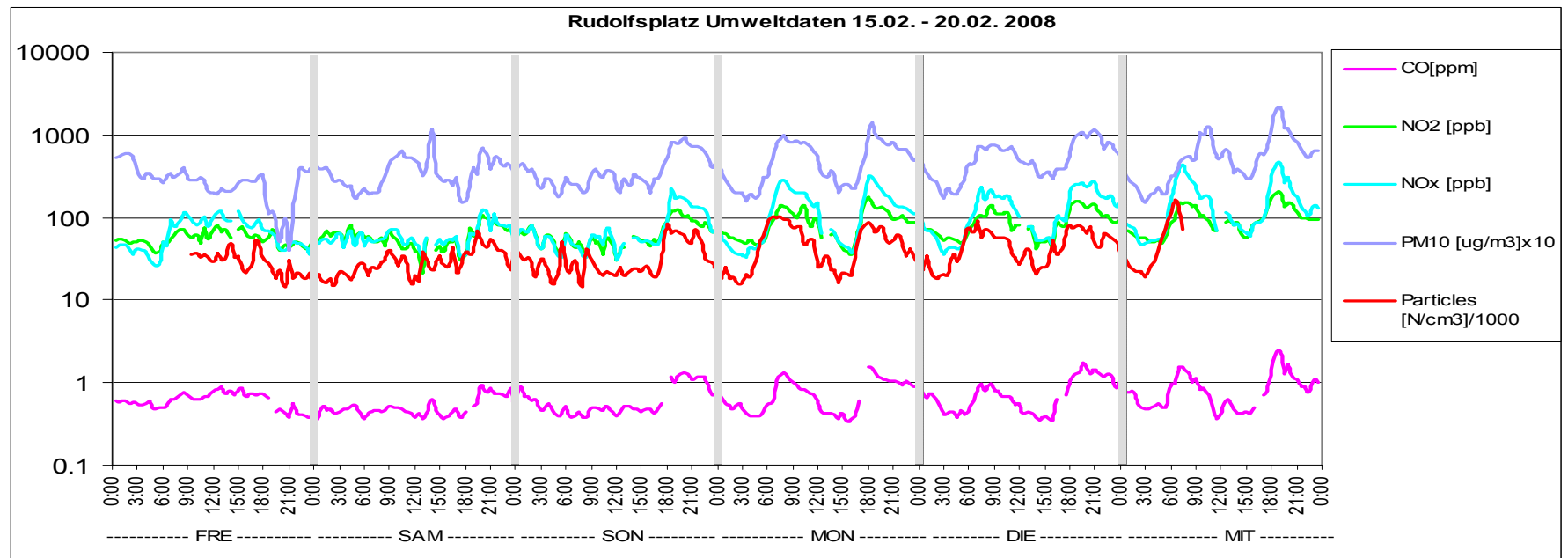
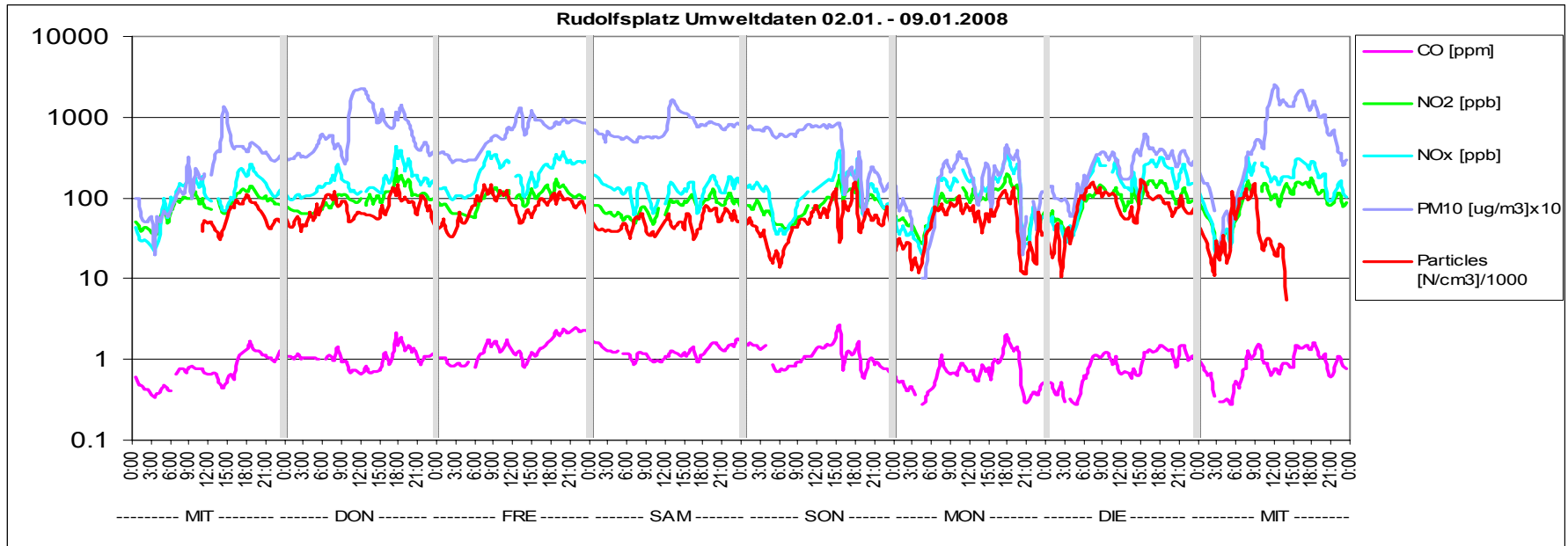


Abb R.6 b-c: Tagesgänge des SO Rudolfplatz während zwei Wintermessung. PM₁₀ sowie Partikelanzahl sind um 10er-Potenzen angeglichen (siehe Legende) um die grafische Darstellung der Zusammenhänge besser zu veranschaulichen.

Standort Haunsberg



Abb. H.1: Luftbild des SO Haunsberg; Messtation als roter Kreis dargestellt. (modifiziert nach Google Earth)

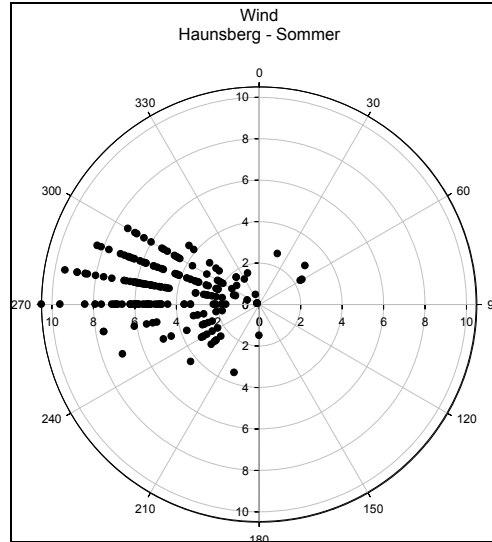


Abb. H.2: Diagramm der Windrichtung (Kreisgrade [°]) und Windgeschwindigkeit (Achsen[m/s]) am SO Haunsberg. Es sind keine Winddaten aus der Wintermessung vorhanden

Sowohl das Partikelinventar als auch die von der dort befindlichen LR-Messtation würden ein ideales Hintergrund- bzw. Import-Datenmaterial erwarten lassen. Wie jedoch in der Windrose deutlich erkennbar, sind die erhobenen Messdaten nicht unbedingt einem unbelasteten SO zuzuschreiben, womit sich eine Zuordnung überwiegend einem Ferntransport aus westlicher Richtung kommend erkennbar ist (Abb. H.2). Durch die exponierte Lage sind wesentlich stärkere Windverhältnisse als bei den anderen SO feststellbar.

Die NS-Daten in Abb. H.3 a-b unterstreichen das geringe Einflussvermögen auf das erhobene Partikelinventar. Lediglich der ergiebigere NS am 29. Juli (mit entsprechender Gewichtung im NS-Gefälle zw. Untersberg und Bergheim) könnte den leichten Rückgang in der Partikelanzahl bewirkt haben.

Demgemäß befinden sich die Partikelanzahlen in moderaten Bereichen und entsprechen jenen Agglomerationscharakter ältere Aerosole bzw. finden sich durchwegs im Größenklassenbereich um 100 nm wieder (Abb. H.5). Die in der Sommermessung auftauchenden Maxima um 50 nm deuten auf einen Eintrag aus den im Tal befindlichen urbanen Siedlungen und darüber hinaus hin (Oberdorf/Laufen/Bayern) welche auch durch die intensiveren Winde in ihrer Agglomeration zu größeren Modi gehindert werden. Entsprechend sind auch die erhobenen Partikelanzahlen am Wochenende gegenüber jenen an den restlichen Tagen leicht verringert (Abb. H.4 a&b).

Das erhöhte Tagesmittel während der Wintermessung (Abb. H.5b) belegt wiederum den Trend hin zur Konservierung der Primär-Modi, so wie dies auch bei den beiden vorangegangenen SO zu beobachten war.

Nanopartikel in Salzburg Stadt und Umland

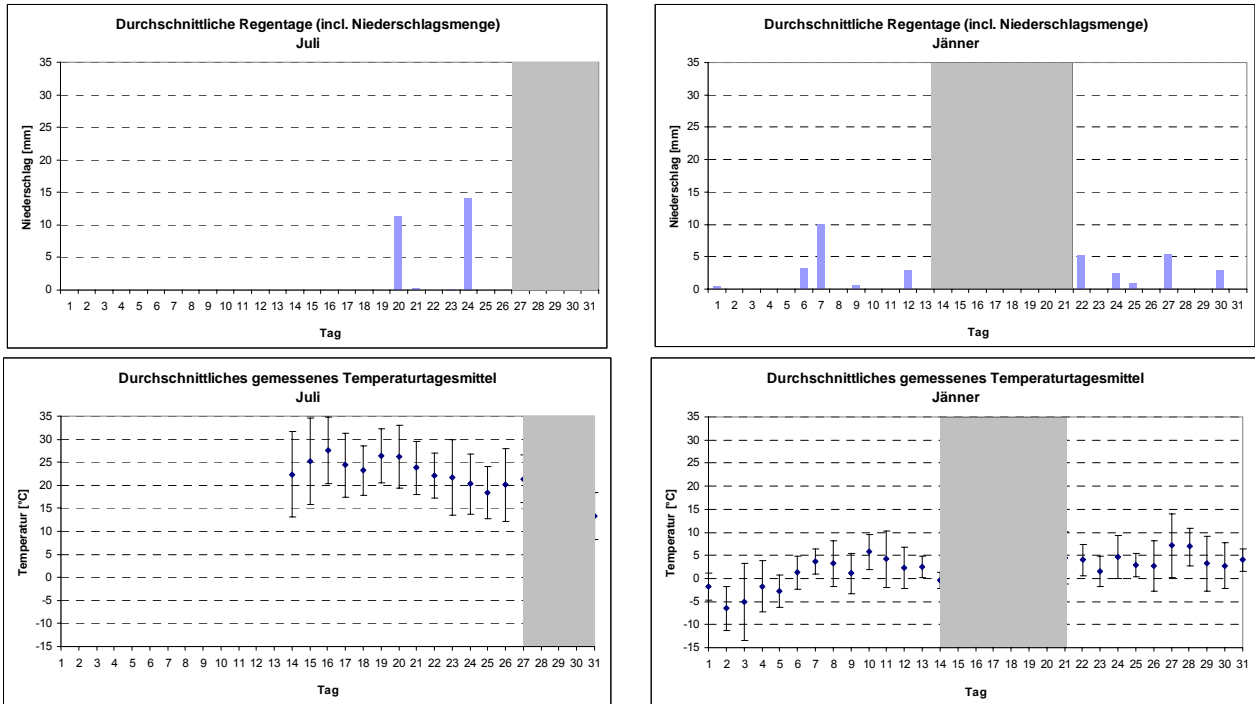


Abb. H.3 a - d: Tatsächliche Regentage (a & b) und Tagestemperaturmittelwerte (c & d) nach ZAMG für den jeweiligen Monat. Grau unterlegt der Messzeiträume am SO Haunsberg.

Die Korrelationen der Tagesgänge von Partikelanzahl und Stickoxiden in Abb. H.6 a&b lässt sich gut während der Wintermessung beobachten, wohingegen die Sommerwerte keinerlei Zusammenhänge erkennen lassen. Diese dürfte wesentlich von dem während der kühleren Jahreszeit vorherrschenden Konservierungseffekt der Primär-Modi zu ungunsten des Agglomerationsmodus bestimmt sein.

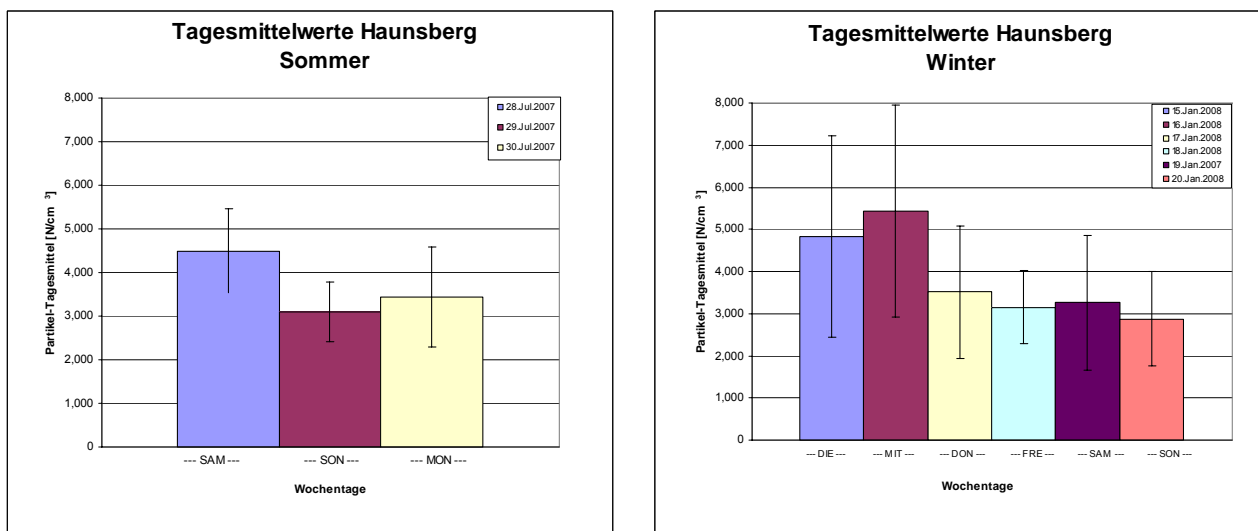


Abb. H.4 a & b.: Tages-Konzentrations-Mittelwert und deren SD des SO Haunsberg während der Sommer und Wintermessung

Nanopartikel in Salzburg Stadt und Umland

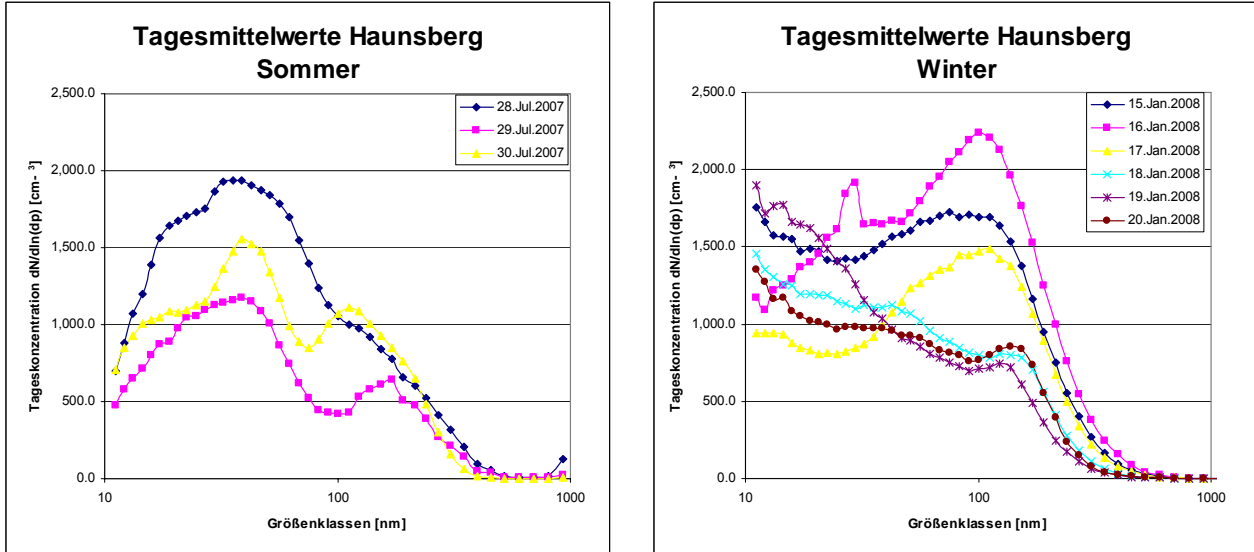


Abb. H.5 a & b: Tages-Konzentrations-Mittelwert aufgeschlüsselt über den Messbereich zw. 11-1080 nm des SO Haunsberg während der Sommer und Wintermessung

Nanopartikel in Salzburg Stadt und Umland

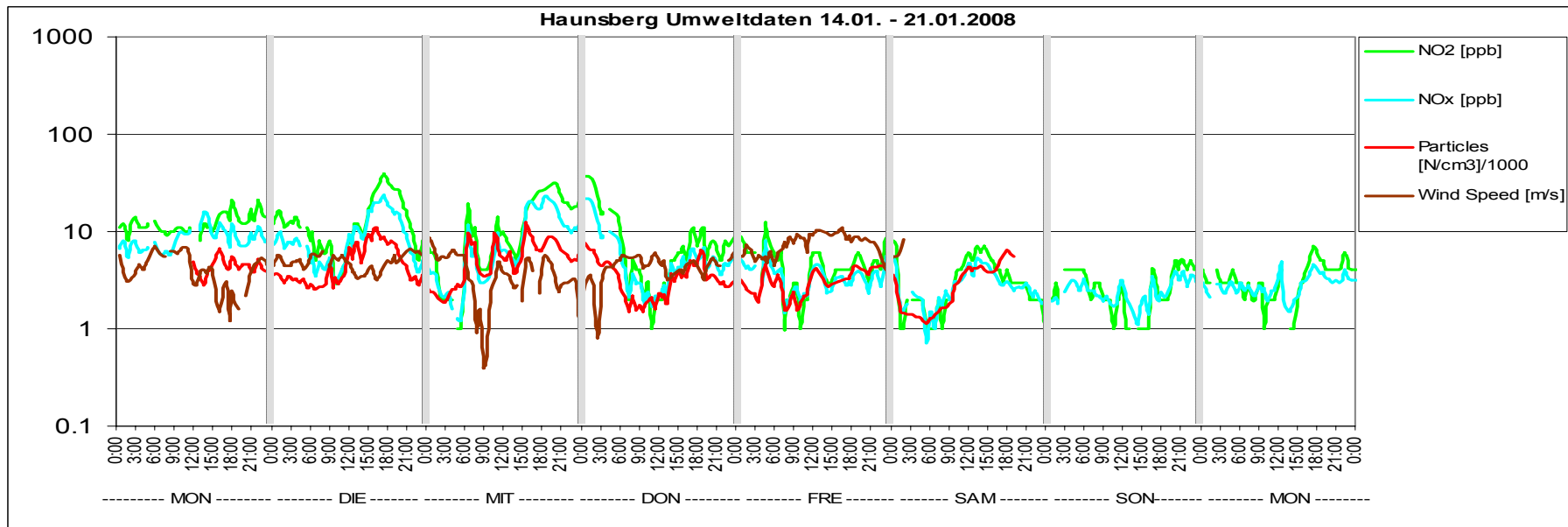
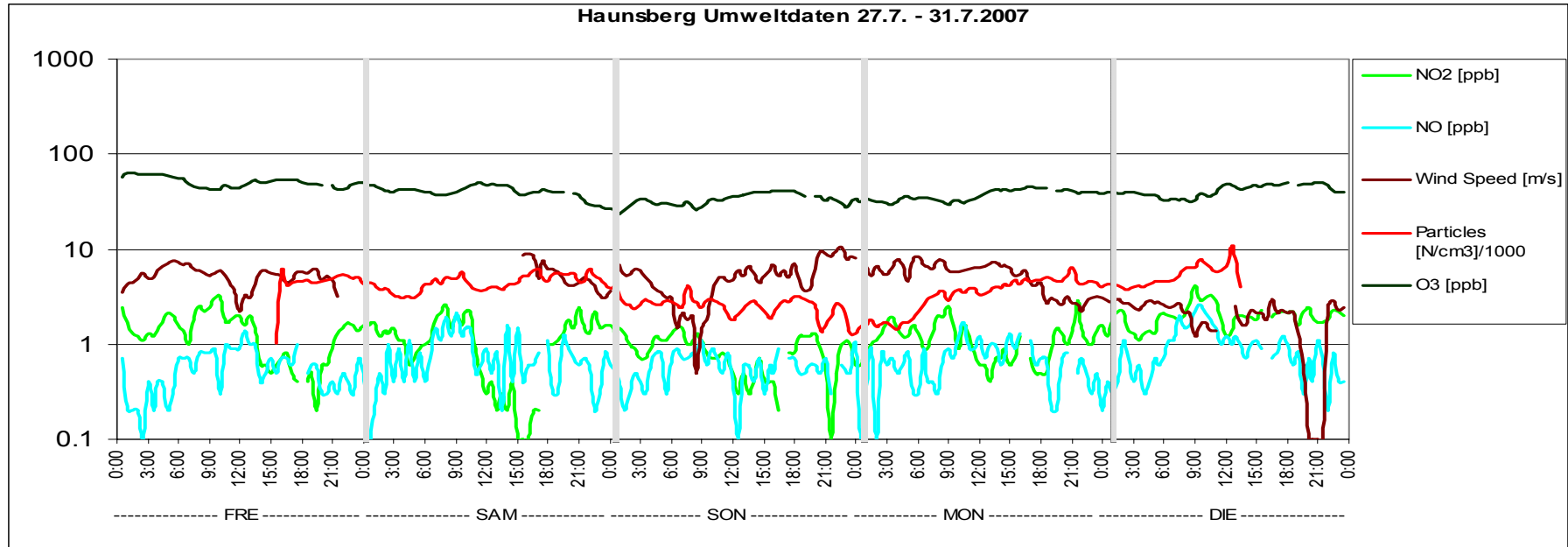


Abb. H.6 a & b: Tagesgänge des SO Haunsberg während der Sommer und Wintermessung. Die Partikelanzahl ist um 10er-Potenzen angeglichen (siehe Legende) um die grafische Darstellung der Zusammenhänge besser zu veranschaulichen.

Standort Hallein-Winterstall



Abb. W.1: Luftbild des SO Winterstall. Messstation als grüner Kreis dargestellt. (modifiziert nach Google Earth).

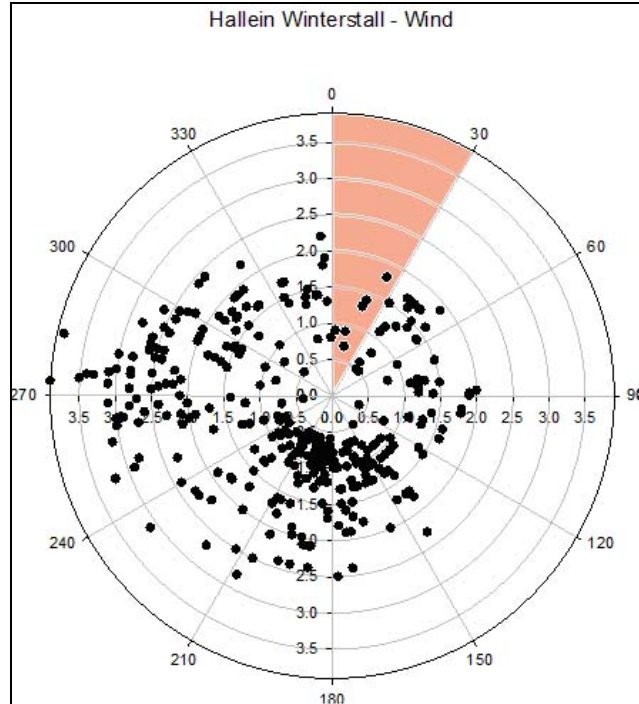


Abb. W.2: Diagramm der Windrichtung (Kreisgrade [°]) und Windgeschwindigkeit (Achsen[m/s]) am SO Hallein-Winterstall

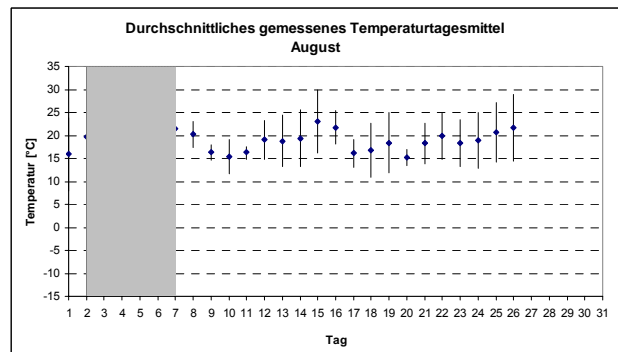
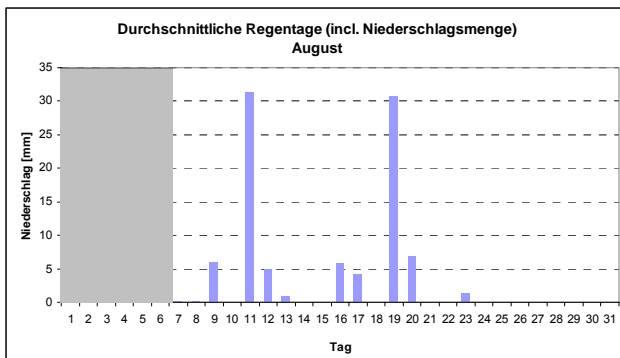


Abb. W.3 a&b: Tatsächliche Regentage (a) und Temperaturtagesmittel (b) nach ZAMG für den jeweiligen Monat. Grau unterlegt der Messzeitraum am SO Winterstall.

Wie am SO Haunsberg ist auch am SO Winterstall durch Ferntransport eingetragener Aerosole aus der Talsohle charakterisiert. Wie die Windrose in Abb. W.2 deutlich macht, besteht eine leichte Tendenz zur West-Wetterlage. Dennoch wird durch die Nordsüd-Ausrichtung des Salzachtals eine heterogene Durchmischung der Luftmassen gefördert. So lässt sich auch nicht mit Eindeutigkeit sagen, in wieweit der orange markierte Sektor in dieser Abbildung eine Abgasfahne zur Papierfabrik Hallein zulässt. Zumindest die Distanz

Nanopartikel in Salzburg Stadt und Umland

zwischen Messstation und Fabrikgelände eine erhebliche Durchmischung der Luftmassen fördert und somit eine Zuordnung zum produktionsbedingten Partikelaustritt kaum ermöglicht (siehe auch nachstehende Tabelle).

Tag	Windrichtung [°]	Windgeschwindigkeit [m/s]
1.8.2007 10.00 Uhr	25	1,8
2.8.2007 07.00 Uhr	3	0,9
3.8.2007 06.30 Uhr	14	0,7
5.8.2007 12.00 Uhr	19	1.3
6.8.2007 06.00 Uhr	14	0,7
06.30 Uhr	14	0.7
10.30 Uhr	20	1,4

Tab. W.1: Windrichtung und Windgeschwindigkeit der in das 30° Fenster passenden Messpunkte, welche eine Zuordnung der Partikelanzahl zum Produktionsprozess der Papierindustrie zulassen könnte.

Die doch ergiebigeren NS am 2/3. Aug. (Abb. W.3a) und bei entsprechender Gewichtung im NS-Gefälle zwischen Untersberg und Bergheim (vgl. Grafik 2) spiegeln den merklichen Einbruch in der erfassten Partikelanzahl wieder. Sowohl das Tages-Konzentrationsmittel (Abb. W.4) als auch die dazu aufgeschlüsselten Messwerte nach deren Größenklassen (Abb. W.5) brechen merklich ein. Dies wird speziell in den unteren Größenklassen-Bereichen deutlich wo sich merklich geringere Konzentrationen gemessen wurden.

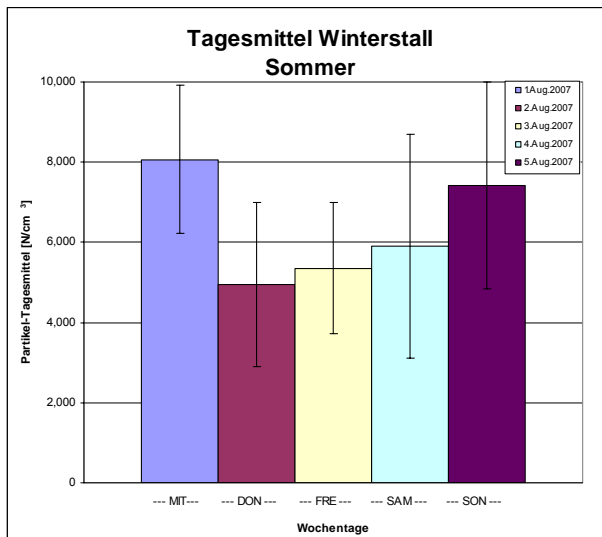


Abb.W.4.: Tages-Konzentrations-Mittelwert und deren SD des SO Hallein-Winterstall während der Sommermessung

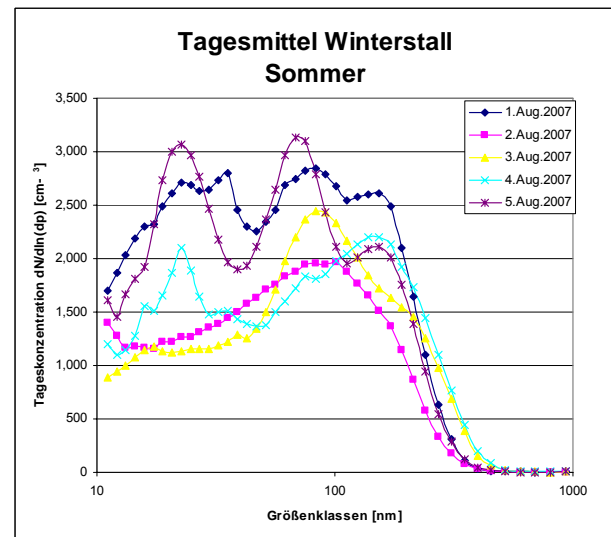


Abb.W.5: Tages-Konzentrations-Mittelwert aufgeschlüsselt über den Messbereich zw. 11-1080 nm des SO Hallein-Winterstall während der Sommer und Wintermessung

Die Darstellung der Tagesmittel (Abb. W.4) belegt, dass der SO Winterstall aufgrund der Topografie (geschlossene Täler neigen zu Schadstoff-Anreicherungen) jedoch ein noch ungünstigerer SO für eine Datenerhebung des Hintergrund-Partikelinventars darstellt als dies beim SO Haunsberg der Fall war. Obwohl in der Abb. W.5 mehrmals der Agglomerationsmodus um 100 nm in Erscheinung tritt, lassen sich besondere

Nanopartikel in Salzburg Stadt und Umland

Tagesereignisse feststellen. Die charakteristischen bimodalen Verteilungen (M-Muster, welches besonders am 5. Aug. zu erkennen ist) lassen auf einen produktionsbedingten Langzeittransport von der im Tal ansässigen Industrie vermuten welche diskontinuierlich zu größeren Modi agglomerieren bzw. durch sporadische Ausdünnung aber auch konserviert werden. Ein direkter Eintrag des fraglichen Emittenten, z.B. der Papierfabrik, müsste mit Winden aus 0 – 30° Richtung in Zusammenhang stehen (siehe Abb. W.1 und W.2: Sichtlinie im Foto und hervorgehobener roter Sektor im Windrichtungs-Diagramm). Es fallen aber in der Woche der Datenerhebung nur sieben Werte in dieses Richtungsfenster (siehe Tab. W.1).

Eine diesbezügliche Zuordnung wurde auch in Abb. W.6 versucht. Die eingefärbten Bereiche entsprechen dem in der Windrose eingefärbten Richtungssegment. Auch wenn sich keine direkte Zuordnung erkennen lässt, so lassen sich die SO₂-Spitzen zeitweilig mit einer erhöhten Partikelanzahl korrelieren. Wahrscheinlich könnte es sich um eine Windverfrachtung handeln, die zeitverzögert die Messstation erreichte (Shadbegian & Gray, 2003).

Eine leichte Korrelation der Partikelanzahl mit den Stickoxiden ist im Gegensatz zur Sommermessung am SO Haunsberg erkennbar (Abb. W.6) Stickoxide und Partikelinventar liegen zwar im gleichen Trend (einige gut korrelierende Spitzen), laufen jedoch nicht so gut parallel wie an jenen SO mit direktem Abgaseintrag. Die Ozonwerte sind hierzu gegenläufig, was gut dem Reaktionsgeschehen der Komponenten OH, NO_x-Radikale und VOC entspricht („Smogmaschine“; Rabl & Scholz, 2005).

Nanopartikel in Salzburg Stadt und Umland

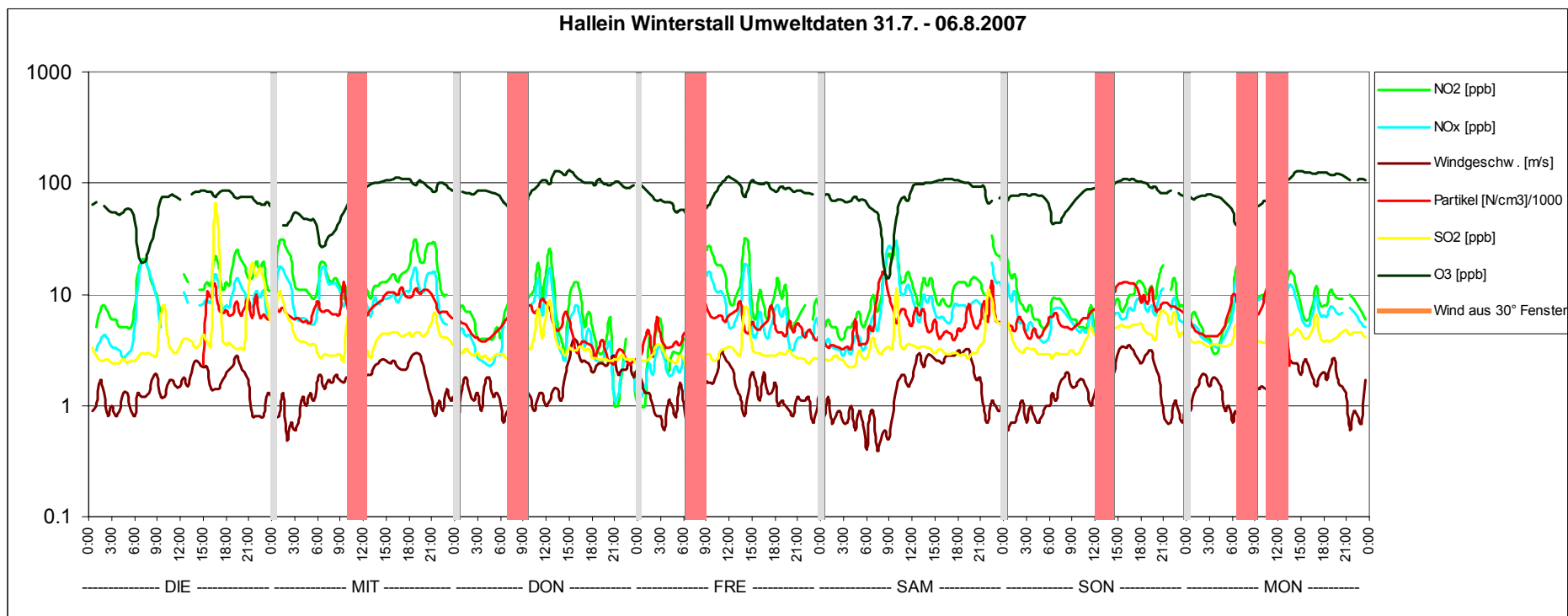


Abb. W.6: Tagesgänge des SO Hallein-Winterstall während der Sommermessung.

PM₁₀ sowie Partikelanzahl sind um 10-Potenzen angeglichen (siehe Legende) um die grafische Darstellung der Zusammenhänge besser zu veranschaulichen

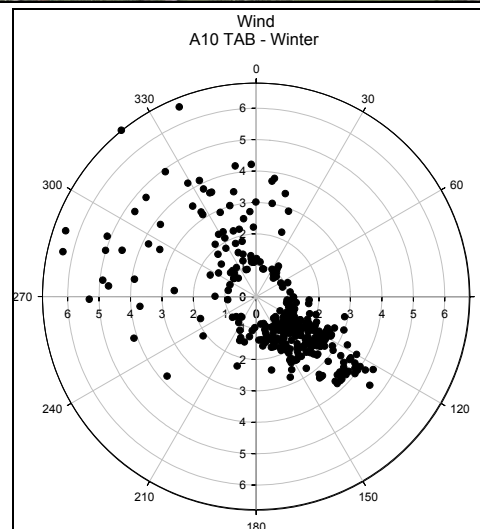
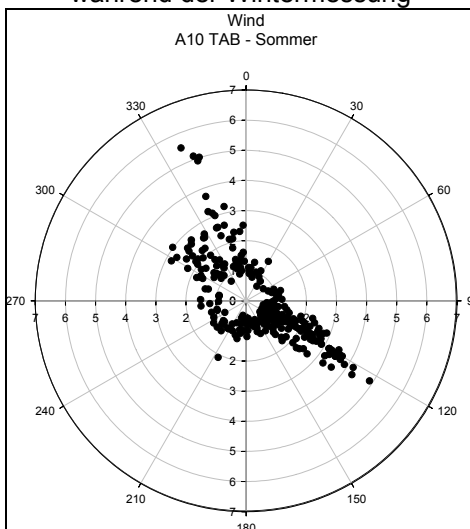
Standort Tauernautobahn (TAB)

Abb.TAB.1.: Luftbild des SO TAB.
Messstation als grüner Kreis dargestellt.
(modifiziert nach Google Earth)



Abb.TAB.2 a&b: Diagramm der Windrichtung
(Kreisgrade [°]) und Windgeschwindigkeit (Achsen
[m/s]) am SO A10.

Links: während der Sommermessung. Rechts:
während der Wintermessung



Anhand der Windrosen (Abb. TAB.2a-b) lässt sich gut erkennen, wie sich die vorherrschenden Windrichtungen während der Messzeiträume präsentieren. Die überwiegend nordwestlichen bzw. südöstlichen Luftbewegungen sind massgeblich durch die Nordsüd-Ausrichtung des Salzachtals beeinflusst. Demnach ist eine Verfrachtung der generierten Verkehrsaerosole eher entlang der Autobahn als fern ab der Autobahn zu erwarten. Dies ist auch in Abb. TAB.6b zu erkennen, z.B. am Sonntag den 27. Jänner 2008 wo es zu einer Annäherung an den Hintergrundwert kommt und weniger die tatsächliche Aerosolbelastung durch den fließenden Verkehr widerspiegelt – dies ist auch in der gegenläufigen Kohlenmonoxid-Belastung mit entsprechender Windstärke beobachtbar (Abb. TAB.6a&b). An windstillen und sonnigen Tagen wäre allerdings eine pendelnde Ostwest-Strömung quer zum TAB-Verlauf zu erwarten, welche lediglich während der Nachtstunden und zur Mittagszeit ihr Minimum aufweisen würde; d.h. wenn die Talflanken durch die solarbedingte Thermik keine Sogwirkung ausbilden. Eine derartige Wettersituation ist allerdings während der beprobten Zeitfenster kaum in Erscheinung getreten. Deutlich erkennbar ist auch der Einfluss des Windes insofern als Windgeschwindigkeit und Kohlenmonoxid gegenläufig zeigen (Abb. TAB.6b). Die während der Messperioden notierten unergiebigsten NS scheinen die Tages-Mittelwerte (Abb. TAB. 4a&b) kaum beeinflusst zu haben.

Nanopartikel in Salzburg Stadt und Umland

Die unmittelbare Nähe zur Aerosolquelle "Fließverkehr" mit den doch relativ hohen Geschwindigkeiten generiert einen ähnlich hohen Partikelaustritt (vgl. Abb. TAB.4a&b mit Abb. R.4a-c) wie das am SO Rudolfplatz bei gleichzeitig höherer Verkehrsdichte zu beobachten war. Bei Vergleich mit den JDTV-Daten zwischen diesen beiden Standorten müsste auf eine höhere Belastung am Rudolfplatz geschlossen werden (vgl. Tabelle 3). Hier zeigt sich aber der Einfluss der Geschwindigkeits-Komponente, welche zu einem höheren Partikelaustritt selbst bei geringerer Kraftfahrzeug-Frequenz führt (Abb. TAB.5a-b).

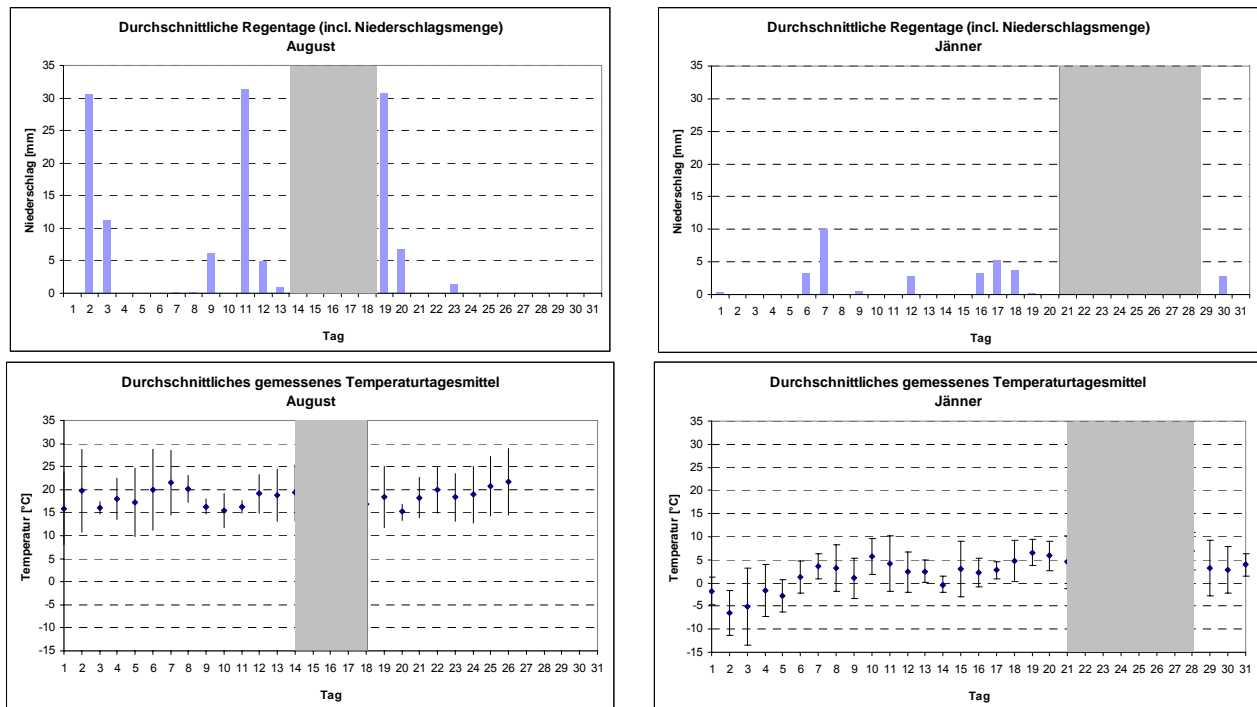


Abb. TAB.3 a - d: Tatsächliche Regentage (a&b) und Temperaturtagesmittelwerte (c&d) nach ZAMG für den jeweiligen Monat. Grau unterlegt der Messzeitraum am SO Tauernautobahn.

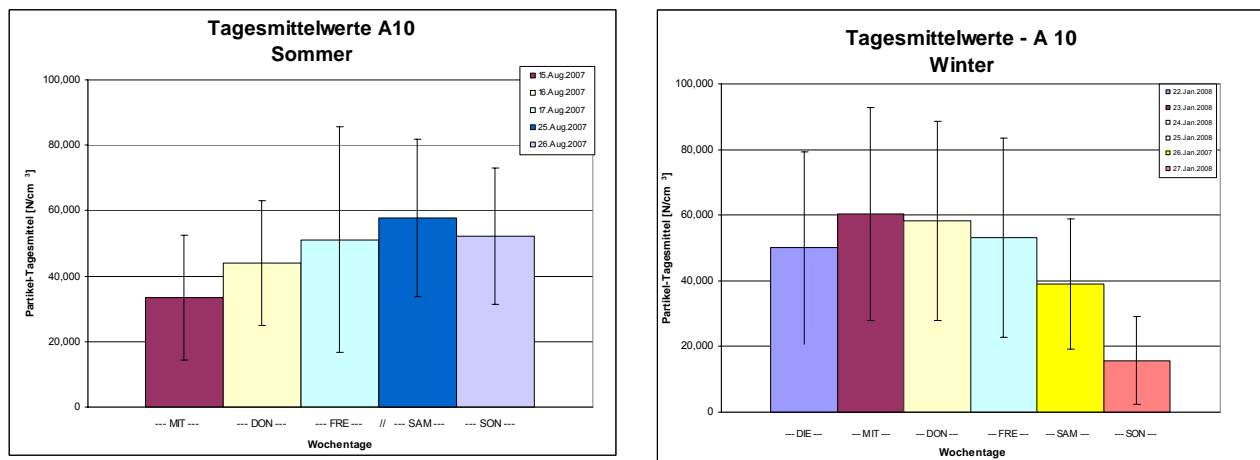


Abb. TAB.4a-b.: Tages-Konzentrations-Mittelwert und deren SD des SO TAB während der Sommer- und Wintermessung

Nanopartikel in Salzburg Stadt und Umland

Die Unterschiede hinsichtlich der Sommer- und Wintererhebung fallen jedoch geringer aus als am SO Rudolfsplatz. Einzig bei der Größenklassen-Verteilung ist durch die Nähe zur Abgasquelle und dessen Geschwindigkeits-Komponente eine massive Präsenz des Primär-Modus' (um 10 nm) erkennbar, die in der Wintermessung sogar noch kräftiger ausfällt (Abb. TAB.5). Durch den verkehrsnahen SO und des dadurch ausgeprägteren "gasförmigen Charakter" dieser Primär-Aerosole, korrelieren diese gut mit den Stickoxid-Daten beider jahreszeitlichen Messperioden (vgl. Abb. TAB.6a-b). In der Wintermessung gilt dies ansatzweise sogar für den PM₁₀-Messwert.

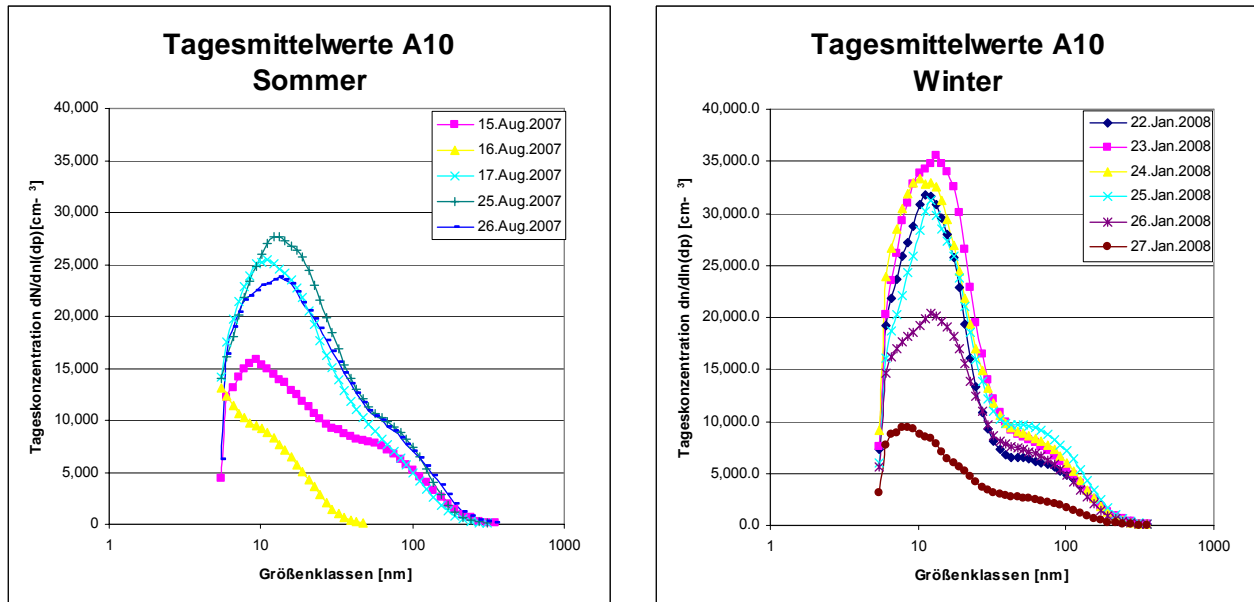


Abb.TAB.5a-b: Tages-Konzentrations-Mittelwert aufgeschlüsselt über den Messbereich zw. 11-1080 nm des SO TAB während der Sommer und Wintermessung

Der bereits erwähnte 27. Jänner mit dem markanten Abfall der Partikelanzahl ist aber auch aus anderer Sicht bemerkenswert: obwohl die Verkehrsfrequenz ähnlich hoch erscheint wie an anderen Tagen könnte sich hier die Wochenend-Beschränkung für den Schwerverkehr auswirken, dabei war eine Reduktion des LKW-Anteils auf rund 50 % des wochentäglichen Anteils beobachtbar (vgl. Abb. TAB.7c&d). Zusammen mit dem an diesem Tag gefallenen NS (vgl. Abb. TAB.3b) sowie eine leicht angestiegene Windgeschwindigkeit (vgl. Abb. TAB.6b) aus NW muss ebenso berücksichtigt werden. Da diese Kombination von Umweltfaktoren auch für andere Tage dieses Messzeitraumes zutreffen, die Partikelbelastung aber nur an diesem Tag so markant absinkt, dürften weniger Umweltfaktoren als vielmehr der geringere LKW-Anteil mit dem Rückgang der Partikelanzahl in Zusammenhang stehen, auch wenn der Effekt leicht zeitversetzt eintritt.

Nanopartikel in Salzburg Stadt und Umland

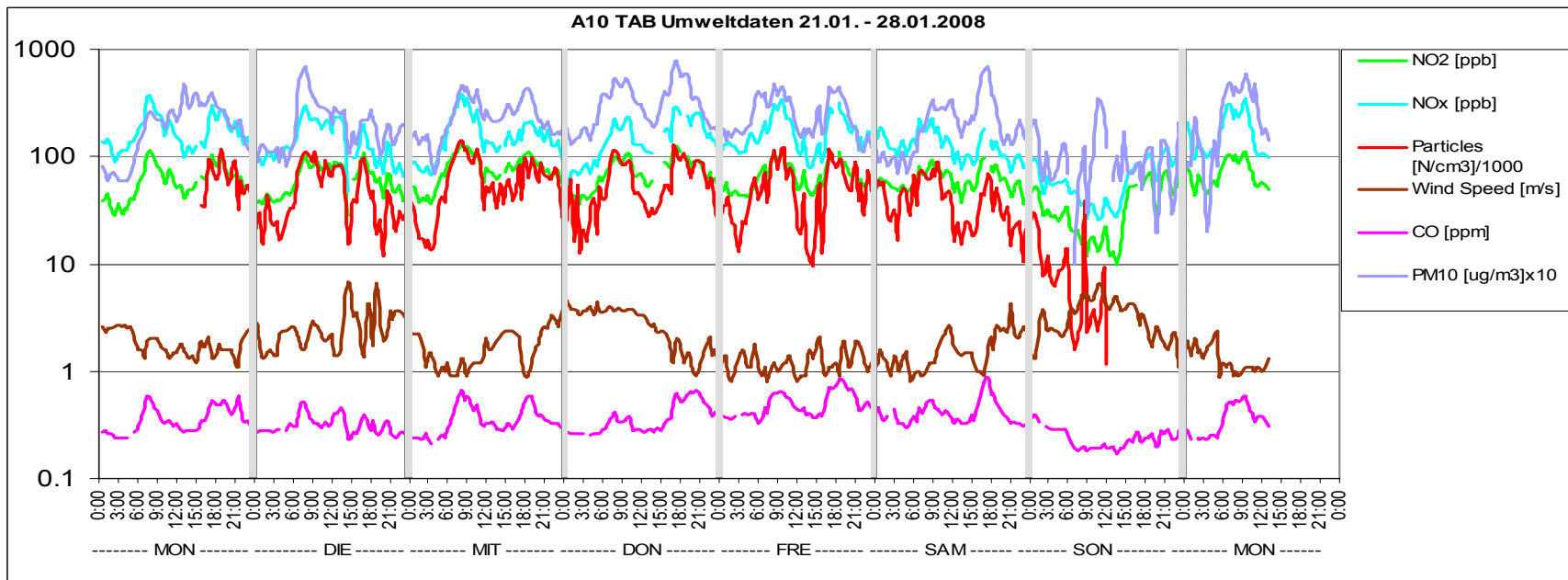
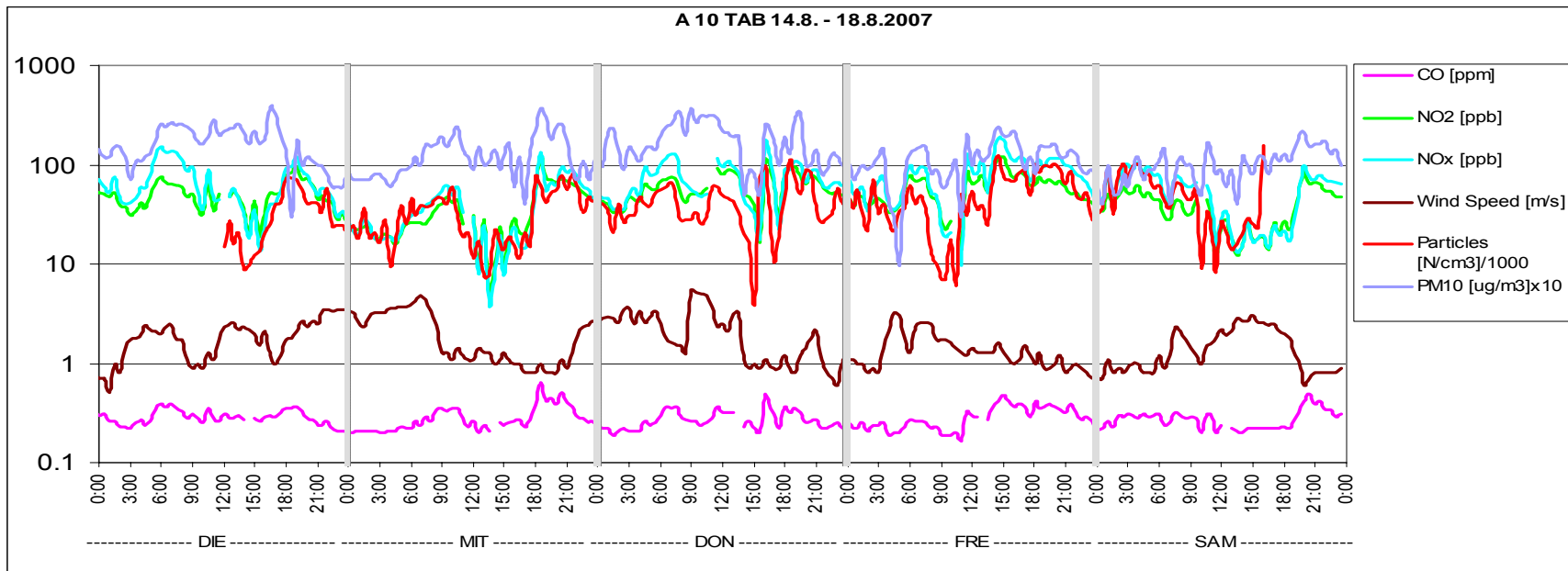


Abb.TAB.6 a&b: Tagesgänge des SO TAB während der Sommermessung. PM₁₀ sowie Partikelanzahl sind um 10-Potenzen angeglichen (siehe Legende) um die grafische Darstellung der Zusammenhänge besser zu veranschaulichen.

Nanopartikel in Salzburg Stadt und Umland

Durch den verkehrsnahen SO sind die Korrelationen von Stickoxiden und Partikelanzahl sowohl in der Sommermessung als auch in der Wintermessung gut erkennbar. In der Wintermessung korreliert dieser sogar teilweise mit dem PM₁₀-Wert (vgl. Abb. TAB.6a-b). Deutlich erkennbar ist auch der Einfluss des Windes, und wird auch in der Gegenläufigkeit von Windgeschwindigkeit und Kohlenmonoxid erkennbar.

Interessant ist besonders bei der Wintermessung der 27. Jänner 2008, an dem ein starker Abfall der Partikelbelastung feststellbar ist, obwohl die Verkehrsfrequenz ähnlich hoch erscheint als an den anderen Tagen. Hier wirkt sich grossteils das sogenannte Wochenend-„Fahrverbot“ aus, wobei der LKW-Anteil auf rund 50 % des Anteils an den anderen Tagen abfällt. Der an diesem Tag gefallene NS (vgl. Abb. TAB.3b) sowie eine leicht angestiegene Windgeschwindigkeit (vgl. Abb. TAB.6b) aus NW müssen ebenso berücksichtigt werden. Da diese Kombination von Umweltfaktoren auch für andere Tage dieses Messzeitraumes zutreffen, die Partikelbelastung aber nur am 27. Jänner so markant absinkt, dürften weniger Umweltfaktoren als vielmehr der geringere LKW-Anteil mit dem Rückgang der Partikelanzahl in Zusammenhang stehen, auch wenn der Effekt leicht zeitversetzt eintritt.

Anzumerken wäre noch eine Besonderheit während der Sommermessung. In diesem Messfenster war keine Messung über ein Wochenende enthalten; doch Mittwoch der 15. August 2007 war ein Feiertag an welchem ebenso die Lkw-Beschränkung gilt. Dies zeigt sich – wie auch während der Wintermessung – durch eine erhebliche Verringerung des LKW-Anteils (Abb. TAB.7b). Auch wenn dies nicht so markant in Erscheinung tritt wie bei der Wintermessung, so bewirkt eine Reduktion des Schwerverkehrs doch ein Absinken des Aerosolinventars.

Die Zeitverzögerte Korrelation der Verkehrsdaten mit der Partikelanzahl während der Sommermessung (Abb. TAB.7a&b) könnte auf die beschleunigte Reaktionsdynamik durch die abiotischen Faktoren zurück zu führen sein (z.B. erhöhte Umgebungstemperatur, relative Feuchte, etc.). Dieser Effekt ist bei kühleren Temperaturen weniger stark ausgeprägt.

Nanopartikel in Salzburg Stadt und Umland

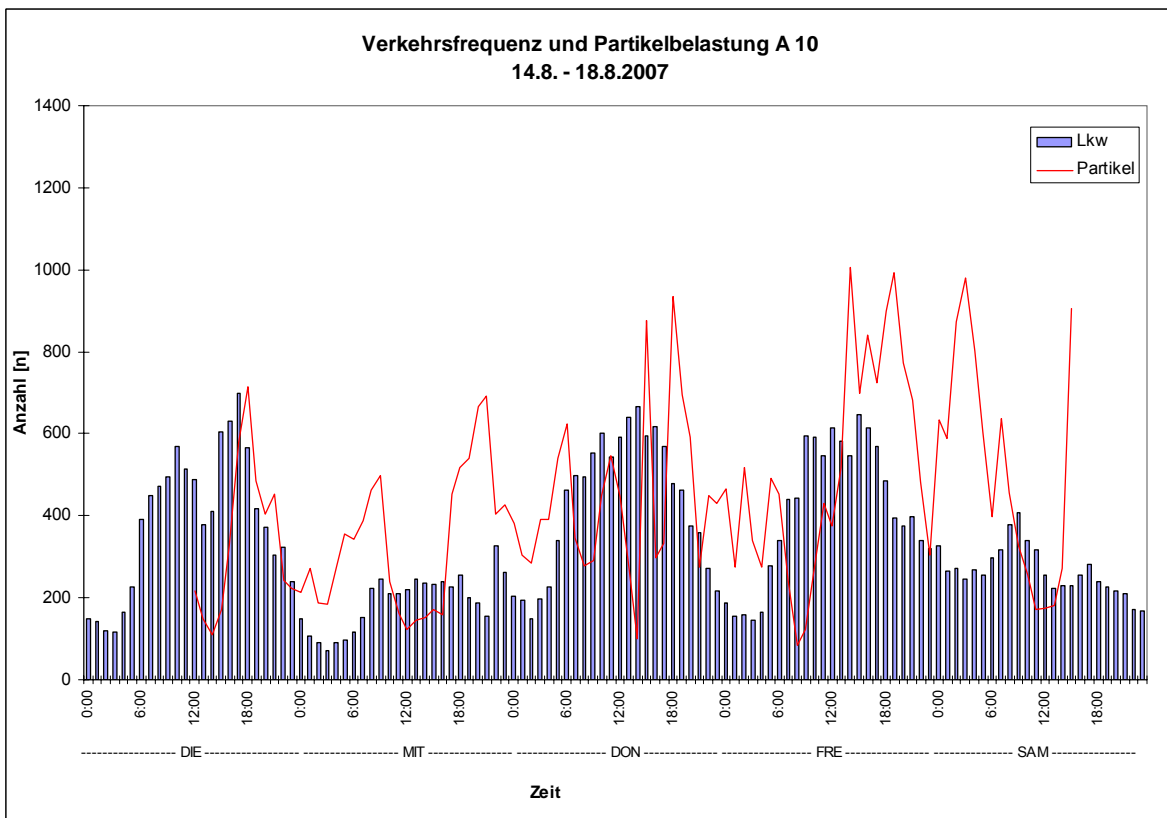
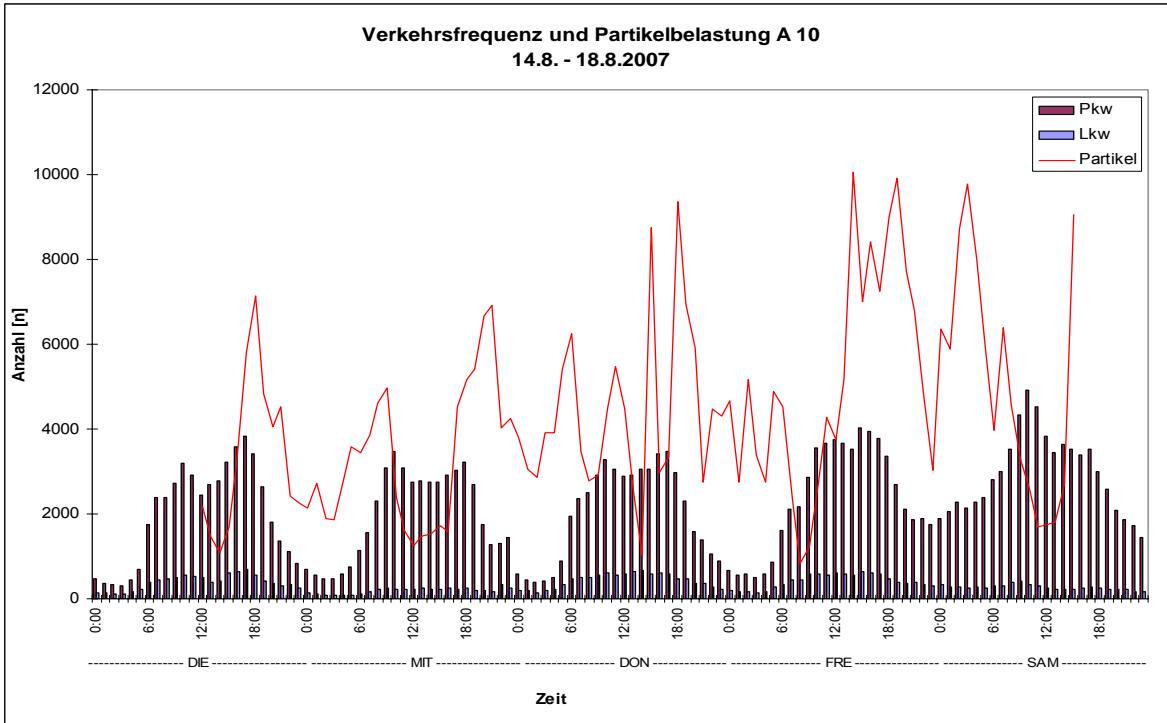


Abb.TAB.7 a&b: Verkehrsstatistik (Kraftfahrzeug-Frequenz) während der Sommermessung (unten ohne PKW-Anteil) korreliert zeitversetzt mit der Partikelanzahl (beide als Stunden-Mittelwerte). Der besseren Übersichtlichkeit halber wurden die Partikelwerte um zwei Zehnerpotenzen gegenüber den tatsächlichen Werten verringert.

Nanopartikel in Salzburg Stadt und Umland

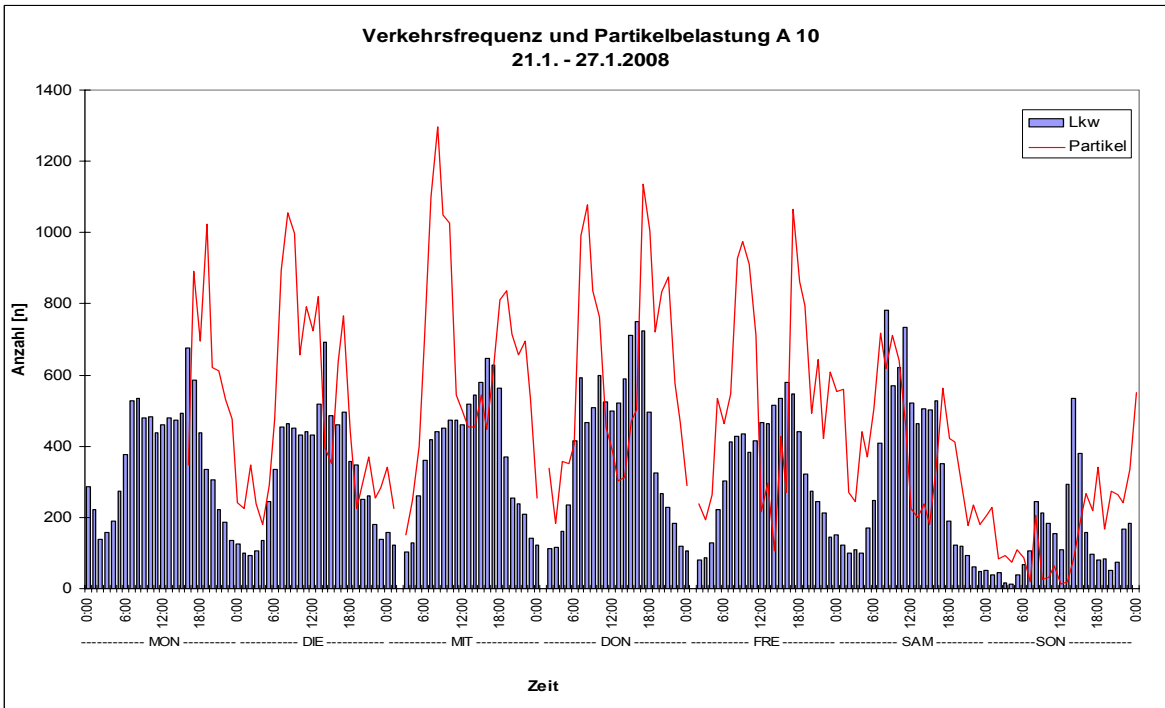
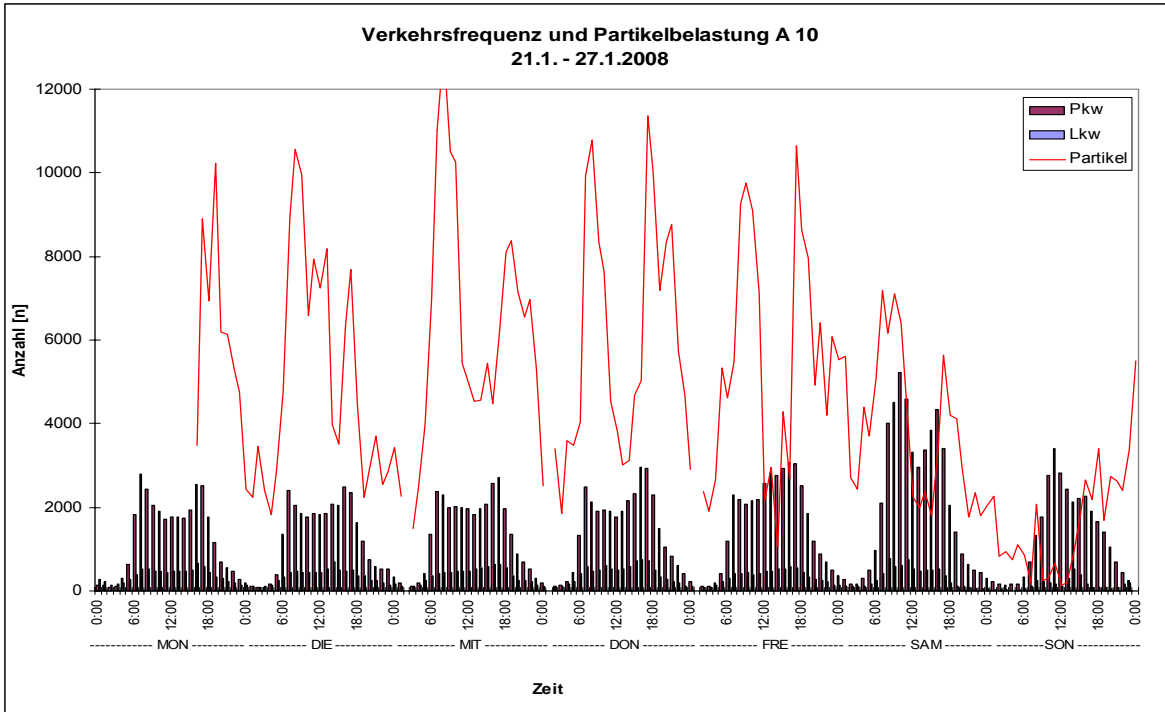


Abb.TAB.7 c&d: Verkehrsstatistik während der Wintermessung (unten ohne PKW-Anteil) korreliert mit der Partikelbelastung (beide als Stunden-Mittelwerte). Das Partikelinventar korreliert mit einer leichten zeitlichen Versetzung relativ gut mit den Abgasaerosolen diesel-getriebener Krafffahrzeuge. Um in der grafischen Darstellung eine bessere Übersichtlichkeit zu gewährleisten wurden die Partikelwerte um zwei Zehnerpotenzen gegenüber den tatsächlichen Werten verringert.

5. Weiterführende Diskussion

Da die NS-Werte aus vorliegenden Messungen kaum einen Einfluss erkennen lassen, wären NS-Messungen direkt an den Mess-Standorten von Interesse. Trotzdem ist ein unmittelbarer Zusammenhang von Verkehrsfluss und Aerosoltransport erkennbar. Tatsächlich wäre eine genauere Analyse der Verkehrsfrequenz – wie am SO TAB – an allen SO wünschenswert, denn letztlich beeinflusst die abgasbedingte Belastung nicht nur vor Ort sondern auch massgeblich die unmittelbare bis nähere Umgebung (Dorsey, 2002).

Die Frage, ob das gemessene Partikelspektrum lediglich als Fraktion von PM₁₀ gesehen werden kann, ist aufgrund der vorliegenden Datensätze eher zu verneinen. Auch in der Literatur wird auf unterschiedliche Kurvenverläufe und schlechte Korrelation von PM₁₀ und Partikeln unter 1000 nm hingewiesen (Janhäll 2006, Rosenbohm 2005).

Da Salzburg durch die besondere geographische Lage während der Wintermonate eine Tendenz zu Inversionswetterlage besteht wäre ein Vergleich der von der LR erfassten Belastungswerte mit jenen der SMPS-Werte über längere Zeit durchaus angebracht (Janhäll 2006). Eine derartige Witterungssituation wurde an den durchgeführten Messperioden leider nicht erfasst.

Im Zuge der Untersuchung hat sich gezeigt, dass sich bei verkehrsnahen SO die Stickoxid-Daten als guter Indikator für die Partikelanzahl eignen. Bei entsprechend hohen NO_x-Konzentrationen kann somit automatisch auf eine hohe Partikelanzahl geschlossen werden und im Bedarfsfall eine SMPS-Messung zur Bestätigung durchgeführt werden.

Grenzwerte für die Partikelanzahl für Aerosole kleiner 1µm liegen zurzeit nicht vor. In der Literatur finden sich aber zahlreiche Hinweise auf die gesundheitliche Relevanz der Partikelkonzentration mit Gewichtung auf deren Anzahl und nicht deren Masse (Pekkanen, 2002; Tiittanen, 1999). Vorschläge zur Grenzwertsetzung gibt es z.B. von der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt in der Schweiz. Sie liegen bei 10¹¹ Partikel pro gefahrenen Kilometer von Pkws und orientieren sich am Potential von Partikelfiltern gemäss dem Stand der Technik (Mohr, 2005).

Danksagung

Die Autoren möchten sich bei *Dipl. Ing. Alexander Kranabetter* für die Bereitstellung der Luftchemischen-, der mikroklimatischen- und der PM₁₀-Daten aus den jeweiligen Mess-Stationen bedanken. Weiteren Dank gebührt Hr. *Josef Haslhofer* von der ZAMG für die Zusammenstellung der meteorologischen Daten. Abschließend seien noch Hr. *Borek* und Hr. *Schröder* von der ASFINAG für die zur Bereitstellung der Verkehrsfrequenzen auf der TAB-A10 gedankt.

6. Literatur

Dorsey J.R.; Nemitz E.; Gallagher M.W.; Fowler D.; Williams P.I.; Bower K.N.; Beswick K.M.: *Direct Measurements and Parameterisation of Aerosol Flux, Concentration and Emission Velocity above a city*. Atmospheric Environment 36, 791 – 800. 2002

Janhäll S.; Olofson K.F.G.; Andersson P.U.; Pettersson J.B.C.; Hallquist M.: *Evolution of the Urban Aerosol during Winter Temperature Inversion Episodes*. Atmospheric Environment 5355 – 5366, 2006.

Mohr M. & Lehmann U.: *Praxiserprobung eines Messverfahrens zur Bestimmung der partikelanzahl an Personenwagen mit Selbstzündungsmotoren*. Bericht Nr. 203`826 der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt. Dübendorf, 2005.

Pekkanen J.; Peters A.; Hoek G.; Tiittanen P.; Brunekreef B.; de Hartog J.; Heinrich J.; Ibaldo-Mulli A.; Kreyling W.G.; Lanki T.; Timonen K.L.; Vanninen E.: *Particulate Air Pollution and Risk of ST-Segment Depression During Repeated Submaximal Exercise Tests Among Subjects With Coronary Heart Disease*. The Exposure and Risk Assessment for Fine and Ultrafine Particles in Ambient Air (ULTRA) Study. Circulation 106:933. 2002.

Rabl P. & Scholz W.: *Wechselbeziehungen zwischen Stickstoffoxid- und Ozon-Immissionen - Datenanalysen aus Baden-Württemberg und Bayern 1990-2003*. Bayerisches Landesamt für Umweltschutz / Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, 2005.

Rosenbohm E.; Vogta R.; Scheera V.; Nielsen O.J.; Dreiseidler A.; Baumbach G.; Imhof D.; Baltensperger U.; Fuchse J.; Jaeschke W.: *Particulate Size Distributions and Mass measured at a Motorway during the BABII Campaign*. Atmospheric Environment: 5696 - 5709, 2005.

Shadbegian R.J. & Gray W.B. : *What Determines Environmental Performance at Paper Mills? The Roles of Abatement Spending, Regulation and Efficiency*. Topics in Economic Analysis & Policy. Volume 3, Issue 1, Article 15, 2003.

Spadaro J. & Rabl A. *Damage costs due to automotive air pollution and the influence of street canyons*. Atmospheric Environment. 2001, 35, 4763-4775.

Tiittanen P.; Timonen K.L.; Ruskanen J.J.; Mirme A.; Pekkanen J.: *Fine particulate air pollution, re-suspended road dust and respiratory health among symptomatic children*. European Respiratory Journal 13: 266 - 273, 1999.