

Evaluierung Feinstaubprogramm – Phase 2

Auftraggeber

Amt der Niederösterreichischen Landesregierung
Abteilung BD4 Anlagentechnik
Landhausplatz 1, Haus 13,
3109 St. Pölten

Durchführung

Kundenservice Fachabteilung Umwelt

Erstellt von

Mag. Claudia Flandorfer

Geprüft von

Dr. Kathrin Baumann-Stanzer

Mag. Marcus Hirtl

Wien, am 29. November 2018

Zahl: 2017/UM/001221

www.zamg.at

1191 Wien, Hohe Warte 38
Tel +43 (0) 1 360 26 - 2403
Fax +43 (0) 1 360 26 - 74
E-Mail: umwelt@zamg.ac.at

Inhalt

Inhalt.....	3
1 Einleitung	5
2 Grundlagen.....	6
2.1 Meteorologische Bedingungen	6
2.2 Aerosolverteilung in der Grenzschicht.....	7
2.2.1 Messprinzip.....	8
2.2.2 Rückstreu-Diagramme	8
2.3 Modellierung	9
2.3.1 Ausbreitungsmodell FLEXPART.....	9
3 Analyse der Feinstaubepisoden.....	12
3.1 Episode 1 : Ende Oktober bis Mitte Dezember 2014	12
3.1.1 Immissionssituation.....	12
3.1.2 Meteorologie	14
3.1.3 Modellierung	25
3.2 Episode 2: Februar und März 2015	29
3.2.1 Immissionssituation.....	29
3.2.2 Meteorologie	31
3.2.3 Modellierung	41
3.3 Episode 3: August 2015	45
3.3.1 Immissionssituation.....	45
3.3.2 Meteorologie	46
3.3.3 Modellierung	51
3.4 Episode 4: November 2015	54
3.4.1 Immissionssituation.....	54
3.4.2 Meteorologie	56
3.4.3 Modellierung	60
3.5 Episode 5: Jänner und Februar 2017.....	63
3.5.1 Immissionssituation.....	63
3.5.2 Meteorologie	64
3.5.3 Modellierung	77
3.6 Episode 6: Mitte Jänner bis Mitte März 2018	82
3.6.1 Immissionssituation.....	82
3.6.2 Meteorologie	83

3.6.3	Modellierung	91
4	Interpretation	94
4.1	Winterepisoden.....	95
4.2	Sommerepisoden	97
5	Zusammenfassung	99
6	Literatur und Quellen.....	101

1 Einleitung

Die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik wurde beauftragt die Maßnahmen des niederösterreichischen Feinstaubprogramms 2013 – 2017 zu evaluieren.

Zur Reduktion der Feinstaubimmission v.a. in den Sanierungsgebieten wurden diverse Maßnahmen im Rahmen des NÖ Feinstaubprogramms 2013 definiert. Die Evaluierung des Feinstaubprogrammes findet in 3 Phasen statt:

In der ersten Phase wurde die PM10-Immissionssituation der letzten 5 Jahre (2013 bis inkl. Winter 2017/18) analysiert. Dafür wurden die Messungen der Luftgütemessstationen der Niederösterreichischen Landesregierung herangezogen. Ziel der Analyse war es, Feinstaubepisoden zu detektieren. Zusätzlich wurden diese Jahre klimatologisch betrachtet. (ZAMG, 2018)

Im zweiten Teil der Evaluierung, welche im gegenständlichen Bericht erläutert wird, werden ausgewählte Feinstaubepisoden genauer betrachtet. Dafür werden für diese Episoden die meteorologischen Bedingungen sowie die groß- und kleinräumigen Ausbreitungsbedingungen beschrieben. Mittels Modellrechnungen werden Herkunftsanalysen durchgeführt, um potentielle Verursacher (z.B. bestimmte Regionen) zu lokalisieren beziehungsweise Ursachen für die erhöhten Feinstaubkonzentrationen (z.B. eine außergewöhnliche meteorologische Situation) festzustellen.

In der dritten Phase der Evaluierung wird für ausgewählte Feinstaubepisoden (basierend auf den Ergebnissen aus Phase 2) eine vertiefende Analyse in Hinblick auf Maßnahmen zur Reduktion der Feinstaubbelastung durchgeführt. Für diese Analyse werden Ausbreitungsrechnungen für eine bestimmte Region unter Berücksichtigung verschiedener Emissionsszenarien (z.B. mit/ohne LKW-Fahrverbot) durchgeführt. Schwerpunkt dabei ist die Evaluierung der Maßnahmen aus dem Feinstaubprogramm der Niederösterreichischen Landesregierung. Die Emissionsdaten für die verschiedenen Szenarien werden von EFA Emissionsforschung Austria GmbH bereitgestellt.

2 Grundlagen

2.1 Meteorologische Bedingungen

Zur Beschreibung der Großwetterlage wurde der Witterungsverlauf von der Homepage der ZAMG (www.zamg.ac.at/cms/de/klima/klima-aktuell/klimamonitoring/) und die Bodenwetterkarten (<https://www.zamg.ac.at/cms/de/wetter/wetterkarte>) verwendet.

Zur Beurteilung der meteorologischen Situation vor und während den Feinstaubepisoden wurden Temperatur- und Windmessungen der TAWES-Stationen (Teilautomatische Wetterstation, <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/messnetze/wetterstationen>) der ZAMG verwendet. Das niederösterreichische Luftgütemessnetz wurde in die Regionen West, Mitte und Ost eingeteilt. Für jede dieser Regionen wurde eine repräsentative TAWES-Station ausgewählt. Natürlich kann eine einzelne Messstation nicht die meteorologischen Gegebenheiten für eine ganze Region im Detail wiedergeben. Für diese Analyse ist jedoch der allgemeine Verlauf der meteorologischen Messungen (z.B. Winddrehungen, Temperaturschwankungen) ausreichend.

Für die Analyse wurden die TAWES-Station Amstetten für die Region West, die TAWES-Station Stockerau für die Region Mitte und die TAWES-Station Großenzersdorf für die Region Ost verwendet. Die Standorte dieser TAWES-Stationen sind in Abbildung 2-1 als Sterne, die Luftgütestationen als Kreise eingezeichnet. Farblich markiert sind die betrachteten Regionen West (blau), Mitte (rot) und Ost (grün).

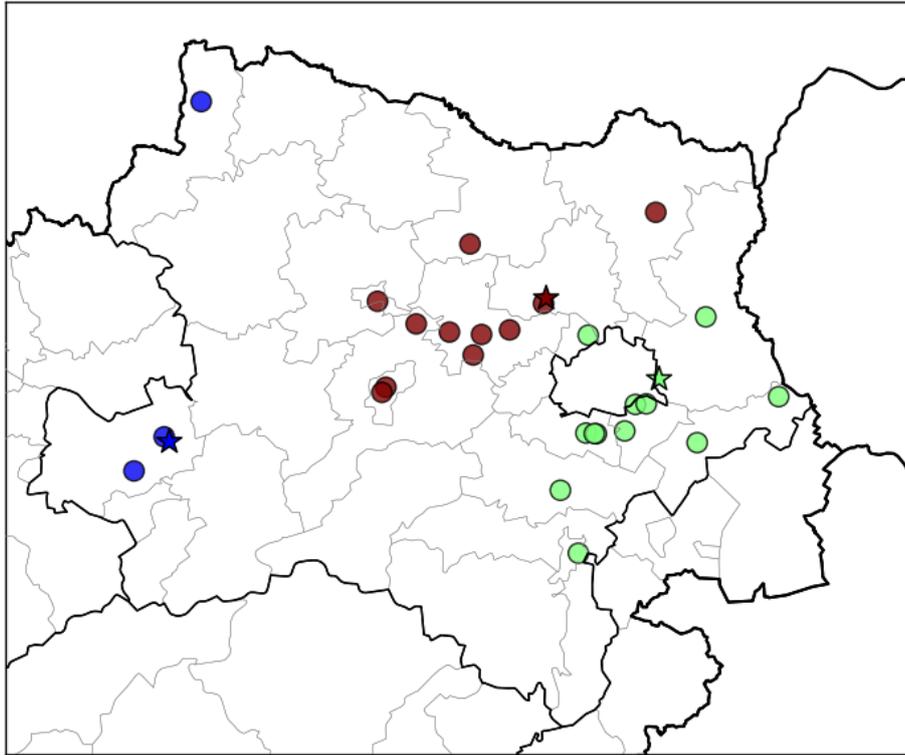


Abbildung 2-1: Standorte der Luftgütestationen (Kreise) und der TAWES-Stationen (Sterne) in den Regionen „West“ (blau), „Mitte“ (rot) und „Ost“ (grün).

Zusätzlich werden Messungen der Radiosonde in Wien Hohe Warte herangezogen, um Informationen über die vertikale Temperaturschichtung und die Windverhältnisse in der Grenzschicht zu erhalten.

2.2 Aerosolverteilung in der Grenzschicht

Wolkenhöhen und die vertikale Aerosolverteilung werden unter Verwendung eines bodengestützten Fernerkundungsverfahrens mit sogenannten Ceilometern gemessen.

Die ZAMG betreibt derzeit sechs Ceilometer CL51: In Wien auf der Hohen Warte, in Nötsch (am Fuße der Villacher Alpe), in Kolm-Saigurn (am Fuße des Sonnblicks), in Radstadt, am Flughafen Salzburg und in Altmünster (Abbildung 2-2).

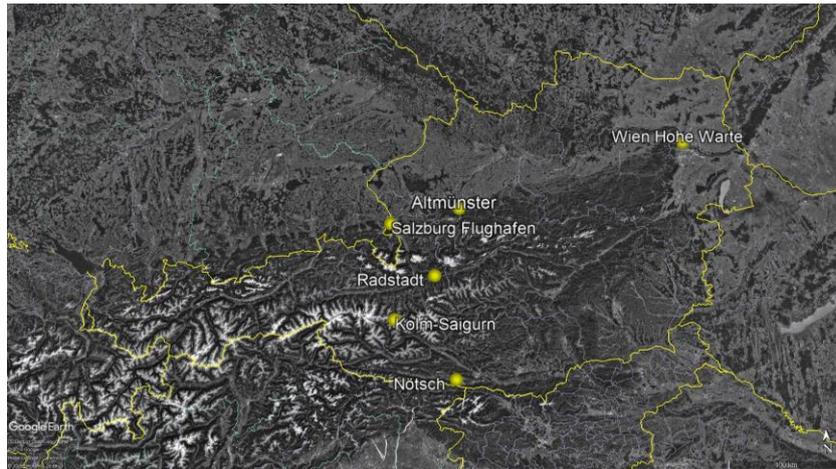


Abbildung 2-2: Ceilometer-Standorte der ZAMG. Quelle: Google Earth.

2.2.1 Messprinzip

Ein Ceilometer nutzt das LIDAR (Light Detection And Ranging) -Verfahren als Messprinzip. Dabei werden kurze LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) - Impulse senkrecht in die Atmosphäre emittiert und dort von Aerosolen zurückgestreut. Aus der Laufzeit und Intensität des rückgestreuten Lichtsignals kann auf Wolkenhöhen und die vertikale Aerosolverteilung geschlossen werden.

Von der Ceilometer-Software werden zu einem Zeitpunkt bis zu 3 Wolkenhöhen und bis zu 3 Aerosolschichthöhen ausgegeben. Dem Verfahren zur Ermittlung der Aerosolschichthöhen liegt die Annahme zugrunde, dass eine gut durchmischte Schicht durch eine vertikal annähernd konstante Aerosolkonzentration gekennzeichnet ist, die an der oberen Schichtgrenze abfällt. Es wird daher vom Boden ausgehend nach Minima des vertikalen Gradienten des Rückstreusignals gesucht. Die zugehörigen Entfernungen werden als Aerosolschichthöhen ausgegeben.

2.2.2 Rückstreu-Diagramme

Aus den Ceilometerdaten können für jeden Tag sogenannte Rückstreudiagramme (Zeit–Höhen-Diagramme über 24 Stunden und 4 km Höhe) mit eingezeichneten Wolkenhöhen und Aerosolschichthöhen ausgegeben werden. Ein Beispiel ist das Rückstreudiagramm vom Ceilometer in Wien Hohe Warte vom 9. Oktober 2014 (Abbildung 2-3). Bereiche mit höheren Aerosolkonzentrationen sind grün dargestellt. Blau bedeutet eine geringe Aerosolkonzentration. Schwarze Punkte oder Linien kennzeichnen den Oberrand einer Aerosolschicht. Weiße Punkte oder Linien zeigen Wolkenuntergrenzen. In diesem Beispiel sieht man deutlich, wie die Höhe der bodennächsten Aerosolschicht (Mischungsschicht) von anfangs wenigen hundert Meter über Grund im Laufe des Tages bis auf ca. 1500 m Höhe über dem

Boden zunimmt (besonders nach Auflösung der rot-weiß eingezeichneten Wolkenschicht), um am Abend wieder rasch abzunehmen.

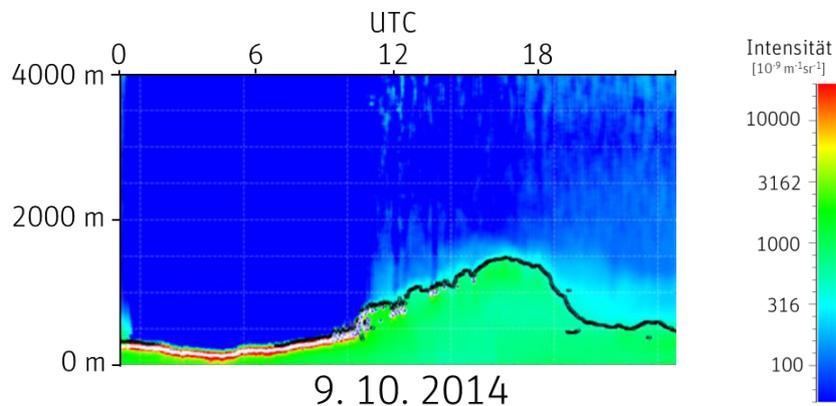


Abbildung 2-3: Rückstreuendiagramme vom Ceilometer Wien Hohe Warte vom 9.10.2014.

2.3 Modellierung

2.3.1 Ausbreitungsmodell FLEXPART

Für die Berechnung der Ausbreitung der Emissionen wurde das Modell FLEXPART verwendet. FLEXPART (FLEXible PARTicle dispersion model, www.flexpart.eu) ist ein Lagrang'sches Partikel Transport- und Dispersionsmodell (Stohl et al., 2005), das sich für die Simulation von atmosphärischen Transportprozessen von mittlerer und großer Reichweite eignet, sofern keine komplexen chemischen Reaktionen zu berücksichtigen sind. Die Anwendungen von FLEXPART reichen vom Transport von Radionukliden bis zur Ausbreitung von Luftschadstoffen (z.B. SO₂, PM). Der Output von FLEXPART eignet sich auch zur inversen Modellierung von z.B. Treibhausgasen, SO₂ oder Vulkanasche, welche die Ermittlung von Emissionsquellen erlaubt (Kristiansen et al., 2012). FLEXPART wurde aus dem Vorgängermodell FLEXTRA (FLEXibel TRAjectory Model) heraus entwickelt (Stohl, 1999).

Für diese konkrete Fragestellung wurde das Modell im sogenannten Rückwärtsmodus verwendet, d.h. dass die Ausbreitungsrechnung nicht von einer bekannten Quelle weg erfolgt, sondern von einer definierten Messstation, und die meteorologischen Eingangsdaten in umgekehrter zeitlicher Reihenfolge eingehen. Die Ausbreitung der Dispersionswolke zeigt dann an, welche Gebiete (und die darin befindlichen Quellen) zu welchen Zeitpunkten einen Beitrag zu Immissionskonzentrationen an der betreffenden Station geliefert haben könnten (sofern die Quellen tatsächlich aktiv waren). Das Ergebnis dieser Modellberechnungen wird als Quell-Rezeptor-Sensitivität (QRS) (bzw. Source Receptor Sensitivity, SRS) bezeichnet. Je länger eine

hohe QRS über einem Gebiet zu sehen ist, umso mehr können dieses Gebiet und die dort befindlichen Quellen zu einer gemessenen Konzentration beitragen. Wichtig ist dabei, dass es sich bei den gegenständlichen Modellergebnissen um die QRS in der Bodenschicht (ca. 100 m über Grund) handelt und die gemessenen Immissionswerte zusätzlich auch noch von höheren Quellen in anderen Gebieten beeinflusst werden könnten, was aber im Rahmen der hier untersuchten Fälle nicht zu erwarten ist.

In Abbildung 2-4 ist ein Beispiel für ein QRS-Feld dargestellt. Alle Berechnungen im vorliegenden Bericht sind in stündlichen Schritten durchgeführt. Die in den Abbildungen angegebene Uhrzeit gibt den Anfang des betrachteten Zeitfensters an, d.h. im Beispiel 30.10.2014 8:00 Uhr steht für das Zeitfenster von 30.10.2014 8:00 Uhr bis 9:00 Uhr. Je höher der Faktor $[1/m^3]$ in den dargestellten QRS-Feldern ist, desto höher ist der Beitrag des Gebietes an der gemessenen Feinstaubkonzentration, vorausgesetzt, ein PM10-Emittent ist in diesem Gebiet situiert. Da die Quellen jedoch räumlich nicht gleichverteilt sind, ist in der Interpretation zu berücksichtigen: geringere Freisetzungen in Bereichen mit hohem QRS-Wert können zu gleichen Messwerten führen wie hohe Freisetzungen in Bereichen mit niedrigem QRS-Wert. Ein Beitrag durch PM10-Emittenten, die in einem Gebiet situiert sind, in welchem die Modellierung für QRS Null liefert, ist jedoch auszuschließen. Je weiter man in der Zeit bei der Rückwärtsmodellierung zurückgeht, desto größer wird im Allgemeinen das Herkunftsgebiet.

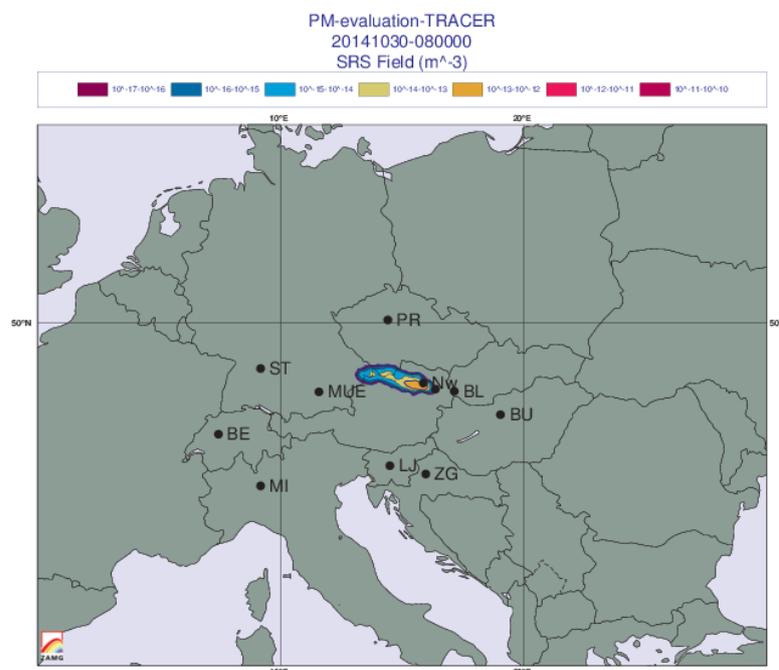


Abbildung 2-4: Beispiel eines FLEXPART QRS Feldes.

Für den vorliegenden Bericht wurden für die auffälligen Feinstaubepisoden jeweils zwei FLEXPART Berechnungen durchgeführt. Für die Berechnungen muss ein „Zielgebiet“ (kann ein Punkt, aber auch eine Fläche sein), bei dem die Luft ankommt, definiert werden. Da es nicht sinnvoll ist, ganz Niederösterreich als Zielgebiet zu definieren, wurden zwei Zielgebiete ausgewählt: „Gebiet Ost“ und „Gebiet Mitte“. Die beiden Zielgebiete entsprechen etwa den Regionen Ost und Mitte (vgl. Abbildung 2-1), in denen erfahrungsgemäß häufiger Grenzwertüberschreitungen als in der Region West auftreten.

Die zwei ausgewählten Gebiete sind in Abbildung 2-5 dargestellt. Das Gebiet Ost (violetter Bereich) liegt südöstlich von Wien, zentriert über die meisten Luftgütestationen der Region Ost. Das Gebiet erstreckt sich von $47,75^{\circ}/16,25^{\circ}$ (l.u.) bis $48,25^{\circ}/17,00^{\circ}$ (r.o.) und hat eine Ausdehnung von etwa 55 x 55 km. Das Gebiet Mitte (grüner Bereich) liegt nordwestlich von Wien. Das Gebiet liegt zentriert über die meisten Stationen in der Region Mitte und erstreckt sich von $48,25^{\circ}/15,50^{\circ}$ (l.u.) bis $48,50^{\circ}/16,25^{\circ}$ (r.o.) und hat eine Ausdehnung von etwa 55 x 28 km.

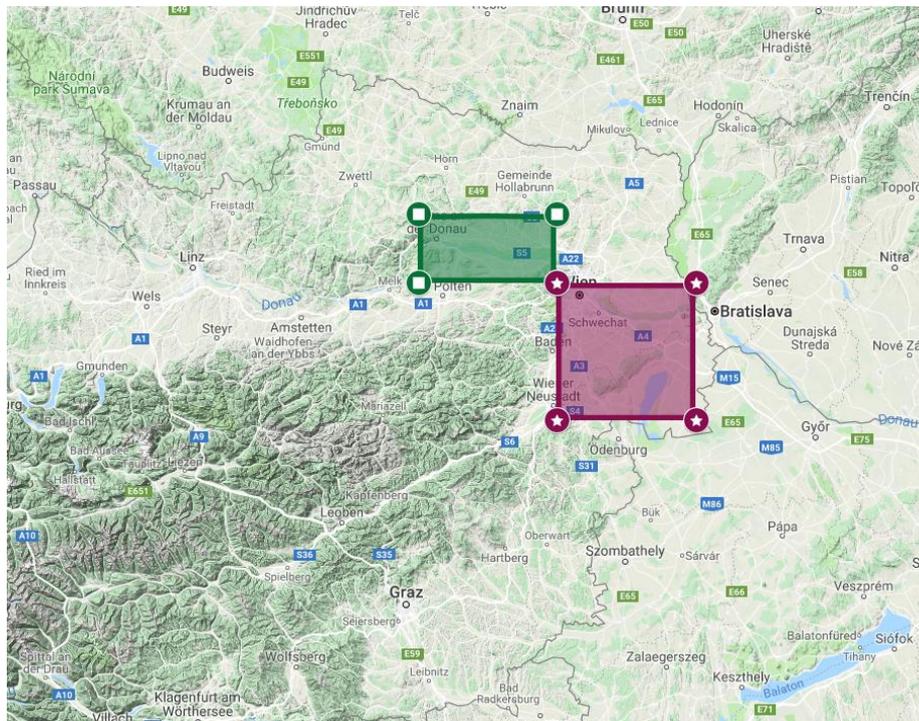


Abbildung 2-5: Zielgebiete für die Flexpart Rückwärtsrechnung (Gebiet Mitte...grün, Gebiet Ost...violett). Quelle: Google Maps.

3 Analyse der Feinstaubepisoden

In den folgenden Kapiteln werden sechs ausgewählte Feinstaubepisoden im Detail analysiert:

- Episode 1: Ende Oktober bis Mitte Dezember 2014
- Episode 2: Februar und März 2015
- Episode 3: August 2015
- Episode 4: November 2015
- Episode 5: Jänner und Februar 2017
- Episode 6: Mitte Jänner bis Mitte März 2018

Es wird auf die meteorologischen Gegebenheiten während der Episoden eingegangen und die Ausbreitungsbedingungen werden beschrieben. Zusätzlich wird anhand von Radiosonden-Messungen und den Rückstreudiagrammen des Ceilometers Wien Hohe Warte die vertikale Schichtung der Atmosphäre betrachtet. Für ausgewählte PM10-Spitzen innerhalb der Episoden wurden mit FLEXPART Rückwärtsrechnungen durchgeführt, um die Herkunftsregionen der Luft bestimmen zu können.

3.1 Episode 1 : Ende Oktober bis Mitte Dezember 2014

3.1.1 Immissionssituation

Im Zeitraum Ende Oktober bis Mitte Dezember 2014 gab es in Niederösterreich mehrere Überschreitungen des PM10-Tagesmittelgrenzwertes. Am 30.10. wurden PM10-Konzentrationen über $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ von 10 der insgesamt 26 Stationen registriert. 4 davon in der Region Mitte, 6 in der Region Ost. Am darauffolgenden Tag lieferte noch eine Station in der Region Ost (Schwechat) einen PM10-Tagesmittelwert über dem Grenzwert. Nach dieser Spitze gingen die Konzentrationen wieder kurz zurück.

Am 3.11. wurde von 6 Stationen (2 in der Region Mitte, 4 in der Region Ost) Überschreitungen des Grenzwertes verzeichnet. Danach gingen die Konzentrationen schnell zurück.

Am 12.11. zeigten 3 Stationen in der Region Ost, mit $51,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Hainburg), $51,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Klosterneuburg) und $52,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Schwechat) PM10-Tagesmittelwerte knapp über dem Grenzwert. Bis zum 19.11. nahmen die Immissionswerte kontinuierlich ab, bevor sie wieder zu steigen begannen. Die Konzentrationen blieben aber unter dem Grenzwert.

Ab dem 13.12. wurden in Niederösterreich drei Tage lang erhöhte Feinstaubkonzentrationen gemessen. In der Region Ost wurden am 13.12. und 14.12. an der Station Schwechat PM10-Tagesmittelwerte von $50,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bzw. $57,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und am 15.12. an der Station Hainburg $52,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen. In der Region Mitte zeigt die Station St. Pölten/Eybnerstraße eine deutliche PM10-Spitze ($72,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM10 im Tagesmittel) am 14.12. Da die zweite Luftgütemessstation in St. Pölten und auch alle anderen Stationen in der Region Mitte an diesem Tag keine erhöhten PM10-Werte gemessen haben, kann von einer sehr lokalen Beeinflussung der Station ausgegangen werden.

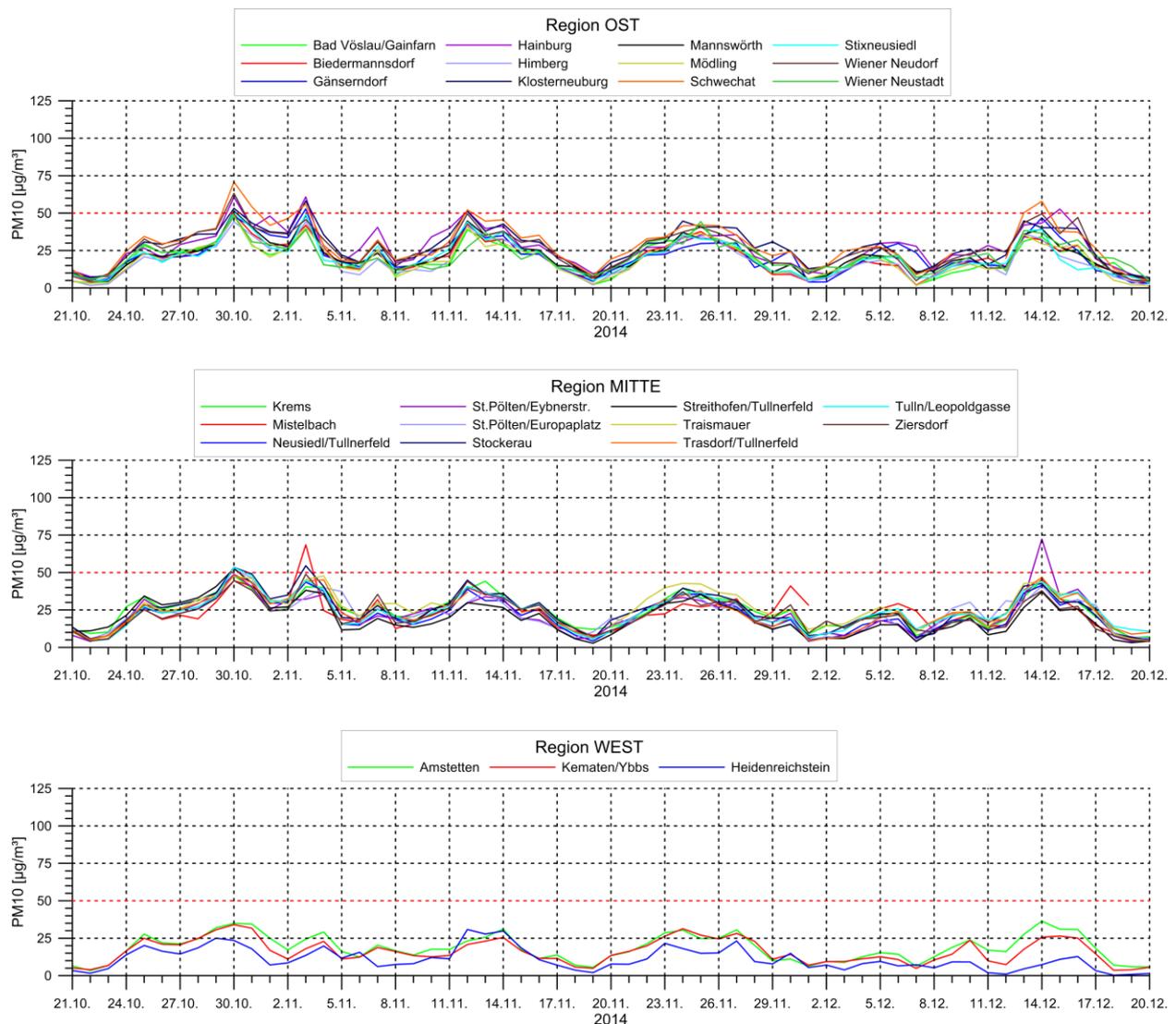


Abbildung 3-1: PM10-Tagesmittelwerte der niederösterreichischen Luftgütestationen eingeteilt in die Regionen Ost (oben), Mitte (Mitte) und West (unten).

3.1.2 Meteorologie

Nachfolgend sind für die Regionen West (Abbildung 3-2), Mitte (Abbildung 3-3) und Ost (Abbildung 3-4) die Zeitreihen der meteorologischen Messungen sowie die Spanne zwischen dem maximalen und minimalen Tagesmittelwert der PM10-Messungen (blauer Bereich) im jeweiligen Gebiet dargestellt. Die meteorologischen Messungen stammen von den für die jeweilige Region ausgewählten TAWES-Stationen (Kapitel 2.1). Dargestellt wurden die Tagesmittelwerte der Temperatur (grüne Linie), die Halbstundenmittelwerte der Windrichtung (rote Punkte) und das 5-Stunden gleitende Mittel der Windgeschwindigkeit (graue Linie). Der betrachtete Zeitraum (21.10. bis 20.12.2014) ist auf 2 Abbildungen aufgeteilt, damit die Grafik übersichtlicher wird.

REGION WEST

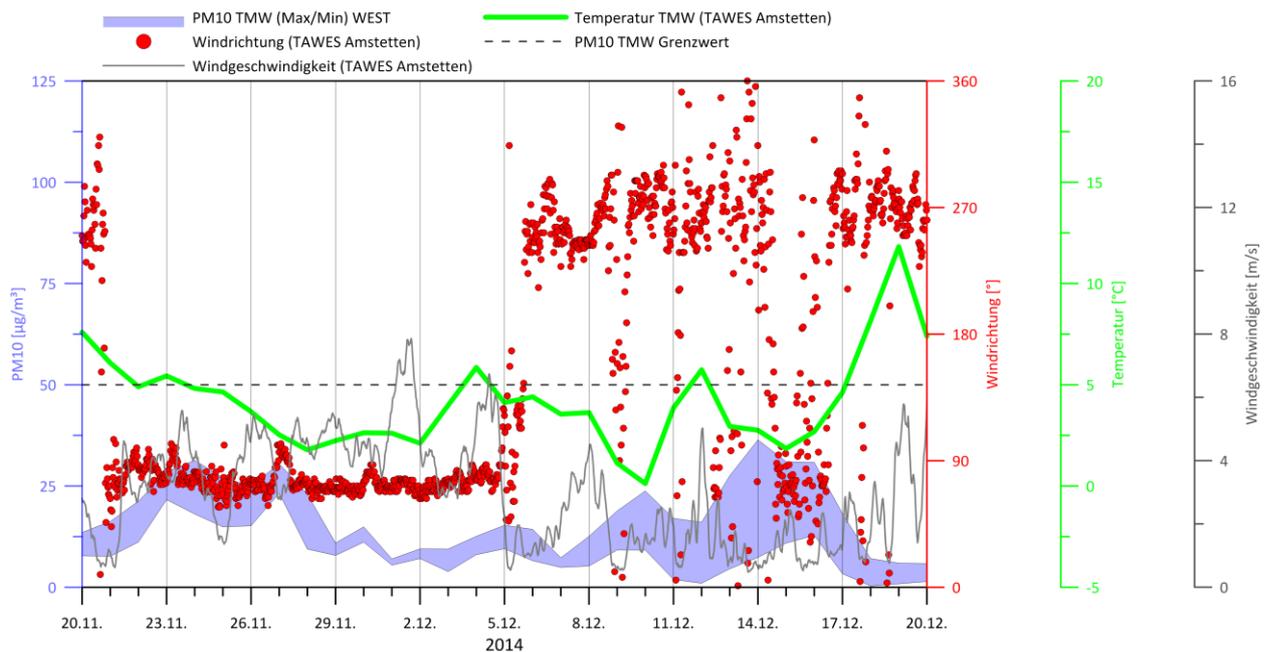
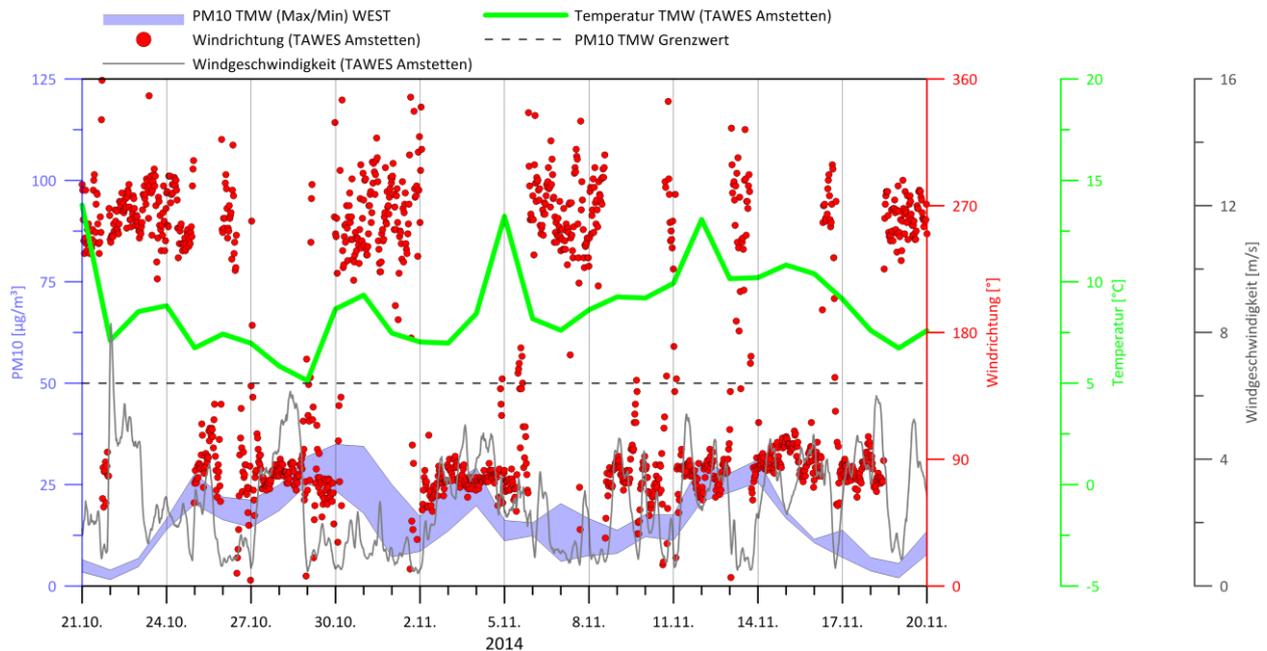


Abbildung 3-2: Spanne zwischen dem maximalen und minimalem Tagesmittelwert der PM10-Konzentrationen der Luftgütestationen in der Region „West“ (blaue Fläche), sowie die Tagesmittelwerte der Temperatur (grüne Linie), 5-Stunden gleitendes Mittel der Windgeschwindigkeit (graue Linie) und Stundenwerte der Windrichtung (rote Punkte) der TAWES Station Amstetten.

REGION MITTE

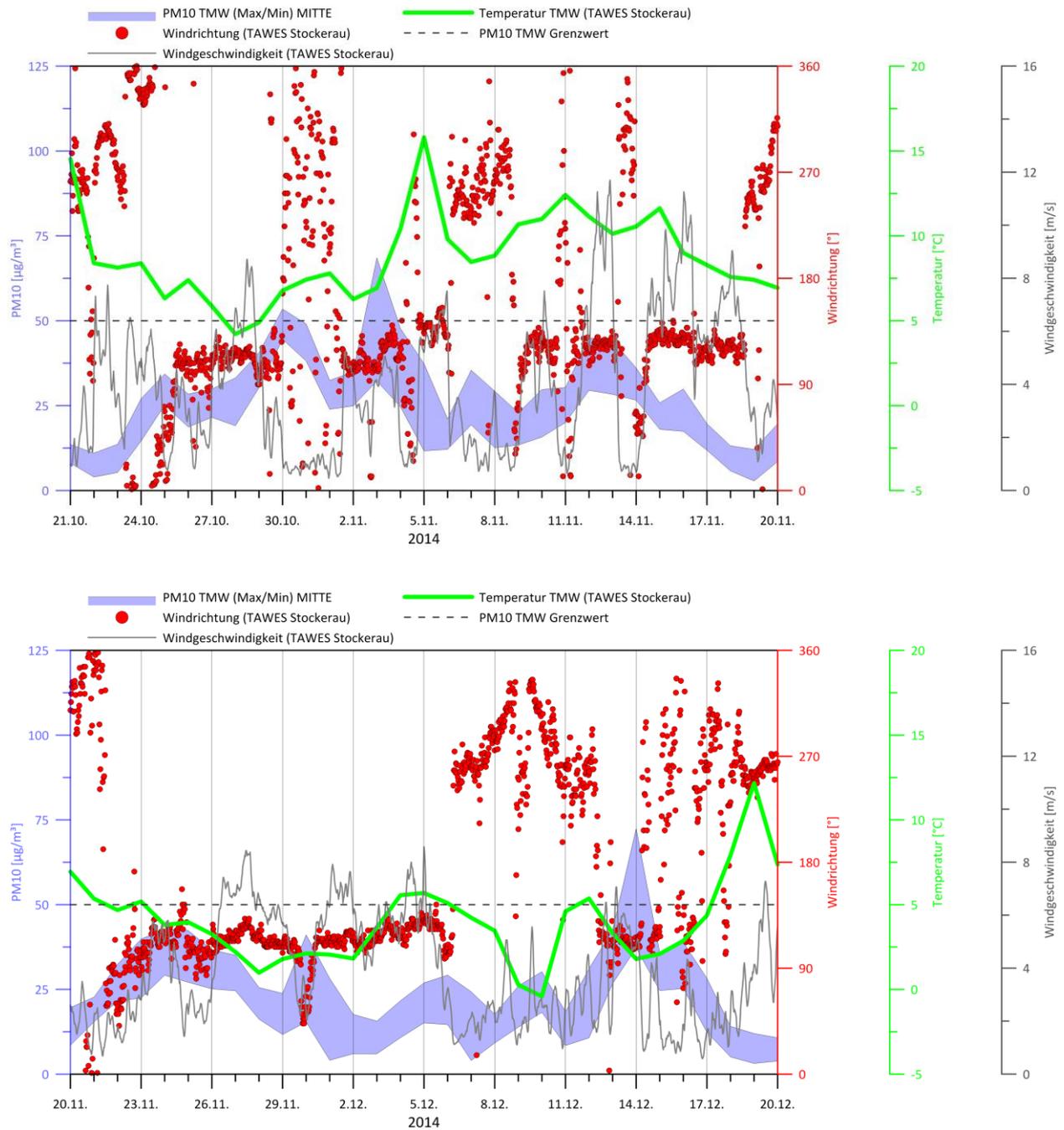


Abbildung 3-3: Spanne zwischen dem maximalen und minimalem Tagesmittelwert der PM10-Konzentrationen der Luftgütestationen in der Region „Mitte“ (blaue Fläche), sowie die Tagesmittelwerte der Temperatur (grüne Linie), 5-Stunden gleitendes Mittel der Windgeschwindigkeit (graue Linie) und Stundenwerte der Windrichtung (rote Punkte) der TAWES Station Stockerau.

REGION OST

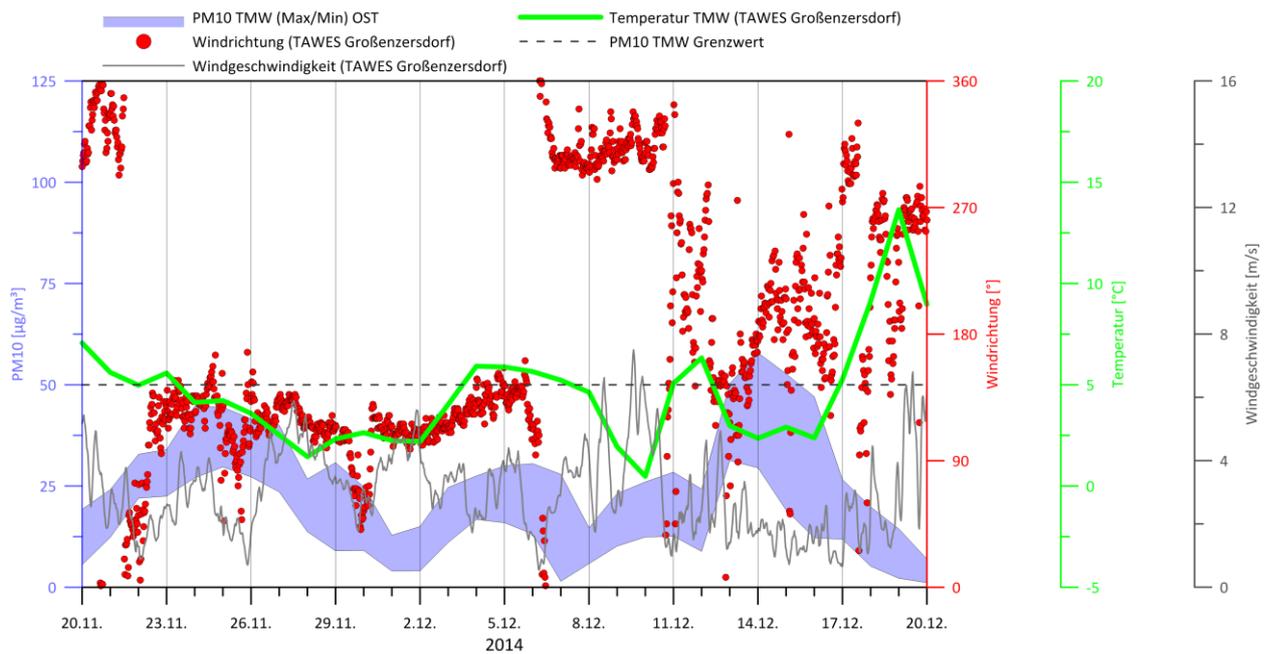
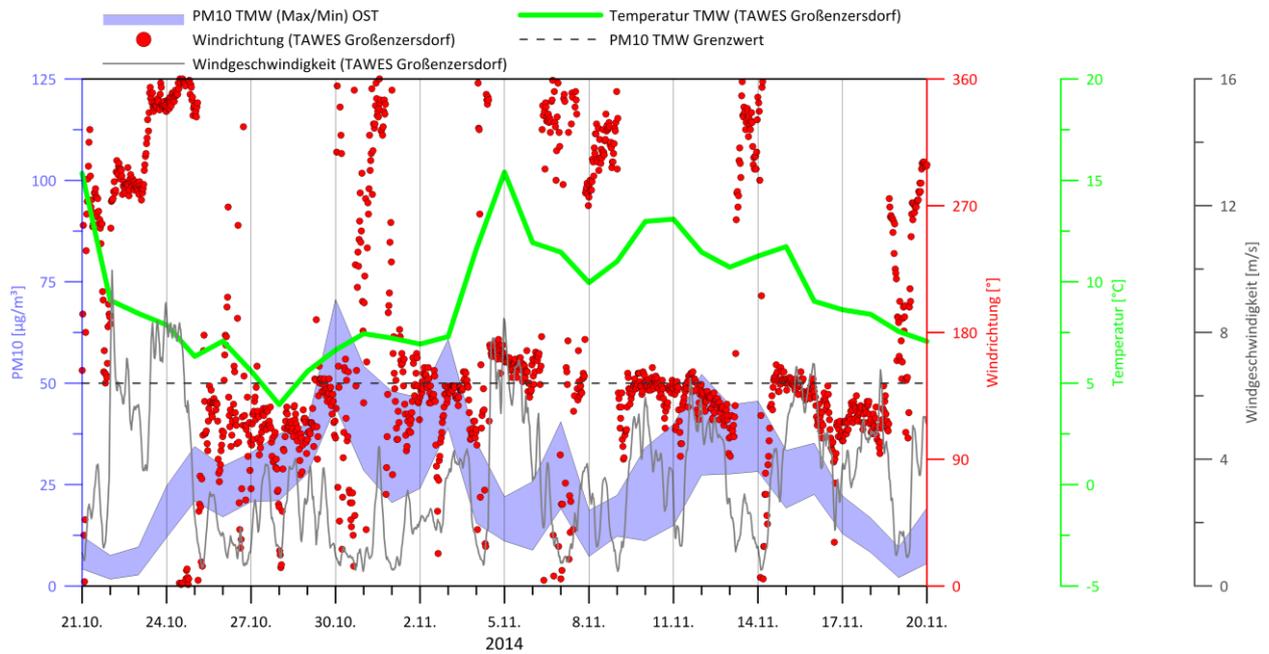


Abbildung 3-4: Spanne zwischen dem maximalen und minimalem Tagesmittelwert der PM10-Konzentrationen der Luftgütestationen in der Region „Ost“ (blaue Fläche), sowie die Tagesmittelwerte der Temperatur (grüne Linie), 5-Stunden gleitendes Mittel der Windgeschwindigkeit (graue Linie) und Stundenwerte der Windrichtung (rote Punkte) der TAWES Station Großenzersdorf.

Zu Beginn der betrachteten Episode lag die Temperatur in allen drei Regionen bei etwa 15 °C und es waren starke Westwinde vorherrschend. Ab dem 25.10. beeinflusste ein Hochdruckgebiet mit Kern über Osteuropa das Wettergeschehen in Österreich. In Nordostösterreich drehte der Wind auf östliche bzw. südöstliche Richtungen und die Temperatur sank infolge des Hereinströmens kontinentaler Kaltluft etwas ab. Im östlichen Flachland war eine abgehobene Inversion (Temperaturanstieg mit der Höhe) mit Hochnebel wetterbestimmend, d.h. es war eine austauscharme Situation mit relativ niedrigen Windgeschwindigkeiten vorherrschend. An allen niederösterreichischen Luftgütestationen wurde in dieser Zeit einen Anstieg der PM10-Konzentration gemessen. Die TAWES-Stationen zeigten in diesem Zeitraum meist Winde aus südöstlichen Richtungen. Oberhalb der Temperaturinversion wurden aufgrund eines sich bildenden Hochdruckgebietes über West- und Mitteleuropa ab dem 29.10. 12 UTC Winde aus West bis Nordwest gemessen (Abbildung 3-6).

Da durch die abgehobene Inversion der Austausch der Luft in der atmosphärischen Grenzschicht mit der oberhalb der Inversion liegenden freien Atmosphäre unterbunden war, konnten sich die Schadstoffe bodennah akkumulieren. Vergleicht man die vertikalen Temperaturprofile der Radiosonde Wien Hohe Warte (Abbildung 3-5) mit den gemessenen Rückstreuintensitäten des Ceilometers (Abbildung 3-7), so ist gut zu erkennen, dass genau in der Höhe der Temperaturinversion die Grenzen zwischen Aerosolschichten liegen. In der untersten Aerosolschicht (zwischen Boden und der untersten schwarze Linie) ist über die dargestellten Tage hinweg eine Zunahme des Aerosolgehalts erkennbar. Am 30.10. wurde in der Region Ost und Mitte der PM10-Tagesmittelgrenzwert an mehreren Stationen überschritten.

Am 31.10. machte sich der Einfluss eines Hochdruckgebietes in West- und Mitteleuropa stärker bemerkbar, nur entlang der Donau, im Wald- und Mostviertel sowie im Südburgenland blieb es meist trüb. Der Wind drehte sowohl am Boden als auch in der Höhe (Abbildung 3-6) auf meist nördliche Richtungen und die Feinstaubkonzentration ging zurück.

Während sich in den darauffolgenden Tagen im Westen Österreichs langsam der Einfluss eines starken Tiefdruckgebietes über den britischen Inseln bemerkbar machte, blieb in Ostösterreich der Einfluss des Hochdruckgebiets spürbar. Im Flachland drehte der Wind wieder auf südöstliche bis östliche Richtungen. Auch in der Höhe waren Winde aus südlichen Richtungen vorherrschend (Abbildung 3-6). Eine ausgeprägte Temperaturinversion (Abbildung 3-5, 2.11.2014) sorgte dafür, dass die Durchmischung der Luftschadstoffe auf wenige hundert Meter

über Grund beschränkt blieb, was einen Anstieg der Feinstaubkonzentrationen zur Folge hatte. Am 3.11. wurden Feinstaubkonzentration über $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Tagesmittel an mehreren Stationen in der Region Ost und Mitte beobachtet.

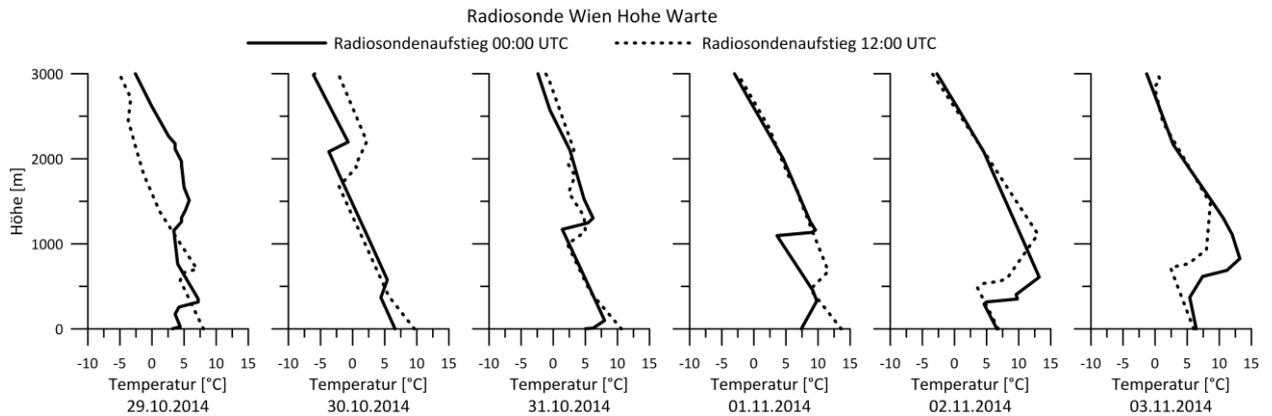


Abbildung 3-5: Temperaturprofile der Radiosonde in Wien Hohe Warte von 29.10. bis 3.11.2014.

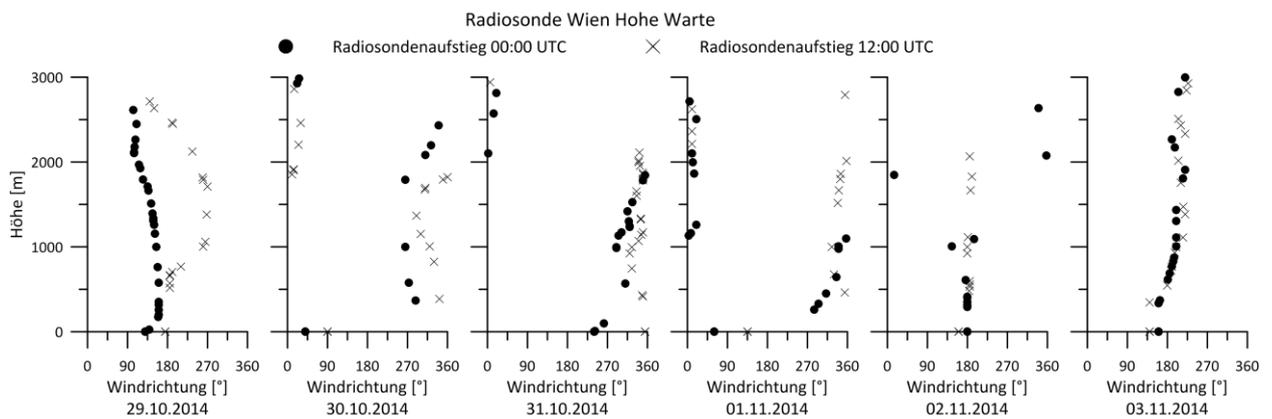


Abbildung 3-6: Windrichtungsprofile der Radiosonde in Wien Hohe Warte von 29.10. bis 3.11.2014.

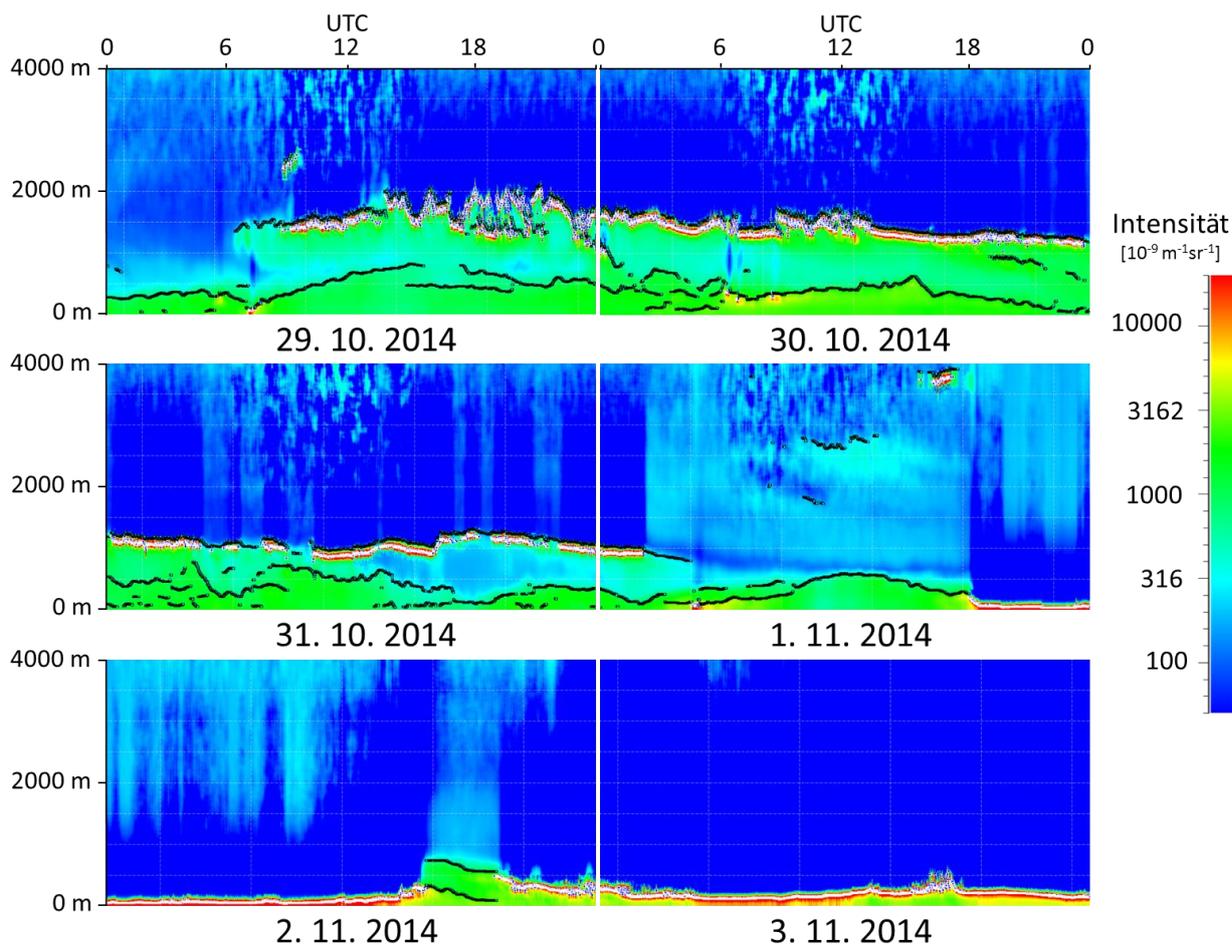


Abbildung 3-7: Rückstreuintensitäten des Ceilometers Wien Hohe Warte von 29.10. bis 3.11.2014.

Nach dieser austauscharmen Wetterlage rückte das Tief von den britischen Inseln näher an Österreich heran und dessen Einfluss machte sich auch in Ostösterreich bemerkbar. An der Vorderseite des Tiefs wurde warme Luft aus den südlichen Regionen Europas nach Österreich transportiert, weshalb die Temperaturen anstiegen. Gleichzeitig frischte der Wind auf und die Feinstaubkonzentrationen gingen zurück. Ein Tief südlich der Alpen bedingte ab dem 6.11. eine Winddrehung auf nordwestliche bis westliche Richtungen. Das dazugehörige Frontensystem verursachte Niederschläge in großen Teilen Österreichs. Ab dem 9.11. rückte ein nächstes Tief von den britischen Inseln näher an Österreich heran und die großräumige Strömung drehte in Bodennähe und in der Höhe auf Südost bzw. Süd (Abbildung 3-9). Während im Osten am 11.11. weiterhin Südostwind gemessen wurde, zeigten die Region West und teilweise die Region Mitte noch etwa einen Tag lang Winde aus westlichen Richtungen, danach stellt sich wieder Südostwind ein. In den Tagen vor der gemessenen Grenzwertüberschreitung zeigten die Temperaturprofile wieder deutliche Inversionen, die den Oberrand der schadstoffreichen bodennahen Schicht begrenzten (Abbildung 3-8). In den Rückstreuintensitäten des Ceilometers

(Abbildung 3-10) ist dementsprechend die Zunahme der Aerosole unterhalb der Inversion gut erkennbar. In der Region Ost wurden am 12.11. an drei Stationen Tagesmittelwerte der Feinstaubkonzentration knapp über dem Grenzwert gemessen.

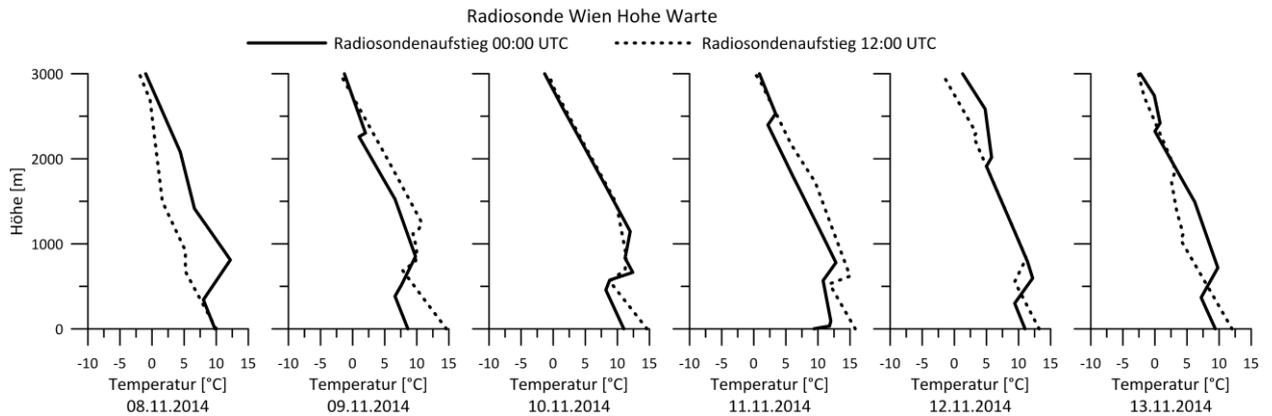


Abbildung 3-8: Temperaturprofile der Radiosonde Wien Hohe Warte von 8.11 bis 13.11.2014.

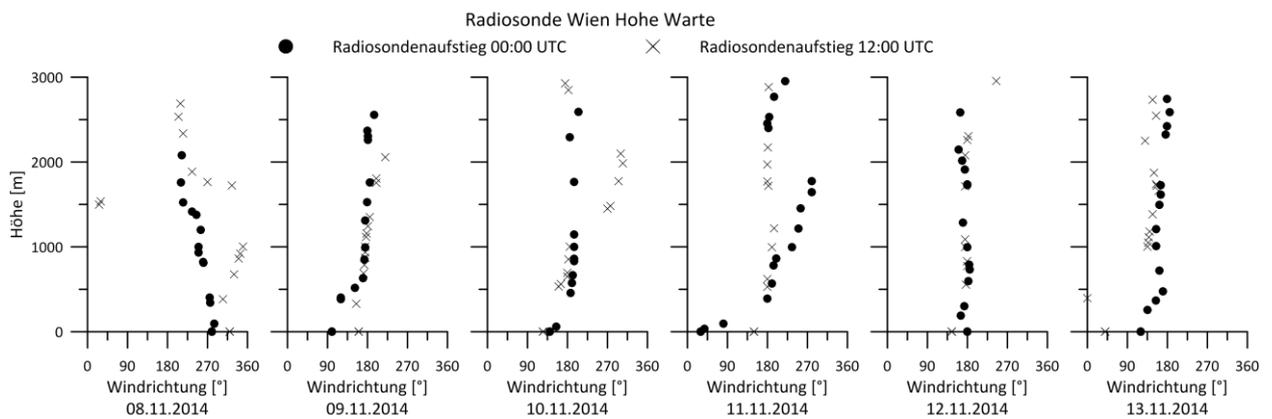


Abbildung 3-9: Windrichtungsprofile der Radiosonde Wien Hohe Warte von 8.11 bis 13.11.2014.

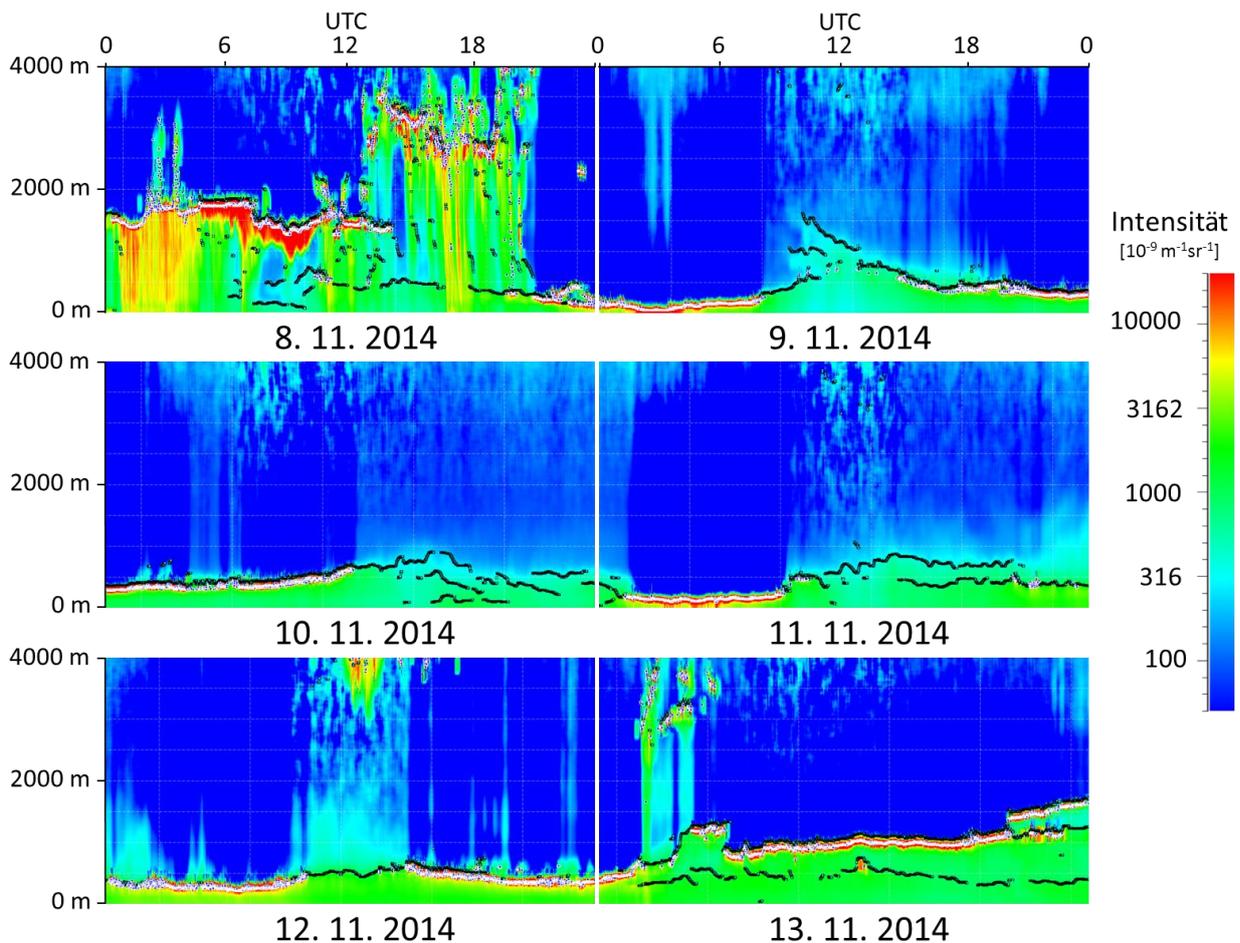


Abbildung 3-10: Rückstreuintensitäten des Ceilometers Wien Hohe Warte von 8.11 bis 13.11.2014.

Nach dieser kleinen PM₁₀-Spitze lag Österreich für kurze Zeit in einer gradientschwachen Lage mit schwachen nordwestlichen Winden. Ab dem 14.11. beeinflusste wieder ein Tief über den britischen Inseln das Wettergesehen und die Strömung drehte auf Südwest. Ein von diesem System abgetropftes Tief sorgte in den nächsten Tagen für Niederschläge in Österreich. Die Windrichtung blieb auf Südost, die Temperatur sank und die Feinstaubkonzentration ging zurück.

Ab dem 19.11. zog dieses Tief weiter ostwärts. In Österreich machte sich leichter Hochdruckeinfluss bemerkbar und der Wind drehte kurzzeitig auf westliche Richtungen. Durch die Verlagerung des Hochdruckgebietes Richtung Osten drehte der Wind bodennah schnell wieder auf schwache Ost- bis Südost-Winde. Die Temperatur fiel und die Feinstaubkonzentration stieg an.

Der Hochdruckeinfluss sorgte im Osten Österreichs für trübes Wetter. Durch die vorherrschende Temperaturinversion (Abbildung 3-11) war ein Austausch mit den oberen Schichten der Atmosphäre nicht möglich, weshalb sich die Aerosole in der bodennächsten

Schicht ansammeln. In der Höhe wurde am 23.11. 12 UTC eine Winddrehung von Südost auf Nord beobachtet, am 24.11. um 0 UTC eine Südostströmung über alle Höhengschichten (Abbildung 3-12). Am 24.11. wurden erhöhte Feinstaubkonzentrationen gemessen, jedoch blieben alle Tagesmittelwerte unterhalb des Grenzwertes.

Im Radiosondenaufstieg des darauffolgenden Tages, am 25.11. 12 UTC, ist noch eine etwas abgeschwächte Inversion zu sehen, welche deutlich höher liegt als an den Tagen zuvor. Das Windprofil der Radiosonde zeigt, dass unterhalb der Inversion der Wind schnell auf nördliche und über der Inversion auf nordwestliche Winde dreht.

Das Ceilometer Wien Hohe Warte hatte in dieser Zeit einen Ausfall, weshalb für diese Episode keine Rückstreuadiagramme erstellt werden konnten.

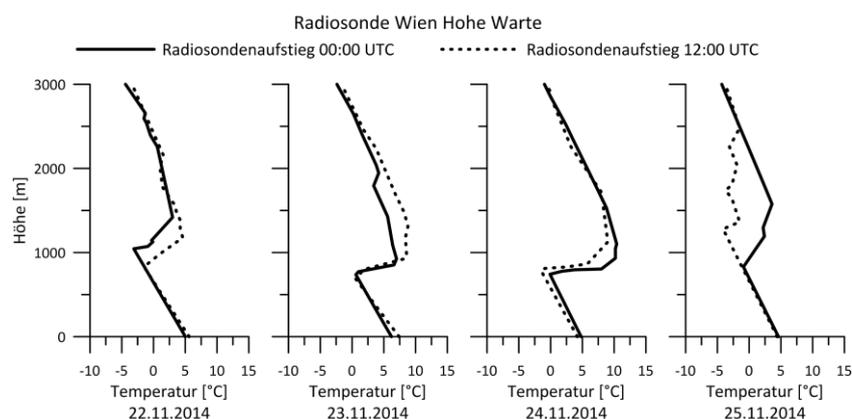


Abbildung 3-11: Temperaturprofile der Radiosonde in Wien Hohe Warte von 22.11 bis 25.11.2014.

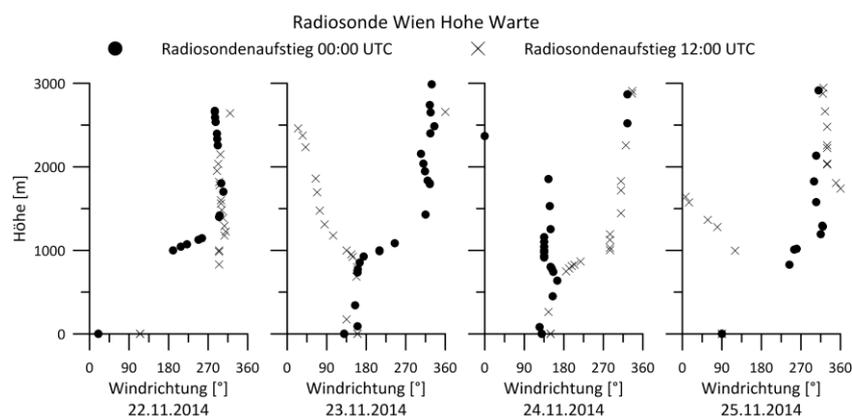


Abbildung 3-12: Windrichtungsprofile der Radiosonde in Wien Hohe Warte von 22.11 bis 25.11.2014.

Ein ausgeprägtes Tiefdruckgebiet mit Kern nordwestlich der britischen Inseln verlagerte sich in den nächsten Tagen Richtung Süden, überquerte die iberische Halbinsel und wanderte weiter über das Mittelmeer. In Österreich blieb die Strömung aufgrund des Einflusses des Hochdruckgebiets über Osteuropa auf Südost. Die Feinstaubkonzentration nahm stetig ab. Zu

Monatsende wurde der Tiefdruckeinfluss größer. Dem sich bereits abschwächenden Tief über dem Mittelmeer folgte ein weiteres Tiefdruckgebiet, welches zu Dezemberbeginn für Niederschläge in Österreich sorgte. Der Wind drehte auf Nordwest und frischte auf. Ab dem 10.12. machte sich wieder Hochdruckeinfluss bemerkbar. Österreich lag im gradientschwachen Bereich zwischen einem Hochdruckgebiet mit Kern über Osteuropa und einem Hochdruckgebiet mit Kern über dem Atlantik. Der Wind wehte in dieser Zeit meist aus südwestlichen Richtungen und die Windgeschwindigkeiten waren sehr schwach. Die Feinstaubkonzentrationen blieben in dieser Zeit relativ niedrig und zeigten nur geringe Schwankungen.

Am 13.11. stiegen die Feinstaubkonzentrationen sprunghaft an. Österreich lag zu diesem Zeitpunkt zwischen einem Tiefdruckgebiet mit Kern über Finnland und einem Hochdruckgebiet über dem Schwarzen Meer. In dieser gradientschwachen Lage mit niedrigen Windgeschwindigkeiten und Winden aus Südost bis Südwest war es im Osten Österreichs durchgehend bewölkt (Hochnebel). Die Messungen der Radiosonde zeigen, dass während der betrachteten Episode durchgehend eine relativ niedrige Temperaturinversion (Abbildung 3-13) und in der Höhe Winde aus Südwest bis West (Abbildung 3-14) beobachtet wurden. Unterhalb dieser niedrigen Inversion sammelten sich die Aerosole an, was zu der Grenzwertüberschreitung führte. In den Rückstreudiagrammen des Ceilometers ist die Zunahme der Aerosole in der untersten Schicht deutlich erkennbar (Abbildung 3-15). In der Region Ost wurden insgesamt drei Überschreitungen an zwei verschiedenen Stationen registriert. In der Region Mitte zeigte nur die Station St. Pölten/Eybnerstraße eine deutliche Spitze in den Feinstaubmessungen. Wie bereits erläutert, wird davon auszugehen, dass es sich um eine lokale Beeinflussung dieser einen Station gehandelt hat.

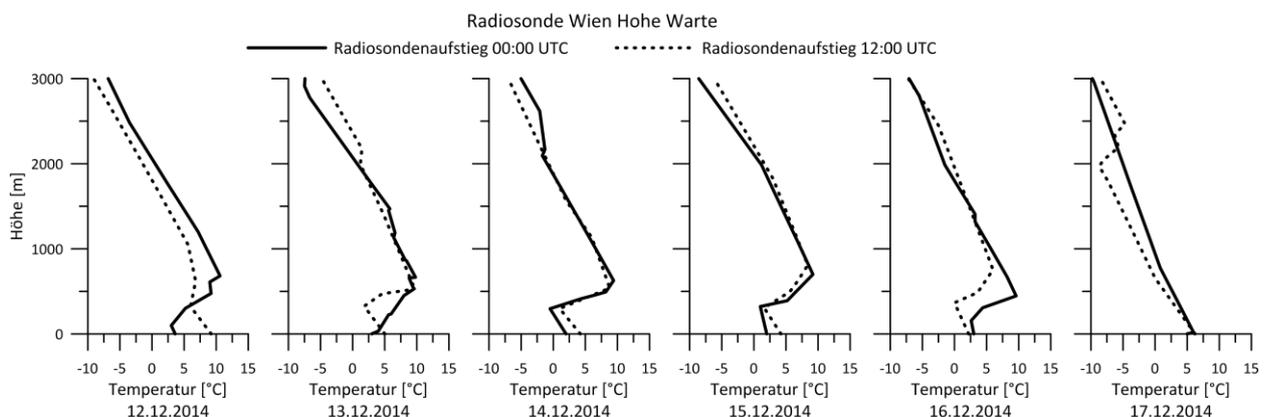


Abbildung 3-13: Temperaturprofile der Radiosonde in Wien Hohe Warte von 12.12 bis 17.12.2014. Die Messungen vom 12.12.2014 0 UTC sind vom Aufstieg um 4 UTC.

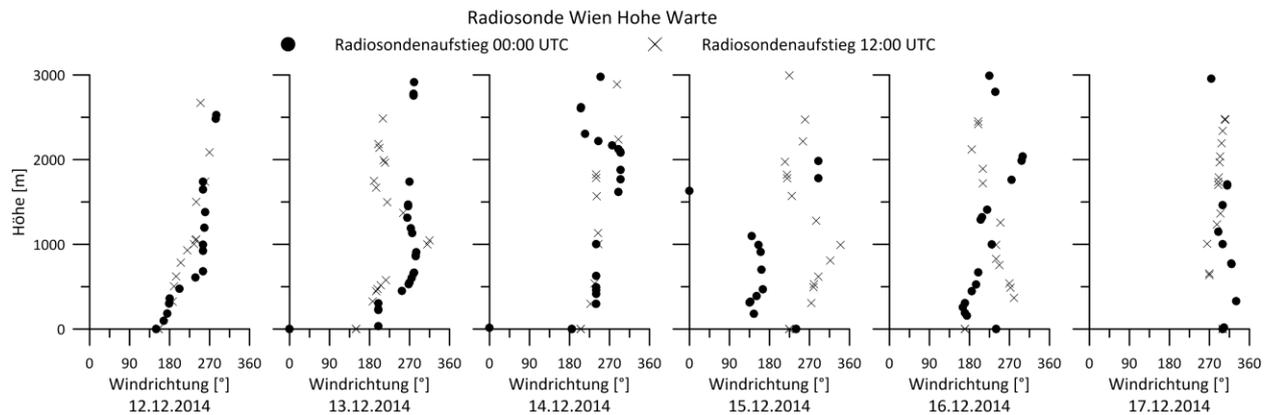


Abbildung 3-14: Windrichtungsprofile der Radiosonde in Wien Hohe Warte von 12.12 bis 17.12.2014.

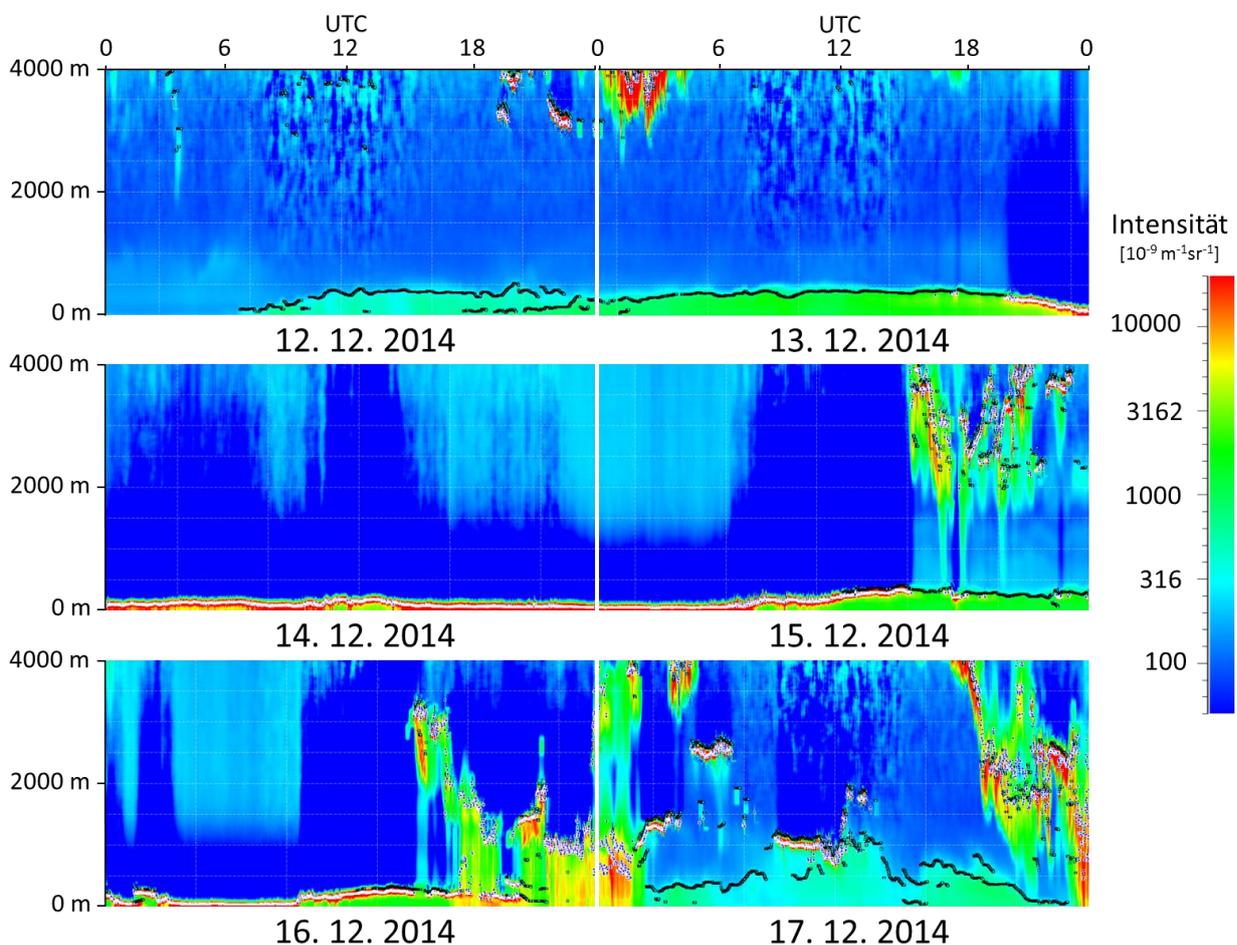


Abbildung 3-15: Rückstreuintensitäten des Ceilometers Wien Hohe Warte von 12.12. bis 17.12.2014.

3.1.3 Modellierung

Mit dem Lagrange'schen Ausbreitungsmodell FLEXPART (Kapitel 2.3) wurde eine Rückwärtsrechnung durchgeführt, um das potentielle Herkunftsgebiet des Feinstaubes an Tagen mit Grenzwertüberschreitung eingrenzen zu können. In der betrachteten Episode gab es mehrere PM₁₀-Spitzen. Nachfolgend wird nur die Spitze am 30.10.2014 betrachtet, da an

diesem Tag sowohl Stationen in der Region Ost als auch in der Region Mitte erhöhte Feinstaubkonzentrationen gemessen haben (Abbildung 3-16).

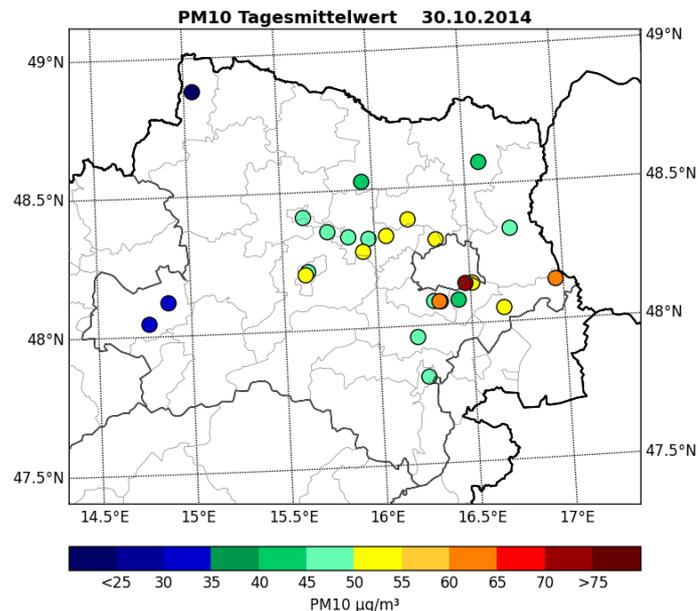


Abbildung 3-16: PM10-Tagesmittelwerte aller Stationen in Niederösterreich am 30.10.2014.

Die Ergebnisse der Rückwärtsrechnung sind in Abbildung 3-17 für das Gebiet Mitte (links) beziehungsweise das Gebiet Ost (rechts) dargestellt. Die Abbildungen zeigen die Gebiete, in welchen sich die Luft in den bodennächsten 100 m befunden hat, bevor sie am 30.10.2014 15:00 UTC im jeweiligen „Zielgebiet“ bodennah (etwa 10 m Höhe) angekommen ist.

Auch wenn die beiden Gebiete (Abbildung 2-5) nahe beieinander liegen, ist gut zu erkennen, dass der Weg der Luft doch teilweise ein anderer war. Das Gebiet Mitte bekam Luft eher aus dem Westen, das Gebiet Ost aus dem Südosten und Westen.

Die Luft die das Gebiet Mitte am 30.10. 15 UTC erreichte, lag 21 Stunden davor in Gebieten entlang der Donau und bis nach Bayern hinein. Ein Anteil kam auch aus dem südöstlichen Niederösterreich und Burgenland. Dazu passt auch sehr gut die Windmessung der Station Stockerau (Abbildung 3-3). Natürlich muss berücksichtigt werden, dass die Station nur eine die lokalen Verhältnisse in 10m über Grund wiedergeben kann, das Modell jedoch die großräumige, dreidimensionale Strömung berücksichtigt. Dennoch passen die Windmessungen der Station Stockerau sehr gut zur Verteilung der QRS-Felder, da die Station am 29.10. hauptsächlich Wind aus südöstlichen Richtungen und am 30.10. Wind aus westlichen Richtungen gemessen hat (Abbildung 3-3).

Die QRS-Felder für das Gebiet Ost zeigen, dass die Luft 21 Stunden vor der Ankunft im „Zielgebiet“ sowohl in Gebieten entlang der Donau als auch aus dem Burgenland sowie Gebieten im südwestlichen Ungarn und nordöstlichen Slowenien war. Bodennah wurde an den Tagen vor der Grenzwertüberschreitung Südostwind gemessen (Abbildung 3-4), in der Höhe jedoch Nordwest- bzw. Westwind (Abbildung 3-6).

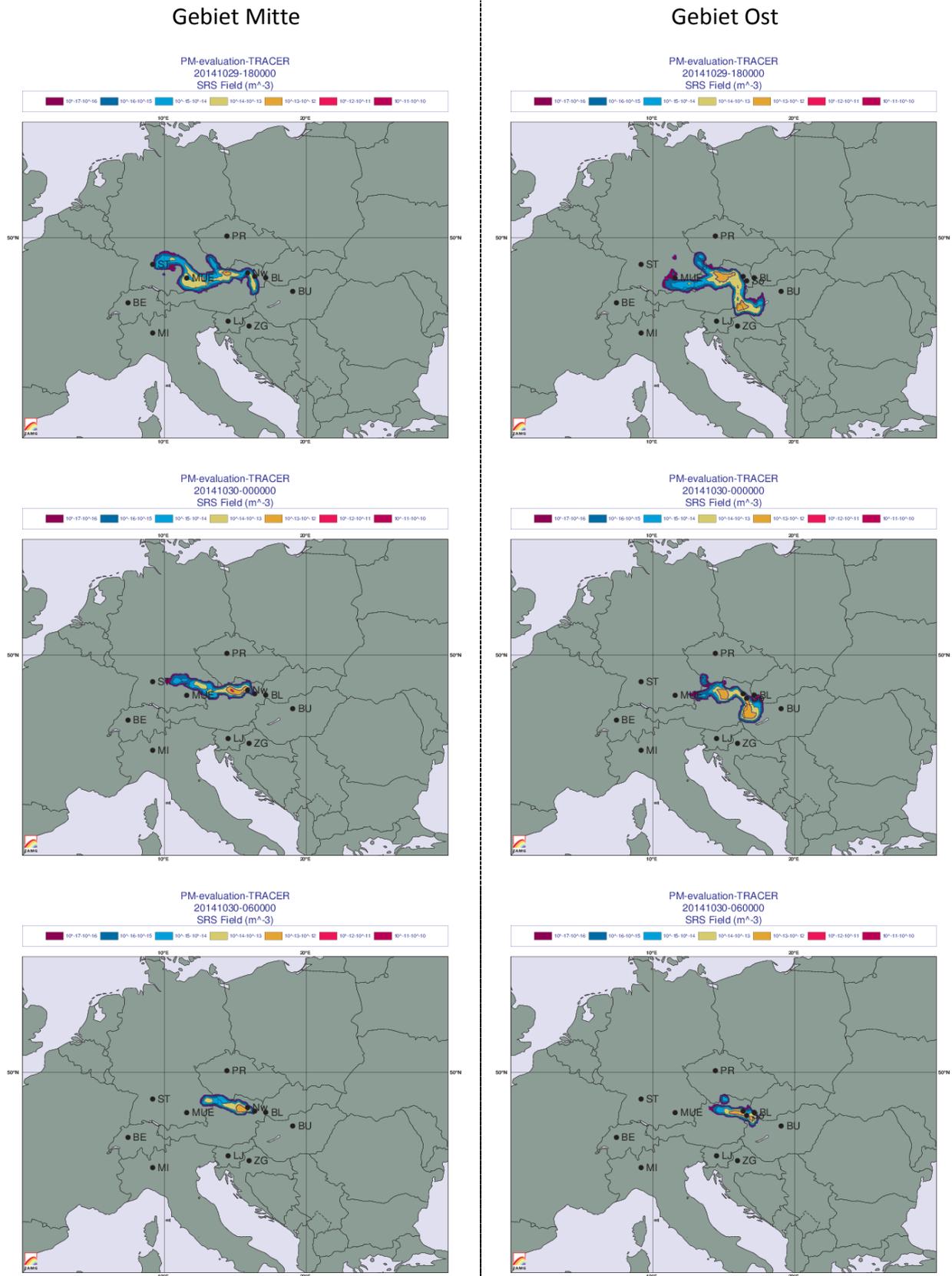


Abbildung 3-17: QRS-Felder (Quell-Rezeptor-Sensitivität) berechnet mit FLEXPART, Herkunftsgebiete der Luft vom 29.10. 18 UTC bis 30.10.2014 6 UTC, alle 6 Stunden für das Gebiet Mitte (links) und Gebiet Ost (rechts). Startdatum der Rückwärtsrechnung: 30.10.2014 15 UTC.

3.2 Episode 2: Februar und März 2015

3.2.1 Immissionssituation

In der betrachteten Episode von 31.1. bis 31.3.2015 überschritten die PM10-Tagesmittelwerte an mehreren Tagen den Grenzwert. Abbildung 3-18 zeigt die Tagesmittelwerte aller niederösterreichischen Luftgütemessstationen eingeteilt in die Regionen Ost (oben), Mitte (Mitte) und West (unten).

Von 14.2. bis 20.2. wurden in allen drei Regionen Überschreitungen an mehreren Stationen verzeichnet. Am 14.2. wurde in der Region West und in der Region Mitte an je einer Station (Amstetten bzw. St. Pölten/Europaplatz) eine Überschreitung festgestellt. Am 15.2. wurde in der Region West keine Überschreitung mehr detektiert, dafür in der Region Mitte und Ost an insgesamt drei Stationen. Am Tag danach erfolgte noch eine weitere Überschreitung, jedoch nur in der Region Ost (Klosterneuburg). Die Feinstaubkonzentration blieb danach 2 Tage lang unter dem Grenzwert. Am 19.2. lagen die PM10-Tagesmittelwerte an der Station Stockerau (Region Mitte) und an der Station Klosterneuburg (Region Ost) über $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Am 20.2. wurden dann großflächig, in allen drei Regionen an insgesamt 18 Stationen, im Tagesmittel PM10-Werte über dem Grenzwert gemessen (Abbildung 3-19 links). Am Tag danach wurden noch erhöhte PM10-Werte an drei Stationen in der Region Mitte (St. Pölten/Europaplatz, St. Pölten/Eybnerstraße, Traismauer) gemessen, am 22.2. dann nur noch an einer Station (Tulln) in der Region Mitte.

Nach diesem großräumigen Ereignis blieben die Feinstaubkonzentrationen für etwa 2 Wochen unterhalb des Grenzwertes. Ab dem 4.3. stiegen die Werte langsam an und am 10.3. wurde an der Station Stockerau in der Region Mitte der Grenzwert überschritten. Weitere Stationen in allen Regionen zeigten an diesem Tag einen starken Anstieg in den Feinstaubkonzentrationen, jedoch blieben die Werte unterhalb des Grenzwertes.

Nach diesem Tag ging die Konzentration wieder etwas zurück und stieg ab dem 12.3. in allen drei Regionen stetig an. Am 17.3. wurden an insgesamt drei Stationen Feinstaubkonzentrationen knapp über dem Grenzwert gemessen. Am 18.3. gingen die Konzentrationen wieder etwas zurück und blieben unterhalb des Grenzwertes. Ab dem 19.3. wurden dann 3 Tage lang Überschreitungen in der Region Ost und Mitte beobachtet: Am 19.3. an insgesamt 6 Stationen, am 20.3. an insgesamt 10 Stationen und am 21.3. an insgesamt 14 Stationen (Abbildung 3-19 rechts). In der Region West zeigte die Luftgütemessstation

Amstetten an diesen drei Tagen erhöhte Feinstaubkonzentrationen knapp unterhalb des Grenzwertes. Am 22.3. überschritt der Tagesmittelwert an dieser Station mit $50,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM10 den Grenzwert. Alle anderen Stationen in den Regionen zeigten an diesem Tag keine Überschreitungen.

Am 23.3. ging die Feinstaubkonzentration in allen Regionen stark zurück, stieg aber am darauffolgenden Tag wieder stark an. In der Region Ost wurde an zwei Stationen und in der Region Mitte an sechs Stationen eine Überschreitung des Grenzwertes registriert. Ab dem 25.3. sank die Feinstaubkonzentration wieder und ging bis Ende des betrachteten Zeitraums deutlich zurück.

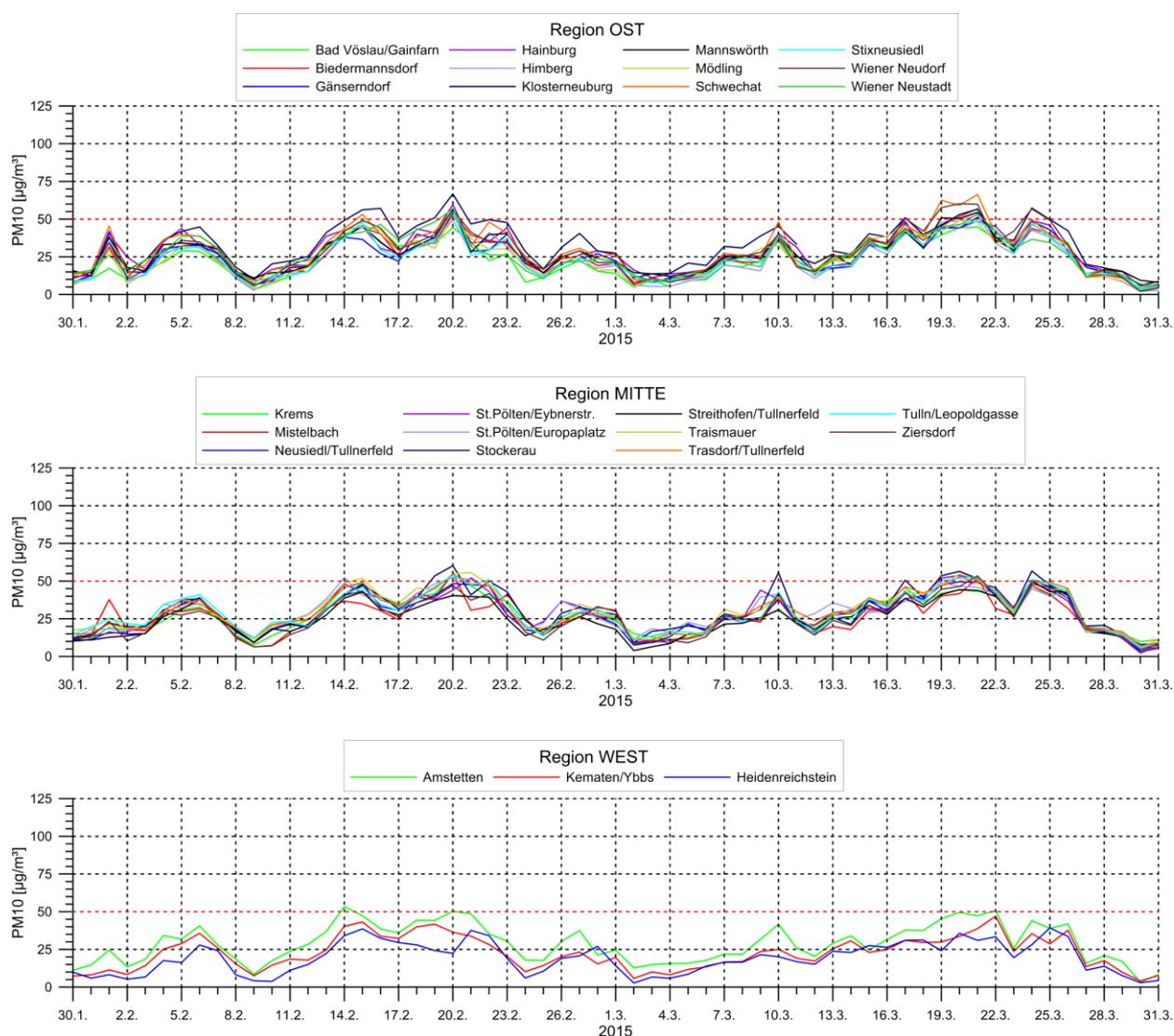


Abbildung 3-18: PM10-Tagesmittelwerte der niederösterreichischen Luftgütestationen eingeteilt in die Regionen Ost (oben), Mitte (Mitte) und West (unten).

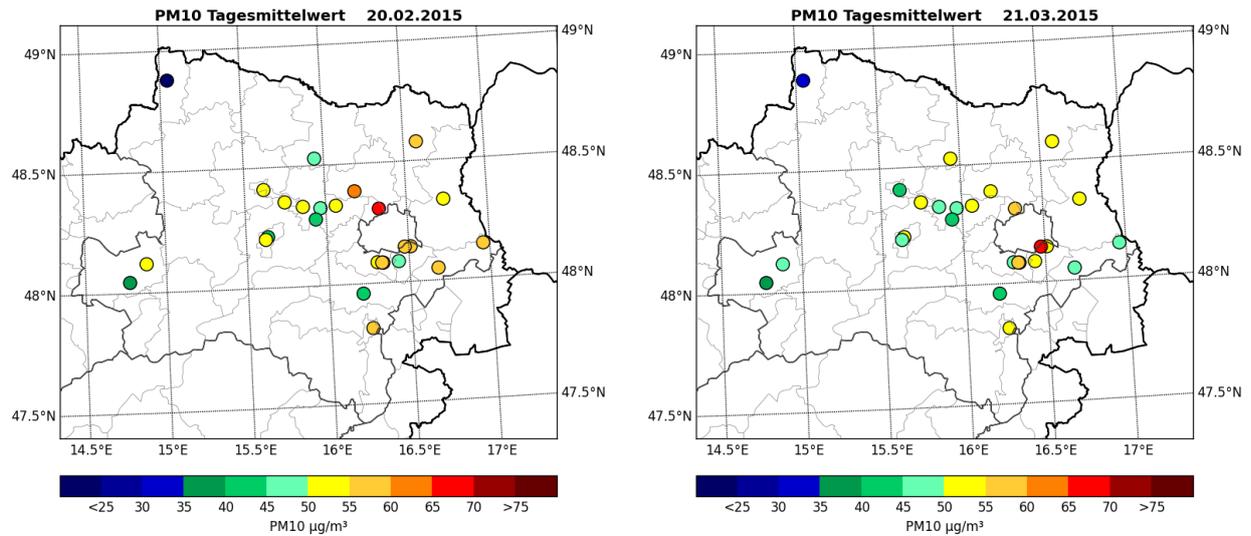


Abbildung 3-19: PM10-Tagesmittelwerte aller niederösterreichischen Luftgütestationen am 20.2.2015 (links) und am 21.3.2015 (rechts).

3.2.2 Meteorologie

Nachfolgend sind für die Regionen West (Abbildung 3-20), Mitte (Abbildung 3-21) und Ost (Abbildung 3-22) die Zeitreihen der meteorologischen Messungen sowie die Spanne zwischen dem maximalen und minimalen Tagesmittelwert der PM10-Messungen (blauer Bereich) im jeweiligen Gebiet dargestellt. Die meteorologischen Messungen stammen von den für die jeweilige Region ausgewählten TAWES-Stationen (Kapitel 2.1). Dargestellt wurden die Tagesmittelwerte der Temperatur (grüne Linie), die Halbstundenmittelwerte der Windrichtung (rote Punkte) und das 5-Stunden gleitende Mittel der Windgeschwindigkeit (graue Linie). Der betrachtete Zeitraum (30.1. bis 31.3.2015) ist auf 2 Abbildungen aufgeteilt, damit die Grafik übersichtlicher wird.

REGION WEST

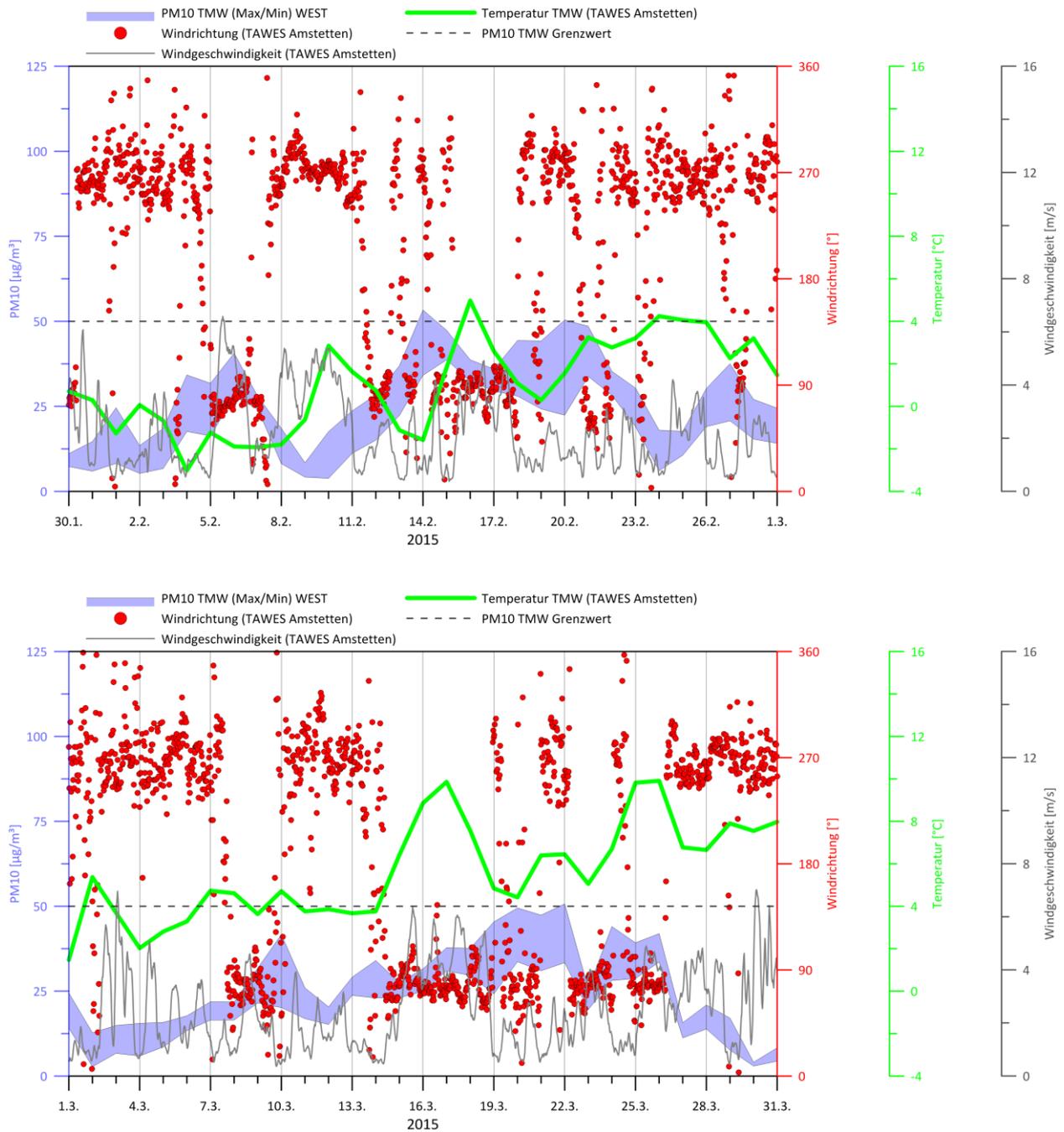


Abbildung 3-20: Spanne zwischen dem maximalen und minimalem Tagesmittelwert der PM10-Konzentrationen der Luftgütestationen in der Region „West“ (blaue Fläche), sowie die Tagesmittelwerte der Temperatur (grüne Linie), 5-Stunden gleitendes Mittel der Windgeschwindigkeit (graue Linie) und Stundenwerte der Windrichtung (rote Punkte) der TAWES Station Amstetten.

REGION MITTE

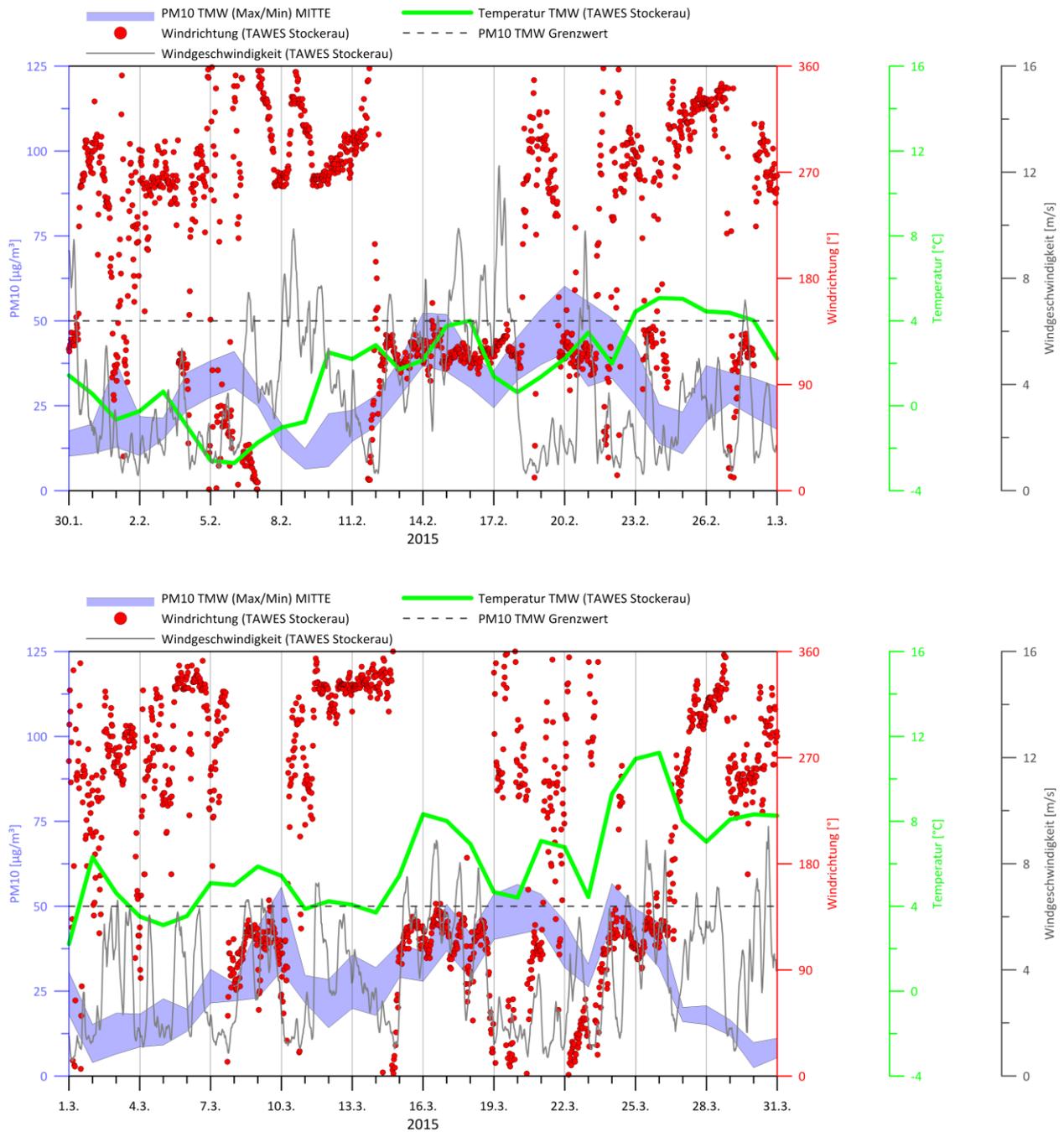


Abbildung 3-21: Spanne zwischen dem maximalen und minimalem Tagesmittelwert der PM10-Konzentrationen der Luftgütestationen in der Region „Mitte“ (blaue Fläche), sowie die Tagesmittelwerte der Temperatur (grüne Linie), 5-Stunden gleitendes Mittel der Windgeschwindigkeit (graue Linie) und Stundenwerte der Windrichtung (rote Punkte) der TAWES Station Stockerau.

REGION OST

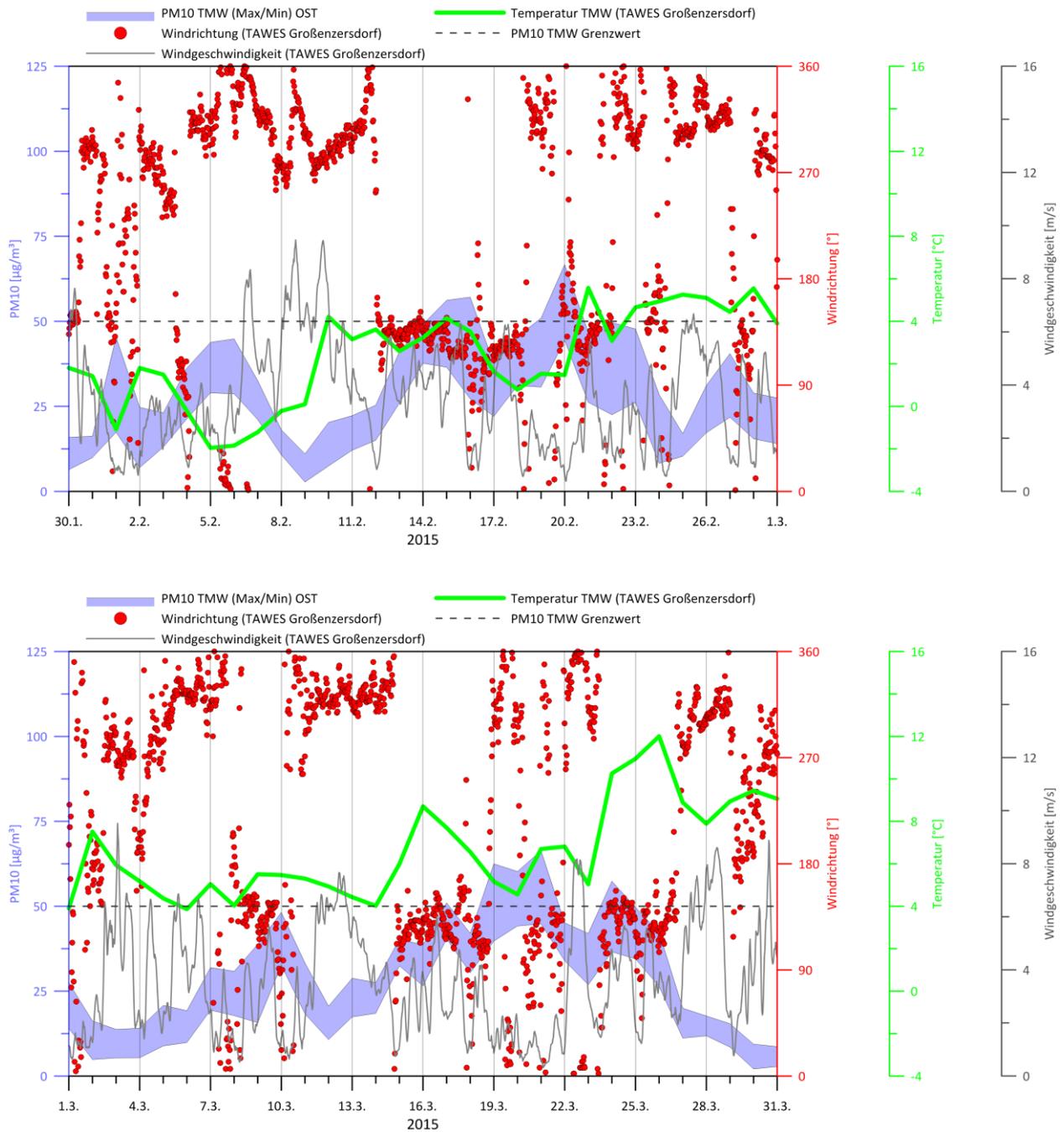


Abbildung 3-22: Spanne zwischen dem maximalen und minimalen Tagesmittelwert der PM10-Konzentrationen der Luftgütestationen in der Region „Ost“ (blaue Fläche), sowie die Tagesmittelwerte der Temperatur (grüne Linie), 5-Stunden gleitendes Mittel der Windgeschwindigkeit (graue Linie) und Stundenwerte der Windrichtung (rote Punkte) der TAWES Station Großenzersdorf.

Zu Beginn der betrachteten Episode beherrschte ein ausgedehntes Tiefdrucksystem mit einem Kern über Skandinavien und einem weiteren Kern über dem Mittelmeer das Wetter in Europa. Österreich lag zwischen den beiden Tiefdruckkernen in einer gradientschwachen Lage mit relativ niedrigen Windgeschwindigkeiten. Durch den fehlenden Austausch der bodennahen Grenzschicht mit höheren Luftschichten, stiegen die Feinstaubkonzentrationen und am 6.2. wurde eine PM10-Spitze von allen Stationen registriert. Die Werte blieben jedoch unterhalb des Grenzwertes.

Am 7.2. rückte ein Hochdruckgebiet näher an Europa heran. An der Vorderseite dieses Hochs gelang Österreich in eine Nordhöhenströmung. Am Boden kam der Wind aus westlich bis nördlichen Richtungen und frischte auf. Infolge der besseren Durchmischung der Atmosphäre ging die Feinstaubkonzentration zurück.

Im Laufe der nächsten Tage wanderte das Hochdruckgebiet über Großbritannien und erreichte am 10.2. Zentraleuropa. Österreich lag im Zentrum des weit ausgedehnten Hochdruckgebietes. In den nördlichen Teilen Österreichs war es zu dieser Zeit trüb, im Süden sonnig. Die Windgeschwindigkeit ging zurück und die Feinstaubkonzentration began zu steigen.

Das Hochdruckgebiet wurde dann langsam von einem Tief über den Britischen Inseln in Richtung Osten verdrängt. Österreich gelangte dadurch ab dem 12.2. in den Einfluß einer Südostströmung (Abbildung 3-24) mit abnehmenden Windgeschwindigkeiten. In weiten Teilen Österreichs war es oft sonnig und es gab kaum Niederschläge. Nur im Osten Österreichs, v.a. im Waldviertel, war es oft trüb. Unterhalb der Temperaturinversion, die ab dem 11.2. im Osten Österreichs vorherrschend war (Abbildung 3-23), hielt sich der Hochnebel hartnäckig und die Feinstaubkonzentrationen stiegen an allen Stationen aufgrund des unterbundenen Luftmassenaustausches an. Von 14.2. bis 16.2. wurden in allen drei Regionen Überschreitungen des Grenzwertes gemessen, jedoch nur an ein bis zwei Stationen pro Region.

Durch eine kurzzeitige Durchmischung der Grenzschicht (Auflösung der Temperaturinversion ab dem 15.2., Abbildung 3-23) gingen die Feinstaubkonzentrationen in Niederösterreich etwas zurück. Ab dem 17.2. begann sich jedoch wieder eine Temperaturinversion auszubilden, weshalb die Feinstaubkonzentrationen großräumig wieder zunahmen. In den Rückstreuintensitäten des Ceilometers Wien Hohe Warte ist der Anstieg der Aerosole unterhalb der Temperaturinversion deutlich zu erkennen (Abbildung 3-25). Am 20.2. wurde dann an 18 der 26 betrachteten Stationen Feinstaubkonzentrationen über $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Tagesmittel

verzeichnet. Während am Boden vor allem in der Region Ost und Mitte noch Ost- bis Südwind (Abbildung 3-20 bis Abbildung 3-22) vorherrschend war, zeigte die Radiosondenmessung in Wien Hohe Warte in der Höhe bereits westliche Windrichtungen (Abbildung 3-24). Ein Tiefdruckgebiet verdrängte langsam das vorher wetterbestimmende Hochdruckgebiet in Richtung Osten. In den darauffolgenden Tagen wurde die Grenzschicht durch den sich langsam durchsetzenden Westwind durchgemischt, die Temperaturinversion löste sich auf und die Feinstaubkonzentrationen gingen zurück. Am 21.2. wurde nur mehr an 3 Stationen in der Region Mitte der Grenzwert für PM10-Tagesmittelwerte überschritten, am 22.2. nur mehr an einer Station.

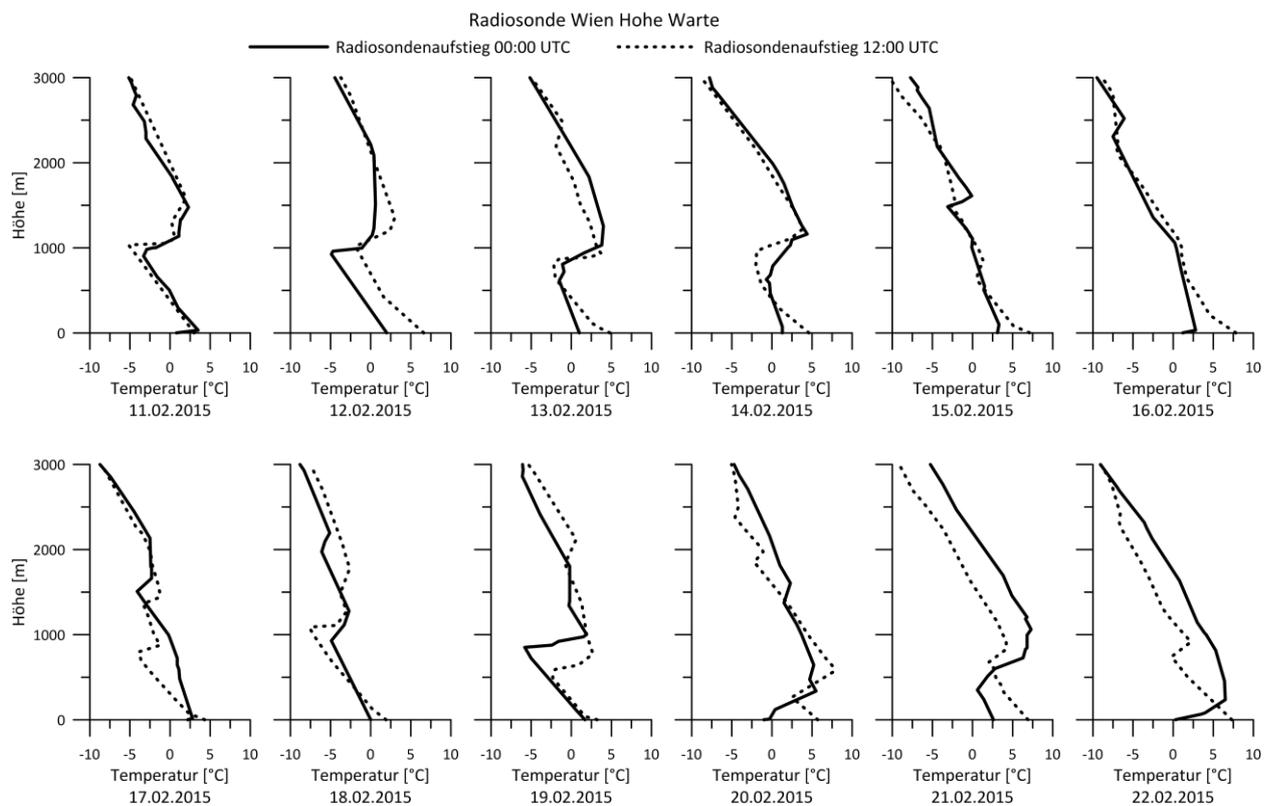


Abbildung 3-23: Temperaturprofile der Radiosonde in Wien Hohe Warte von 11.2. bis 22.2.2015.

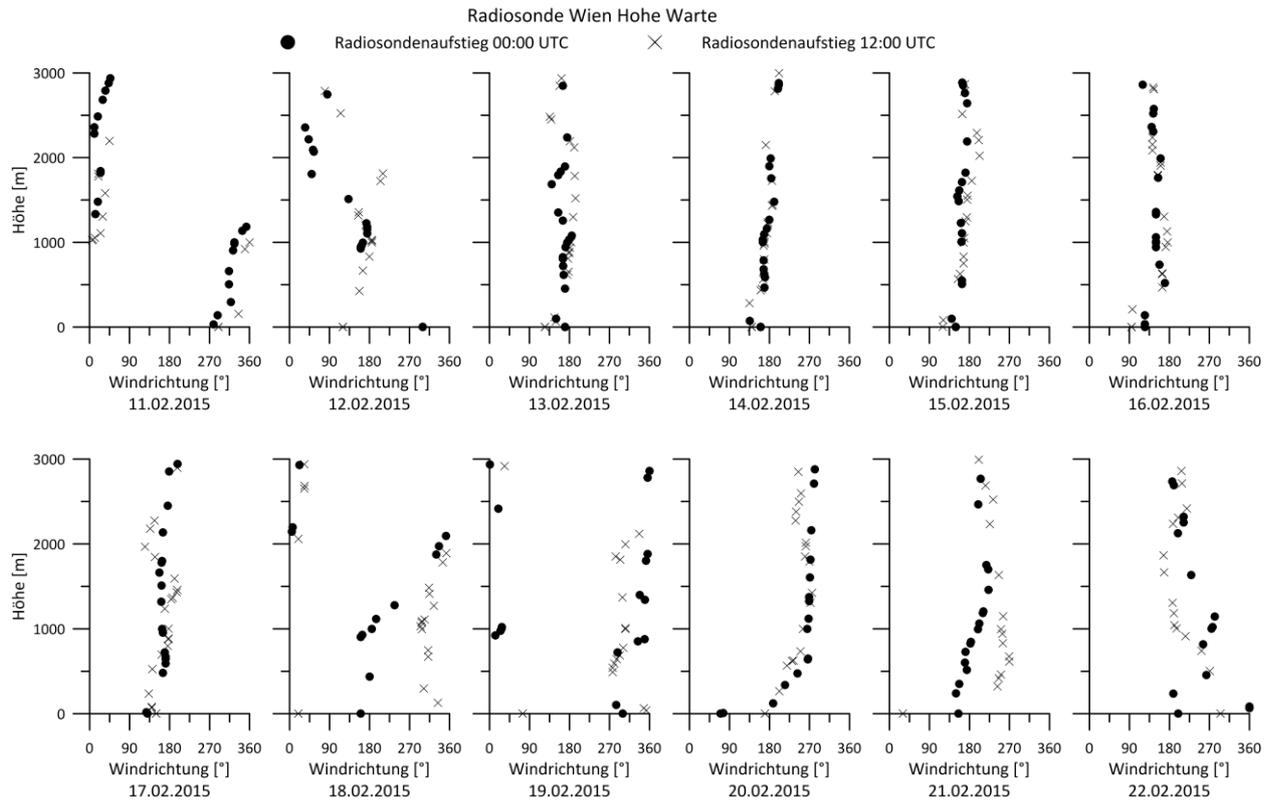


Abbildung 3-24: Windprofile der Radiosonde in Wien Hohe Warte von 11.2. bis 22.2.2015.

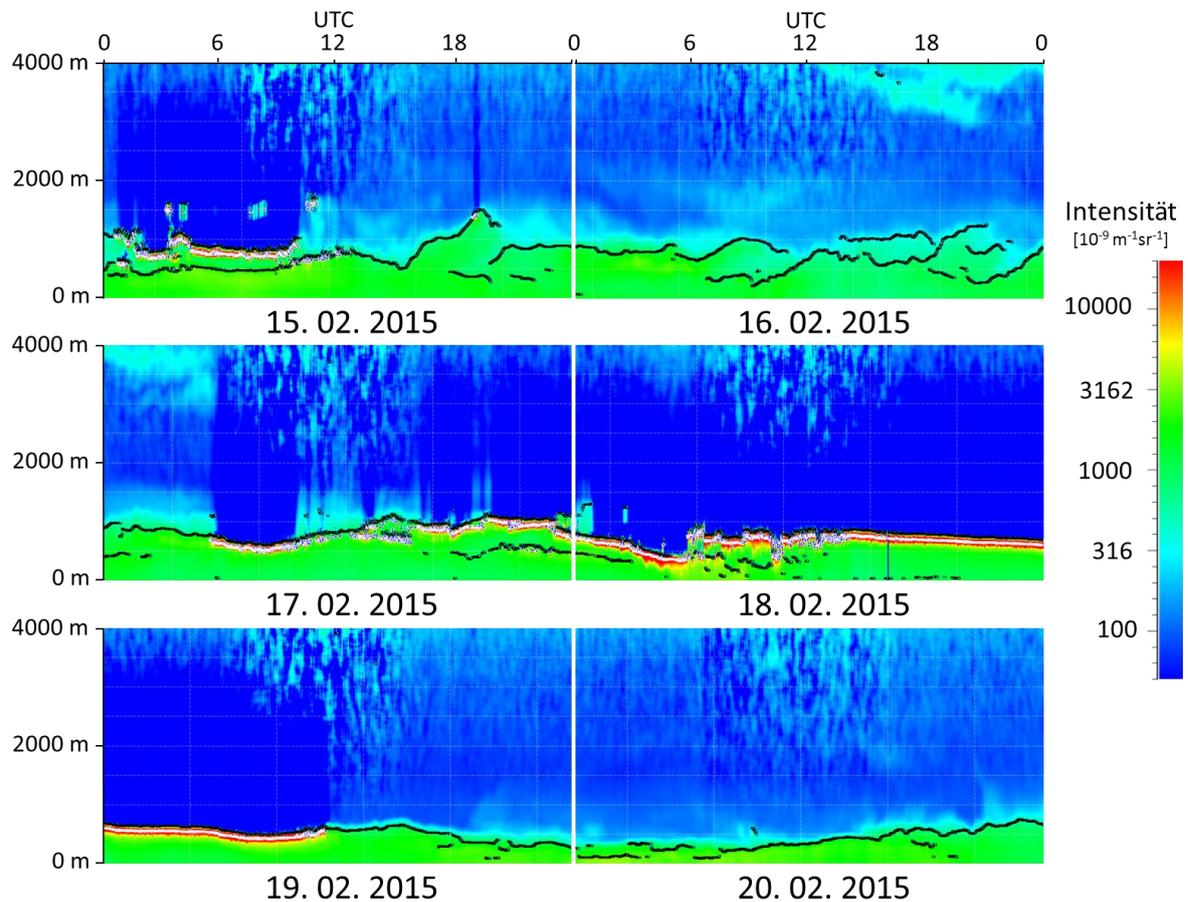


Abbildung 3-25: Rückstreuintensitäten des Ceilometers Wien Hohe Warte von 15.2. bis 20.2.2015.

Nach dem 21.2. bestimmten Tiefdruckgebiete das Wettergeschehen in Österreich. In dieser Zeit waren Winde aus westlichen Richtungen mit mittleren Windgeschwindigkeiten vorherrschend. Die Tiefdruckgebiete verursachten teils intensive Niederschläge in gesamt Österreich. Ab dem 4.3. begann sich das Wettergeschehen etwas zu beruhigen, denn es machte sich langsam Hochdruckeinfluss bemerkbar. Aufgrund des sich aus Westen annähernden Hochdruckgebietes blieb die Windrichtung in Ostösterreich zunächst noch auf nordwestlich bis westlichen Richtungen. Als das Zentrum des Hochdruckgebietes dann Österreich überquerte, drehte der Wind auf südöstliche Richtungen (Abbildung 3-26, rechts). Mit dem aufkommenden Südostwind, der im Osten meist für austauscharme Situationen steht, bildete sich ab dem 7.3. bzw. 8.3. eine Temperaturinversion aus (Abbildung 3-26, links). Die Feinstaubkonzentrationen in den Regionen Ost und Mitte stiegen an. Am 9.3. und 10.3. befand sich Österreich in einer gradientschwachen Lage. Die Windgeschwindigkeit ging in der Region Mitte und Ost deutlich zurück. An diesem Tag zeigten fast alle Stationen einen deutlichen Anstieg in der Feinstaubkonzentration, eine Überschreitung des Grenzwerts trat aber nur an einer Station (Stockerau) in der Region Mitte auf.

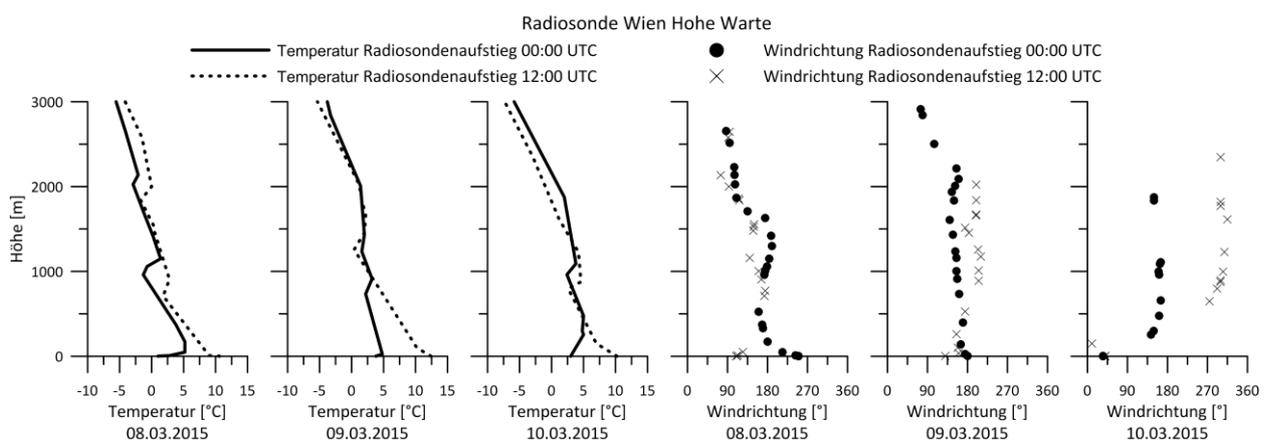


Abbildung 3-26: Temperatur- (links) und Windrichtungsprofile (rechts) der Radiosonde in Wien Hohe Warte von 8.3. bis 10.3.2015.

Wie in den Windrichtungsprofilen der Radiosonde vom 10.3. um 12 UTC (Abbildung 3-26) ersichtlich ist, drehte der Wind in der Höhe auf westliche Richtungen, da das vorher wetterbestimmende Hochdruckgebiet weiter Richtung Osten gezogen war. In der Nacht auf den 11.3. fiel in Ostösterreich etwas Niederschlag, was zu einem Rückgang der Feinstaubkonzentrationen führte. Zusätzlich verursachte die Winddrehung mit dem gleichzeitigen Auffrischen des Windes im Laufe des 11.3. eine Durchmischung der Grenzschicht was den Rückgang der Feinstaubkonzentrationen ebenfalls begünstigte.

In den darauffolgenden Tagen war ein Hochdruckgebiet wetterbestimmend, welches nördlich an Österreich vorbeizog. Der Wind kam meistens aus Nordwest. In Ostösterreich war es vorwiegend trüb. Ab dem 12.2. ist ein langsamer Anstieg in den Feinstaubkonzentrationen erkennbar (Abbildung 3-20 bis Abbildung 3-22). Das Zentrum des Hochdruckgebiets blieb ab dem 13.3. relativ stationär über Finnland bzw. dem nordwestlichen Russland liegen und verstärkte sich. So gelangte Österreich ab dem 15.3. in eine Südostströmung. Im Osten Österreichs zeigte sich in den folgenden Tagen kaum die Sonne. Am 17.3. erreichten an drei Stationen (Region Mitte: Stockerau, Region Ost: Klosterneuburg und Wiener Neudorf) die Tagesmittel der Feinstaubkonzentration Werte knapp über dem Grenzwert. Eine ausgeprägte Temperaturinversion, vergleichbar mit jenen in den zuvor betrachteten PM10-Spitzen, ist vom 15.3. bis zum 20.3. nicht erkennbar. Jedoch reichen grundsätzlich auch schwache Temperaturinversionen oder auch nur eine Änderung in der Temperaturabnahme mit der Höhe, wie z.B. am 19.3. oder 20.3. (in der unteren Schicht nimmt die Temperatur stärker ab als in der Schicht darüber) aus, um die vertikale Durchmischung der Luft zu unterbinden.

Vom 19.3. bis 24.3. traten an mehreren Stationen, vor allem in der Region Ost und Mitte, Überschreitungen des PM10-Tagesmittelgrenzwertes auf. Am 19.3. drehte der Wind kurz auf nordwestliche Richtungen und die Windgeschwindigkeit ging stark zurück. Am 20.3. wurde an insgesamt 10 Stationen und am 21.3. wurde an insgesamt 12 Stationen eine Überschreitung des Grenzwertes registriert (Abbildung 3-19, rechts).

Wie in den vertikalen Windrichtungsprofilen der Radiosonde Wien Hohe Warte ersichtlich ist, sind am 21.3. in Bodennähe Winde aus südöstlichen Richtungen, in der Höhe aber Winde aus westlicher Richtung vorherrschend. An diesem Tag näherte sich eine Kaltfront von Nordwesten und sorgte in der Nacht von 21.3. auf den 22.3. für Niederschläge in Österreich. Aufgrund dessen ging die Feinstaubkonzentration zurück und blieb am 22.3. unterhalb des Grenzwertes. Die Niederschläge sind auch sehr gut in den Rückstreudiagrammen des Ceilometers Wien Hohe Warte erkennbar (vertikal ausgedehnte rote bis gelbe Bereiche, Abbildung 3-29).

Nach dem Durchzug der Kaltfront und dem zunehmenden Hochdruckeinfluss, drehte die Strömung wieder auf Südost bis Süd. Durch eine vorherrschende Temperaturinversion war der Austausch mit den darüber liegenden Luftschichten unterbunden, weshalb sich in der bodennahen Grenzschicht vermehrt Aerosole ansammelten und die Feinstaubkonzentrationen wieder anstiegen. Am 24.3. überschritten die Messwerte hauptsächlich in der Region Mitte an einigen Stationen den Grenzwert.

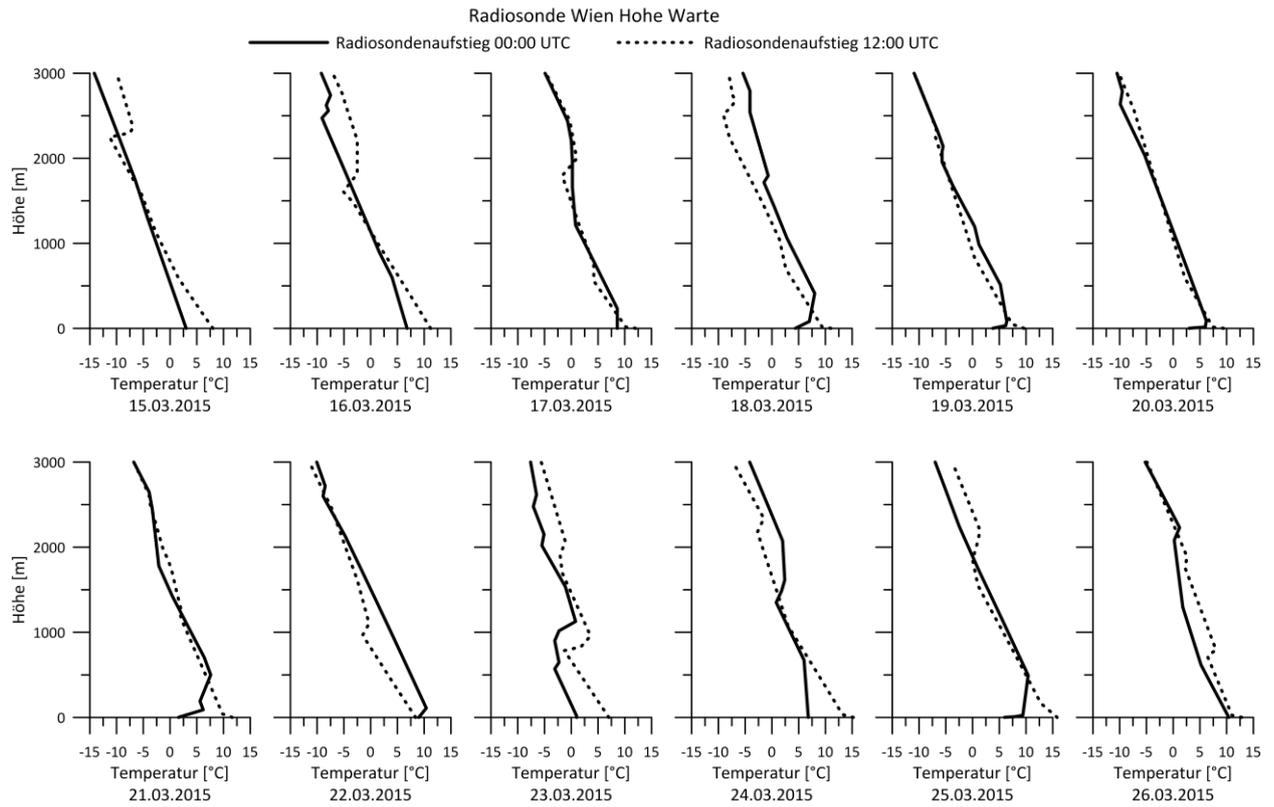


Abbildung 3-27: Temperaturprofile der Radiosonde in Wien Hohe Warte von 15.3. bis 20.3.2015.

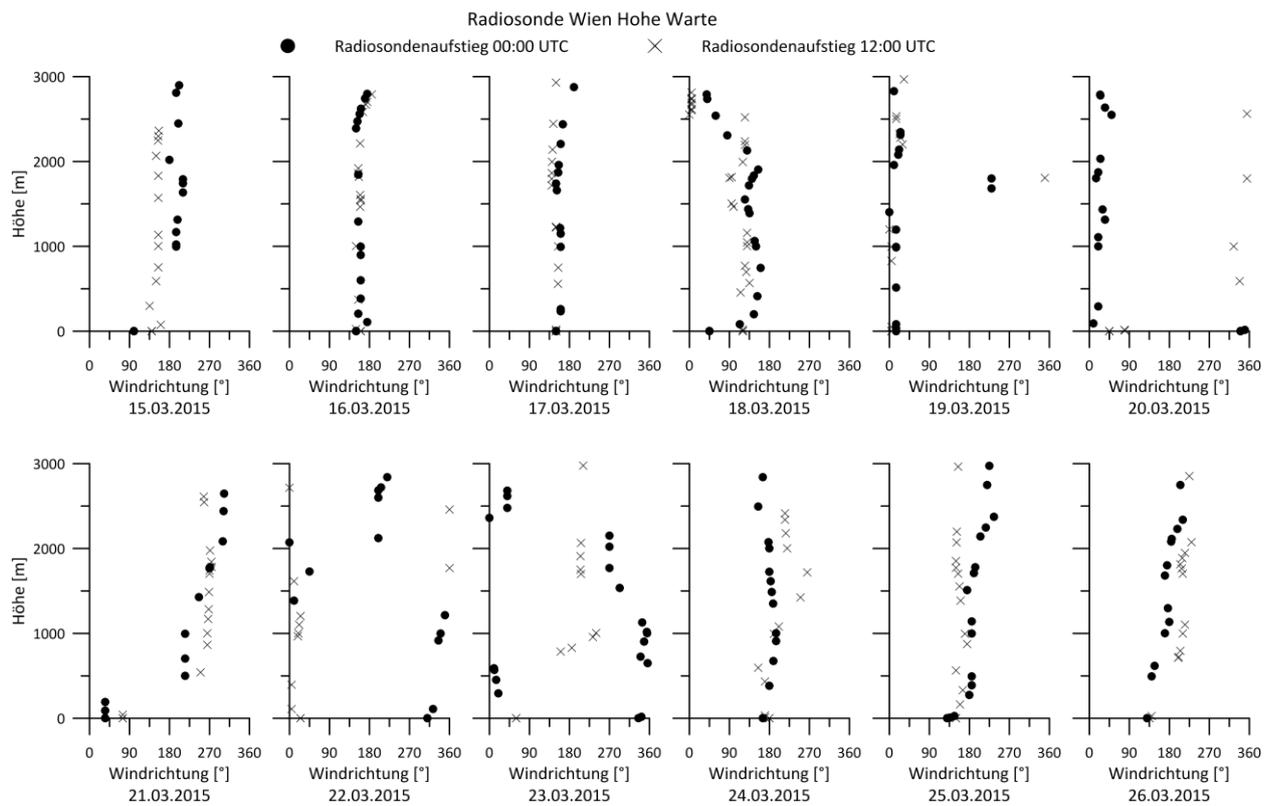


Abbildung 3-28: Windprofile der Radiosonde in Wien Hohe Warte von 15.3. bis 20.3.2015.

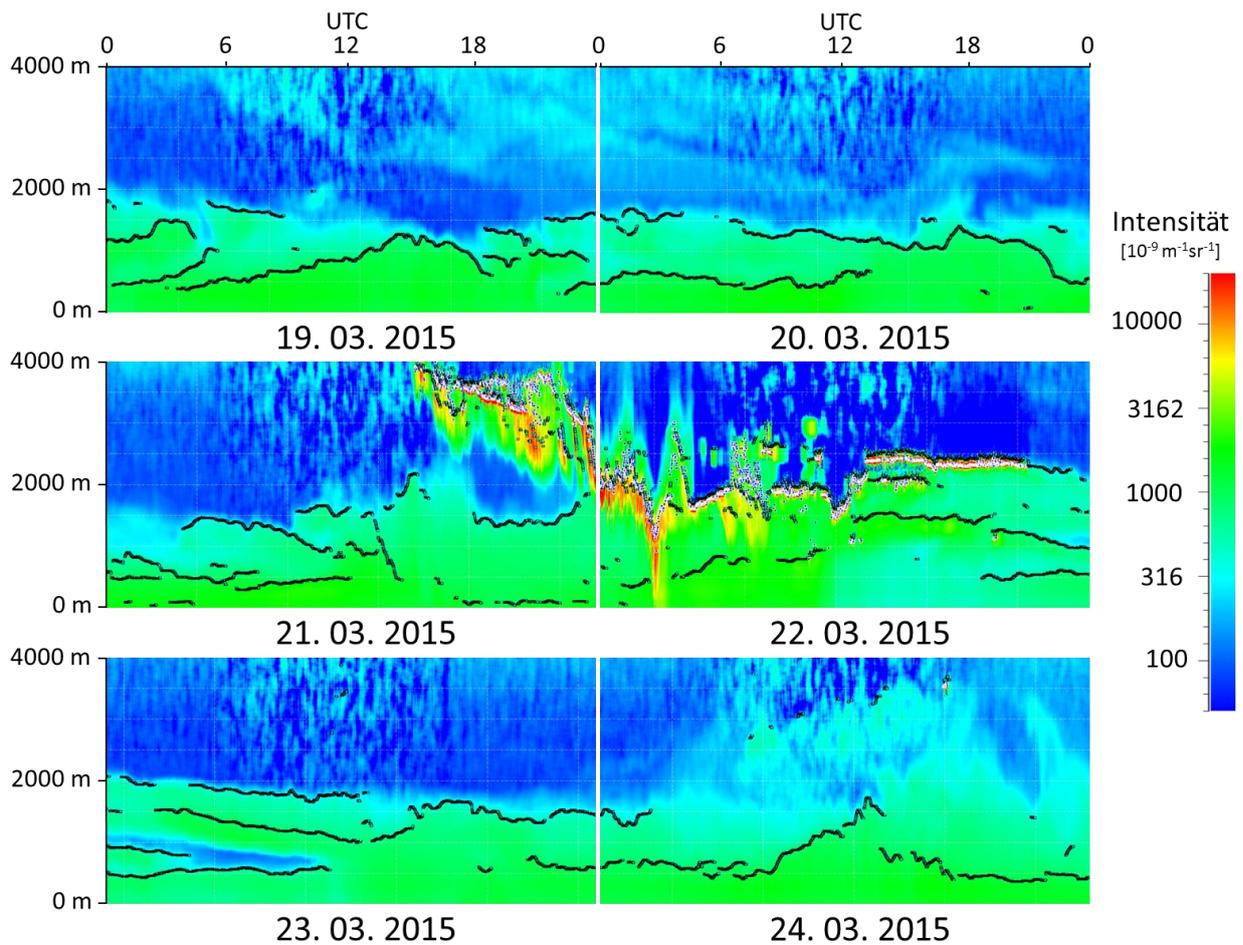


Abbildung 3-29: Rückstreuintensitäten des Ceilometers Wien Hohe Warte von 19.3. bis 24.3.2015.

3.2.3 Modellierung

In der betrachteten Episode gab es mehrere PM₁₀-Spitzen. Nachfolgend wird mittels Rückwärtsmodellierung die Herkunft der Luftmassen betrachtet, die zu den hohen Feinstaubwert am 20.3.2015 geführt haben, da in diesem Fall sowohl Stationen in der Region Ost als auch in der Region Mitte erhöhte Feinstaubkonzentrationen gemessen haben (Abbildung 3-30).

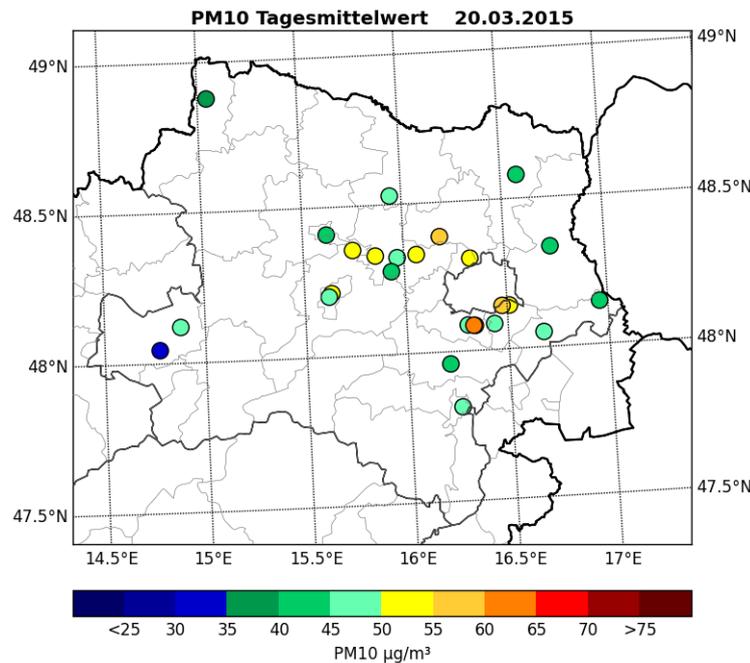


Abbildung 3-30: PM10-Tagesmittelwerte aller niederösterreichischen Luftgütestationen am 20.3.2015.

Die Ergebnisse der Rückwärtsrechnung sind in Abbildung 3-31 für das Gebiet Mitte links und das Gebiet Ost rechts dargestellt. Die Abbildungen zeigen die Gebiete, in welchen sich die Luft in den bodennächsten 100 m befunden hat, bevor sie am 20.3.2015 15:00 UTC im jeweiligen „Zielgebiet“ bodennah (etwa 10 m Höhe) angekommen ist.

Die Herkunftsgebiete der Luft für beide Gebiete (Abbildung 2-5) sind sehr ähnlich. 27 Stunden bevor die Luft das Gebiet Mitte bzw. das Gebiet Ost erreicht hat, befand sie sich über der Slowakei, dem nördlichen Ungarn, dem östlichen Tschechien und dem südlichen Polen. Durch die vorherrschenden Winde aus nordwestlichen bis nördlichen Richtungen wurde die Luft am 19.3. in Richtung Österreich verfrachtet.

6 Stunden später (Abbildung 3-31, Mitte), am 19.3. 18 UTC, hat die Luft bereits Polen verlassen, große Teile der Slowakei überquert und sich weiter über Ungarn in Richtung Österreich bewegt. In der Abbildung für das Gebiet Ost sind noch weitere Herkunftsgebiete über dem Burgenland, dem östlichen Niederösterreich und den westlichen Teilen der Steiermark erkennbar.

Weitere 6 Stunden später, also 15 Stunden bevor die Luft das Gebiet Mitte bzw. das Gebiet Ost erreicht hat, befand sich die Luft in der östlichen Slowakei, im nordöstlichen Ungarn und im Südwesten von Tschechien. Zusätzlich kam noch ein Teil der Luft, die das Gebiet Ost erreichte, aus den östlichen Teilen Niederösterreichs sowie aus dem Burgenland und der westlichen Steiermark.

Obwohl sich die Luftmassen schon in der Nähe der beiden „Zielgebiete“ befanden, dauerte es aufgrund der niedrigen Windgeschwindigkeiten noch 15 Stunden bis die Luft an den Luftgütestationen eintraf.

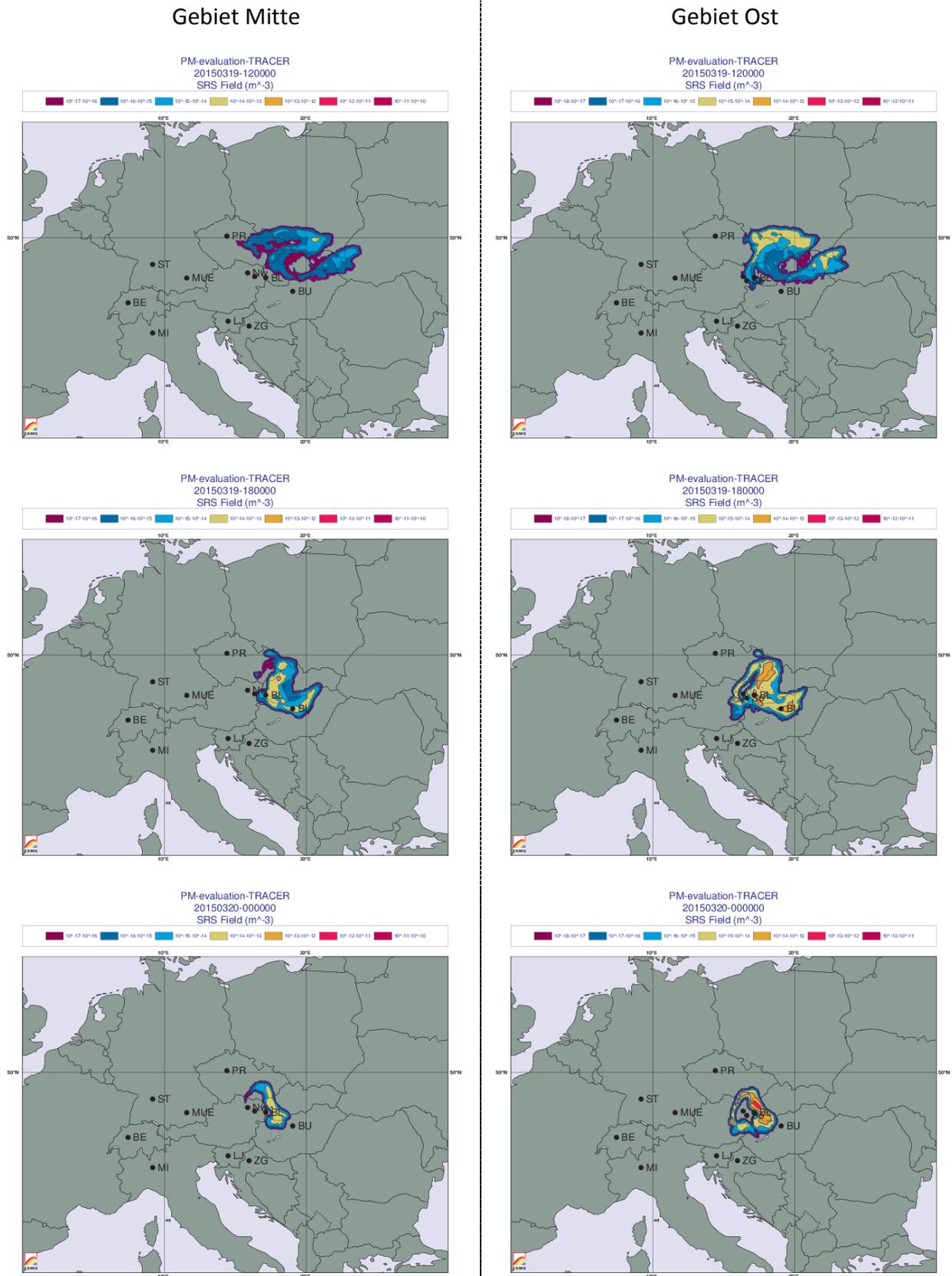


Abbildung 3-31: QRS-Felder (Quell-Rezeptor-Sensitivität) berechnet mit FLEXPART, Herkunftsgebiete der Luft vom 19.3. 12 UTC bis 20.3.2014 0 UTC, alle 6 Stunden für das Gebiet Mitte (links) und Gebiet Ost (rechts). Startdatum der Rückwärtsrechnung: 20.3.2015 15 UTC.

3.3 Episode 3: August 2015

3.3.1 Immissionsituation

Typischerweise sind im Sommer die Feinstaubkonzentrationen eher niedriger, da im Sommer konvektive Wetterlagen mit gutem vertikalem Austausch der Luftmassen vorherrschend sind. In der betrachteten Episode im August 2015 zeigten 5 Stationen (Region Mitte und Region Ost) an einem Tag Überschreitungen des PM10-Tagesmittelgrenzwertes.

Ein langsamer Anstieg der Feinstaubkonzentration ist schon ab Ende Juli 2015 in den Tagesmittelwerten erkennbar (Abbildung 3-33). Am 14.8. zeigten dann zwei Stationen in der Region Ost (Klosterneuburg $52,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Wiener Neudorf $53,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) und zwei Stationen in der Region Mitte (Neusiedl/Tullnerfeld $53,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Stockerau $50,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) PM10-Tagesmittelwerte knapp über dem Grenzwert. Die umliegenden Stationen zeigten eher niedrigere Werte, nämlich zwischen $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und $43 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM10. Nur die Station Biedermannsdorf, welche in unmittelbarer Nähe zur Station Wiener Neudorf liegt, zeigte mit $50,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM10 ebenfalls einen erhöhten Tagesmittelwert, welcher aber definitionsgemäß noch unterhalb des Grenzwertes liegt.

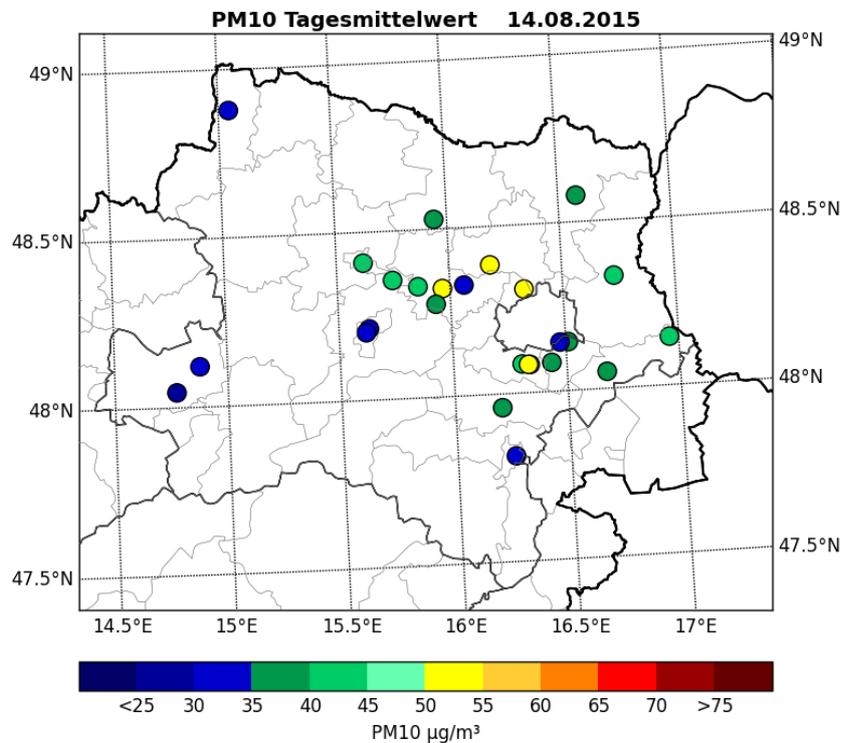


Abbildung 3-32: PM10-Tagesmittelwerte aller niederösterreichischen Luftgütestationen am 14.08.2015.

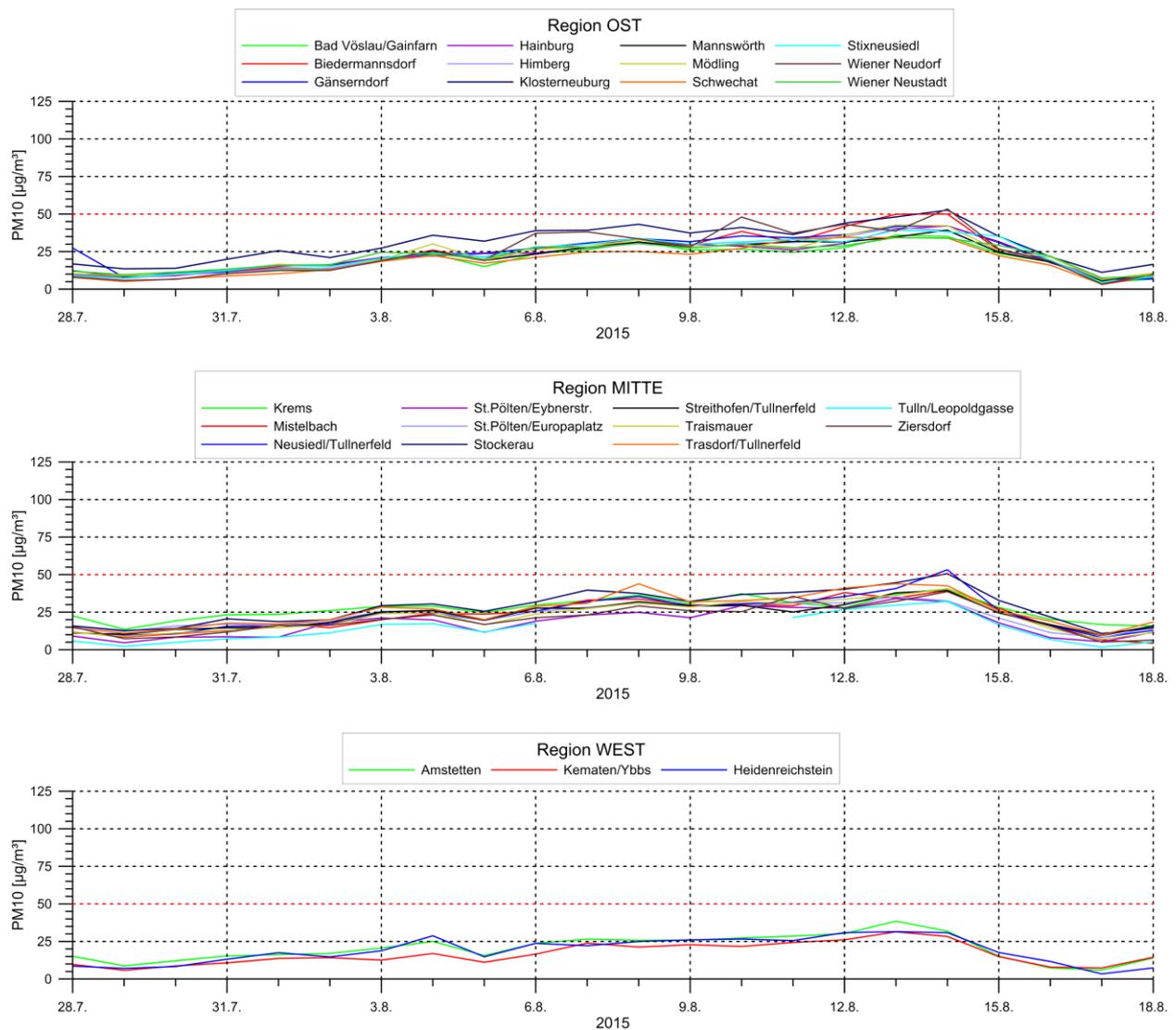


Abbildung 3-33: PM10-Tagesmittelwerte der niederösterreichischen Luftgütestationen eingeteilt in die Regionen Ost (oben), Mitte (Mitte) und West (unten).

3.3.2 Meteorologie

Nachfolgend sind für die Regionen West (Abbildung 3-34), Mitte (Abbildung 3-35) und Ost (Abbildung 3-36) die Zeitreihen der meteorologischen Messungen sowie die Spanne zwischen dem maximalen und minimalen Tagesmittelwert der PM10-Messungen (blauer Bereich) im jeweiligen Gebiet dargestellt. Die meteorologischen Messungen stammen von den für die jeweilige Region ausgewählten TAWES-Stationen (Kapitel 2.1). Dargestellt wurden die Tagesmittelwerte der Temperatur (grüne Linie), die Halbstundenmittelwerte der Windrichtung (rote Punkte) und das 5-Stunden gleitende Mittel der Windgeschwindigkeit (graue Linie). Die Abbildungen umfassen den Zeitraum von 25.7. bis 18.8.2015.

REGION WEST

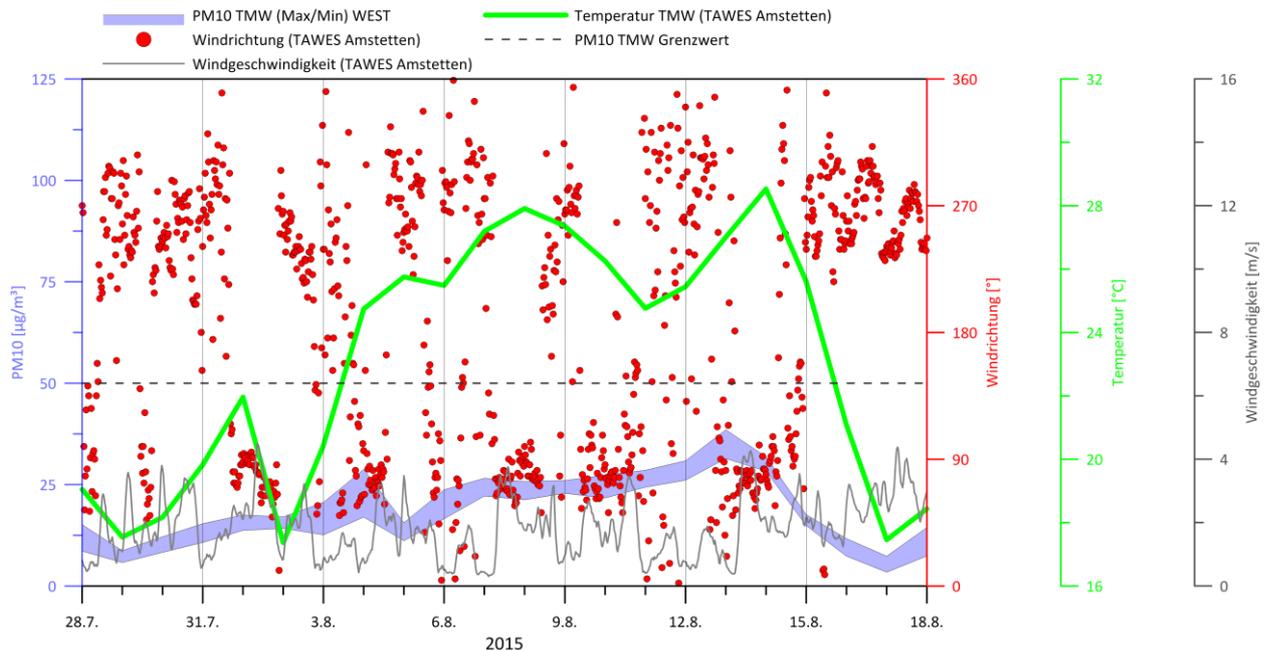


Abbildung 3-34: Spanne zwischen dem maximalen und minimalen Tagesmittelwert der PM10-Konzentrationen der Luftgütestationen in der Region „West“ (blaue Fläche), sowie die Tagesmittelwerte der Temperatur (grüne Linie), 5-Stunden gleitendes Mittel der Windgeschwindigkeit (graue Linie) und Stundenwerte der Windrichtung (rote Punkte) der TAWES Station Amstetten.

REGION MITTE

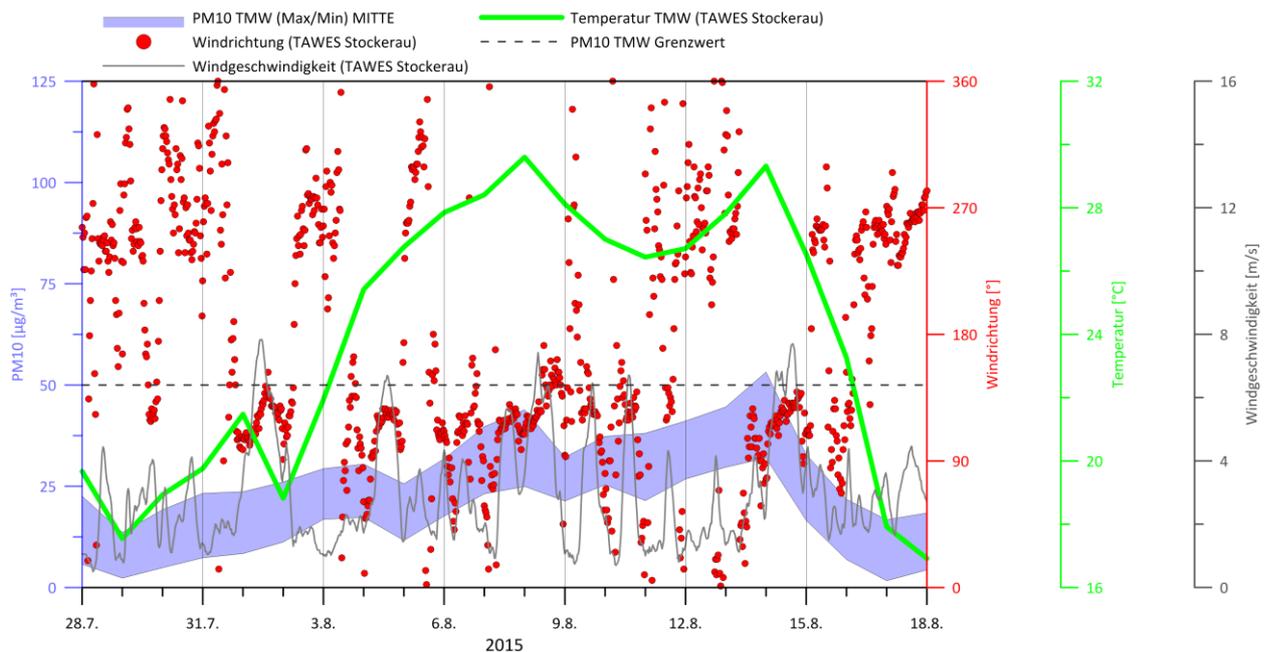


Abbildung 3-35: Spanne zwischen dem maximalen und minimalen Tagesmittelwert der PM10-Konzentrationen der Luftgütestationen in der Region „Mitte“ (blaue Fläche), sowie die Tagesmittelwerte der Temperatur (grüne Linie), 5-Stunden gleitendes Mittel der Windgeschwindigkeit (graue Linie) und Stundenwerte der Windrichtung (rote Punkte) der TAWES Station Stockerau.

REGION OST

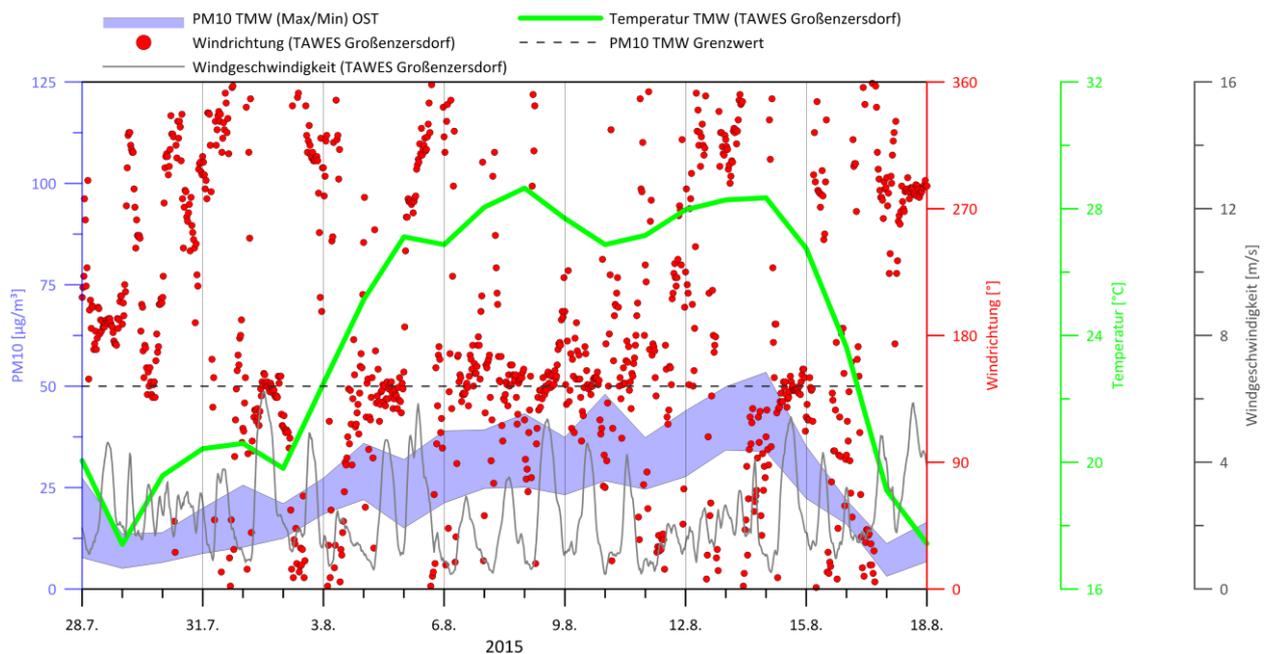


Abbildung 3-36: Spanne zwischen dem maximalen und minimalen Tagesmittelwert der PM10-Konzentrationen der Luftgütestationen in der Region „Ost“ (blaue Fläche), sowie die Tagesmittelwerte der Temperatur (grüne Linie), 5-Stunden gleitendes Mittel der Windgeschwindigkeit (graue Linie) und Stundenwerte der Windrichtung (rote Punkte) der TAWES Station Großenzersdorf.

Zu Beginn des betrachteten Zeitraums (28.7. bis 30.7.2015) beherrschte ein Tiefdrucksystem das Wettergeschehen in Österreich. Das dazugehörige Frontensystem bedingte Niederschläge in großen Teilen Österreichs. Bis zum 1.8. machte sich kurz Hochdruckeinfluss bemerkbar. Dieser wurde jedoch schnell vom nächsten Tiefdruckgebiet abgelöst, welches am 1.8. für Niederschläge in Westösterreich und am 2.8. in Ostösterreich sorgte. Das Tiefdruckgebiet löste sich schnell auf und Österreich kam in eine gradientschwache Lage zwischen einem Hochdruckgebiet mit Kern über Osteuropa und einem Tiefdrucksystem mit Kern nordwestlich der Britischen Inseln. Diese gradientschwache Lage mit niedrigen Windgeschwindigkeiten, sehr sonnigem Wetter und fast keinen Niederschlägen führte zu einer lang anhaltenden Hitzewelle in Ostösterreich. Ungewöhnlich waren die vielen extrem heißen Tage, z.B. wurde in Wien und in St. Pölten an neun Tagen hintereinander eine Temperatur von mind. 35 °C gemessen. Die höchste Temperatur innerhalb dieser Hitzeperiode wurde am 12.8. mit 38,2 °C in Wolkersdorf gemessen. Zusätzlich war es im August 2015 sehr trocken, in Niederösterreich lag die Abweichung zum langjährigen Mittel (1981-2010) bei -35 %. Am letzten Tag der Hitzeperiode (14.8.) wurde dann von insgesamt 4 Stationen eine Überschreitung des PM10-Tagesmittelgrenzwertes gemessen.

Die vertikalen Temperaturprofile zeigen deutlich, dass sich nachts eine sehr flache Temperaturinversion ausbilden konnte, welche jedoch in den Morgenstunden aufgelöst wurde. Erst am Tag nach der Grenzwertüberschreitung ist auch tagsüber eine Temperaturinversion im Radiosondenprofil erkennbar (Abbildung 3-37).

In der Region Mitte schwankte der Wind während der Hitzeperiode immer wieder zwischen südöstlichen und westlichen Richtungen. In der Region Mitte und Ost kam der Wind während der Hitzeperiode bis zum 11.8. meist aus südöstlichen Richtungen. Danach wurden 2 Tage lang schwache Winde aus Süd- bis Nordwest beobachtet. Am Tag vor der Grenzwertüberschreitung drehte der Wind auf Südost. Auch die Windrichtungsprofile der Radiosonde (Abbildung 3-38) zeigen dieses Bild: So wurden am 11.8. durchwegs Windrichtungen aus Südost über alle Höhenschichten gemessen. Tags darauf zeigen zwar die untersten Schichten (vor allem tagsüber) Winde aus nordwestlichen Richtungen, jedoch ab etwa 1000 m wurden dann eher nordöstliche Winde gemessen. Auch am 13.8. zeigt die Bodenmessung noch nordwestliche Winde, der Radiosondenaufstieg zeigt aber schon in wenigen hundert Meter über Grund östliche Winde. Am 14.8. wurde dann über alle Höhenschichten hinweg Südostwind gemessen.

In dieser sommerlichen Feinstaubepisode war zwar keine Temperaturinversion in den unteren Schichten der Grenzschicht vorhanden, wie sie typischerweise in den Wintermonaten vorkommt. Die Aerosole sammelten sich aufgrund der geringen Windgeschwindigkeit sowohl bodennah als auch in den höheren Luftschichten (Abbildung 3-39) und der damit verbundenen geringen mechanischen Durchmischung der bodennahen Luftschichten dennoch in der Grenzschicht an. Aufgrund der zudem sehr trockenen Witterungsbedingungen hat dies schlussendlich zur Überschreitung des PM₁₀-Tagesmittelgrenzwertes geführt. Die Zunahme der Aerosolkonzentration in Bodennähe ist auch in den Rückstreudiagrammen des Ceilometers gut zu sehen (Abbildung 3-40).

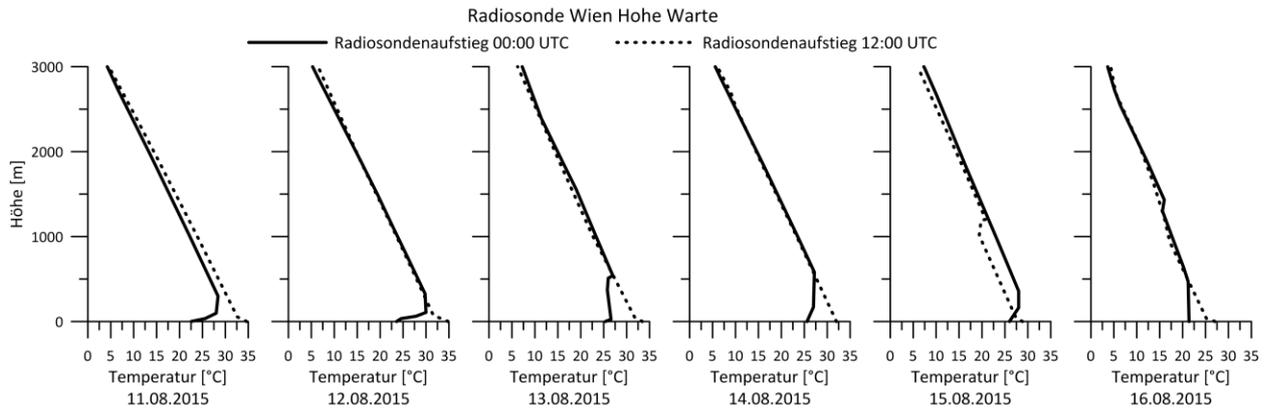


Abbildung 3-37: Temperaturprofile der Radiosonde in Wien Hohe Warte von 11.8. bis 16.8.2015.

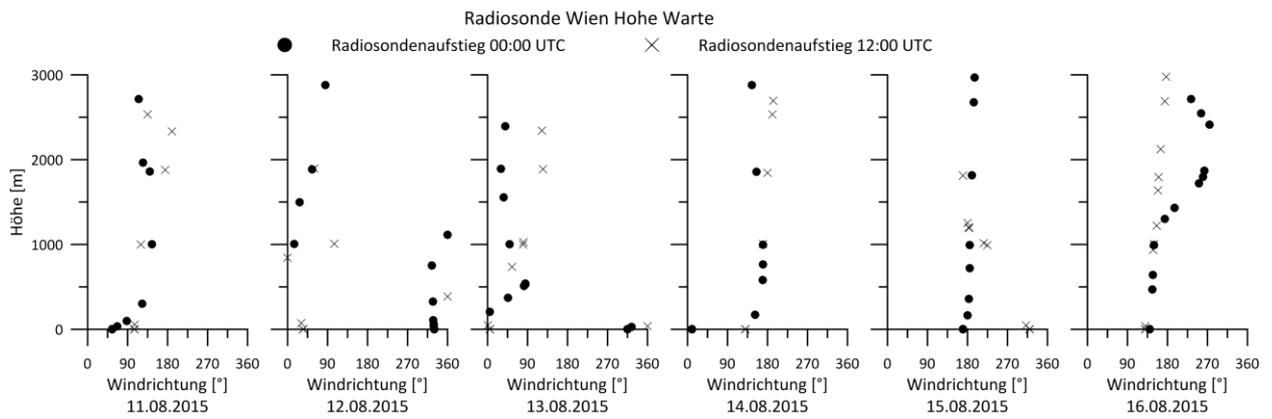


Abbildung 3-38: Windrichtungsprofile der Radiosonde in Wien Hohe Warte von 11.8. bis 16.8.2015.

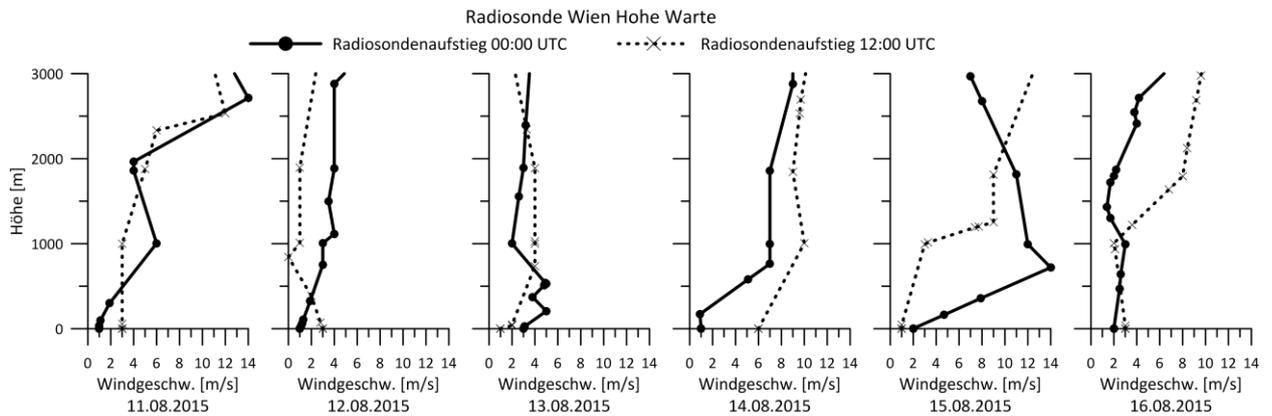


Abbildung 3-39: Windgeschwindigkeitsprofile der Radiosonde in Wien Hohe Warte von 11.8. bis 16.8.2015.

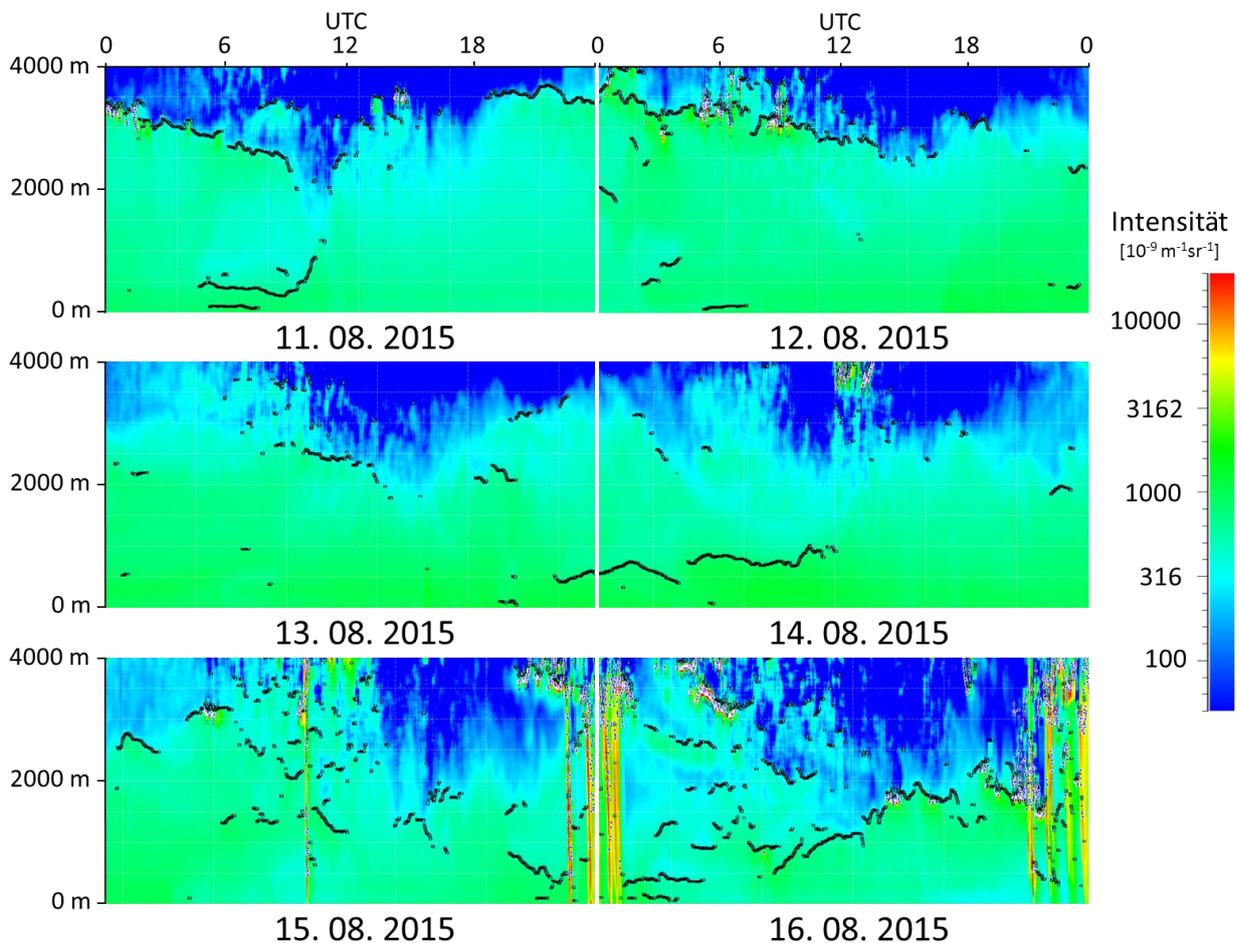


Abbildung 3-40: Rückstreuintensitäten des Ceilometers Wien Hohe Warte von 11.8. bis 16.8.2015.

3.3.3 Modellierung

Mit dem Lagrange'schen Ausbreitungsmodell FLEXPART (Kapitel 2.3) wurde eine Rückwärtsrechnung durchgeführt, um das potentielle Herkunftsgebiet der gemessenen Feinstaubgrenzwertüberschreitung eingrenzen zu können. In der betrachteten Episode wurde am 14.8. eine Überschreitung des Grenzwertes von insgesamt 4 Stationen gemessen.

Die Ergebnisse der Rückwärtsrechnung sind in Abbildung 3-41 für das Gebiet Mitte links und Gebiet Ost rechts dargestellt. Die Abbildungen zeigen die Gebiete, in welchen sich die Luft in den bodennächsten 100 m befunden hat, bevor sie am 14.8.2015 15:00 UTC im jeweiligen „Zielgebiet“ bodennah (etwa 10 m Höhe) angekommen ist.

Auch wenn die „Zielgebiete“ (Abbildung 2-5) nahe beieinander liegen, ist gut zu erkennen, dass der Weg der Luft im betrachteten Zeitraum leicht unterschiedlich war. Die Luft überquerte 39 Stunden vor der Ankunft in den beiden Gebieten etwa dieselben Regionen in Osteuropa (nördliches Ungarn, östliche Slowakei, südliches Polen). Das QRS-Feld für das Gebiet Mitte zeigt

aber noch weitere Herkunftsgebiete in den östlichen Teilen Österreichs sowie aus südlichen Gebieten (Kroatien, Bosnien-Herzegowina, Italien).

6 Stunden später hat sich die Luft weiter südwärts bewegt (mittlere Abbildungen) und erstreckt sich nun über Ungarn, Serbien, Bosnien Herzegowina sowie Kroatien. Das QRS-Feld für das Gebiet Ost zeigt sich als längliches Band und schließt auch noch die östliche Ukraine mit ein. Das QRS-Feld für das Gebiet Mitte ist etwas kleinräumiger und zeigt zusätzlich noch ein potentiell Herkunftsgebiet in Italien.

15 Stunden bevor die Luft das Gebiet Mitte erreicht hat, lag sie südlich von Österreich über Slowenien und Teilen Kroatiens. Für das Gebiet Ost lag die Luft etwas weiter östlich und überdeckte das nordöstliche Kroatien sowie den Südosten Ungarns.

Danach zog die Luft in Richtung Norden über Österreich hinweg und kam schließlich in den beiden „Zielgebieten“ an.

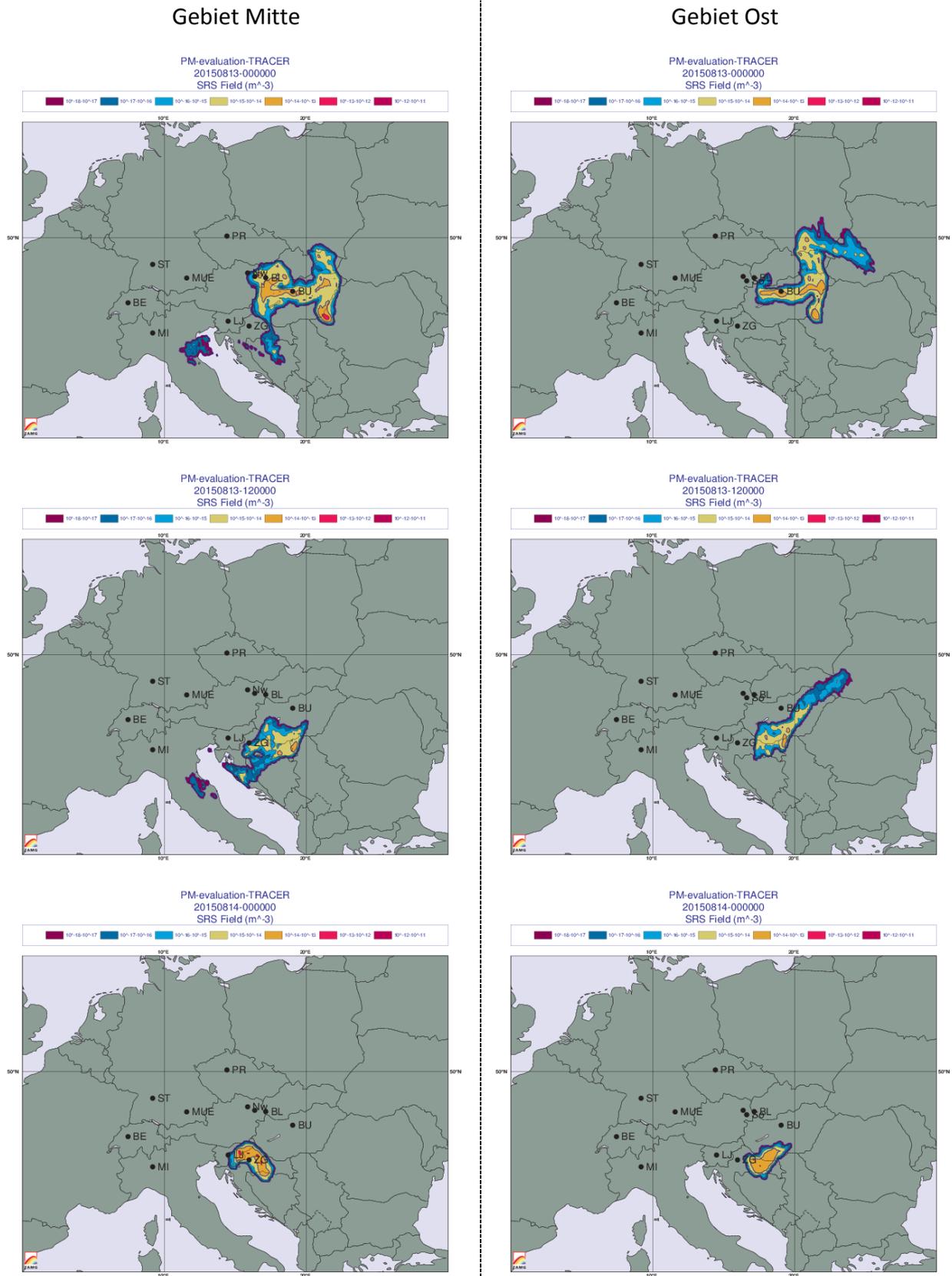


Abbildung 3-41: QRS-Felder (Quell-Rezeptor-Sensitivität) berechnet mit FLEXPART, Herkunftsgebiete der Luft vom 13.8. 0 UTC bis 14.8.2015 0 UTC, alle 12 Stunden für das Gebiet Mitte (links) und Gebiet Ost (rechts). Startdatum der Rückwärtsrechnung: 14.8.2015 15 UTC.

3.4 Episode 4: November 2015

3.4.1 Immissionssituation

In Abbildung 3-42 sind die PM10-Tagesmittelwerte aller niederösterreichischen Luftgütemessstationen eingeteilt in die Regionen Ost, Mitte und West für den Zeitraum 20.10. bis 13.11.2015 dargestellt.

Alle Luftgütemessstationen zeigen zu Beginn des betrachteten Zeitraums einen Anstieg in den PM10-Tagesmittelwerten. Der Anstieg ist in den Regionen Mitte und Ost ausgeprägter als in der Region West, dennoch ist hier ebenfalls ein leichter Anstieg erkennbar. Die höchste PM10-Konzentration wurde in der Region West jedoch schon ein bzw. zwei Tage vor der Spitze in den beiden anderen Regionen gemessen. Nur die Station Klosterneuburg in der Region Ost zeigte mit einem PM10-Tagesmittelwert von $55,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ eine Überschreitung Grenzwertes. Die restlichen Stationen in der Region Ost zeigten im Tagesmittel deutlich niedrigere Werte, zwischen $38,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bis $45,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM10.

Nach dieser kleinen Spitze fielen die Feinstaubkonzentrationen bis zum 1.11. leicht ab. Danach zeigten wieder alle Stationen einen deutlichen Anstieg in den Konzentrationen. Von 3.11. bis 7.11. ereigneten sich mehrere Überschreitungen des PM10-Tagesmittelgrenzwertes. In der flächenmäßigen Darstellung der PM10-Tagesmittelwerte (Abbildung 3-43) ist zu sehen, dass am 3.11. in allen drei Regionen Überschreitungen gemessen worden sind. Am 4.11. zeigten alle Stationen in der Region Ost im Tagesmittel deutlich erhöhte Feinstaubwerte zwischen $62,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Bad Vöslau) und $77,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Hainburg). Auch in der Region Mitte waren die Tagesmittelwerte erhöht ($72,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in Mistelbach, $54,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in Streithofen). Ab dem 5.11. ging die Feinstaubkonzentration bei fast allen Stationen etwas zurück, vor allem in der Region Mitte. Die Tagesmittelwerte blieben jedoch bei vielen Stationen über dem Grenzwert, so wurden z.B. in der Region Ost an 10 Stationen Überschreitungen verzeichnet (aus den Messungen von 2 Stationen konnte an diesem Tag kein gültiger Tagesmittelwert gebildet werden). In der Region Mitte lieferten nur 2 Stationen (Mistelbach $70,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Stockerau $52,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$) PM10-Konzentrationen über dem Grenzwert. Einen Anstieg der Feinstaubkonzentration zeigte die Station Amstetten ($54,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) in der Region West. Am 6.11. fiel dann die Feinstaubkonzentration großräumig stark ab. In Abbildung 3-43 (unten rechts) ist deutlich zu erkennen, dass die Tagesmittelwerte an den meisten Stationen in den Regionen West und Mitte unter $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM10 lagen. Nur an einer Station in der Region Mitte

(Mistelbach) wurde noch eine Überschreitung registriert. In der Region Ost ist die Abnahme in den Konzentrationen ebenfalls deutlich zu erkennen, jedoch zeigten noch 7 Stationen Konzentrationen über dem Grenzwert. Tags darauf traten Grenzwertüberschreitung nur mehr an 3 Stationen in der Region Ost auf. In den beiden anderen Regionen wurden keine Feinstaubkonzentrationen über $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Tagesmittel gemessen.

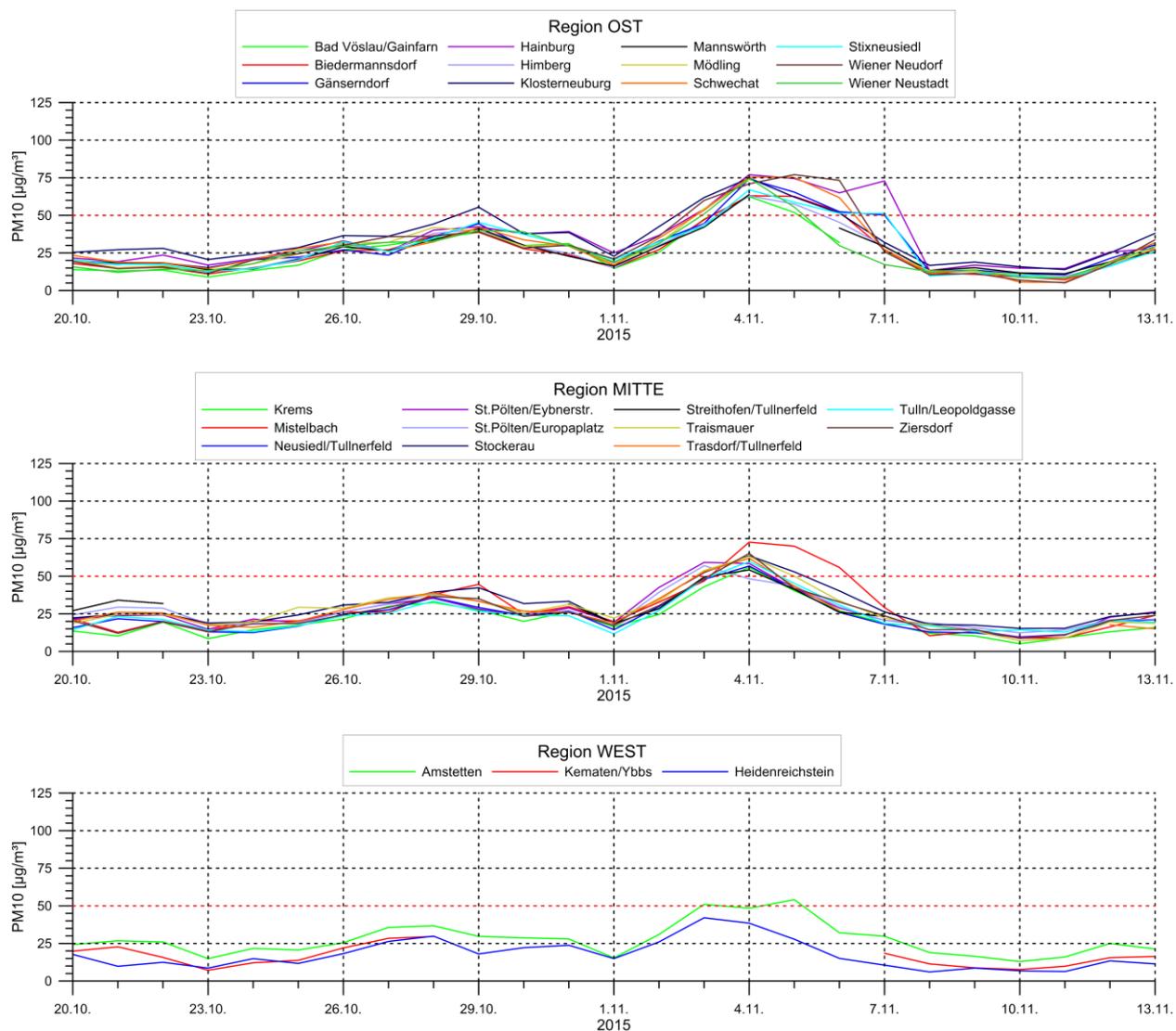


Abbildung 3-42: PM10-Tagesmittelwerte der niederösterreichischen Luftgütestationen eingeteilt in die Regionen Ost (oben), Mitte (Mitte) und West (unten)

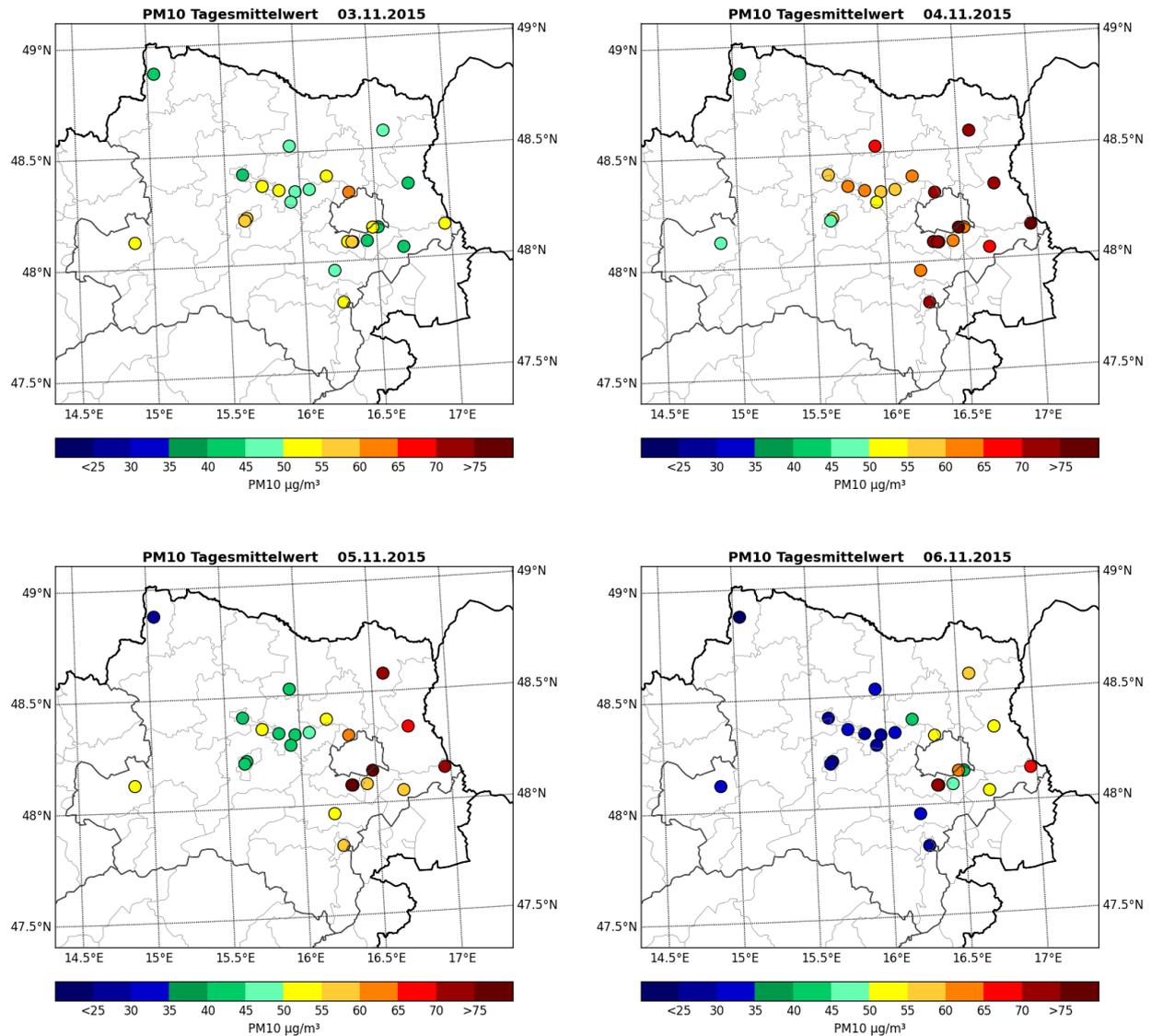


Abbildung 3-43: PM10-Tagesmittelwerte aller niederösterreichischen Luftgütestationen vom 3.11. bis 6.11.2015.

3.4.2 Meteorologie

Nachfolgend sind für die Regionen West (Abbildung 3-44), Mitte (Abbildung 3-45) und Ost (Abbildung 3-46) die Zeitreihen der meteorologischen Messungen sowie die Spanne zwischen dem maximalen Tages- und minimalen Tagesmittelwert der PM10-Messungen (blauer Bereich) im jeweiligen Gebiet von 20.10. bis 13.11.2015 dargestellt. Die meteorologischen Messungen stammen von den für die jeweilige Region ausgewählten TAWES-Stationen (Kapitel 2.1). Dargestellt wurden die Tagesmittelwerte der Temperatur (grüne Linie), die Halbstundenmittelwerte der Windrichtung (rote Punkte) und das 5-Stunden gleitende Mittel der Windgeschwindigkeit (graue Linie).

REGION WEST

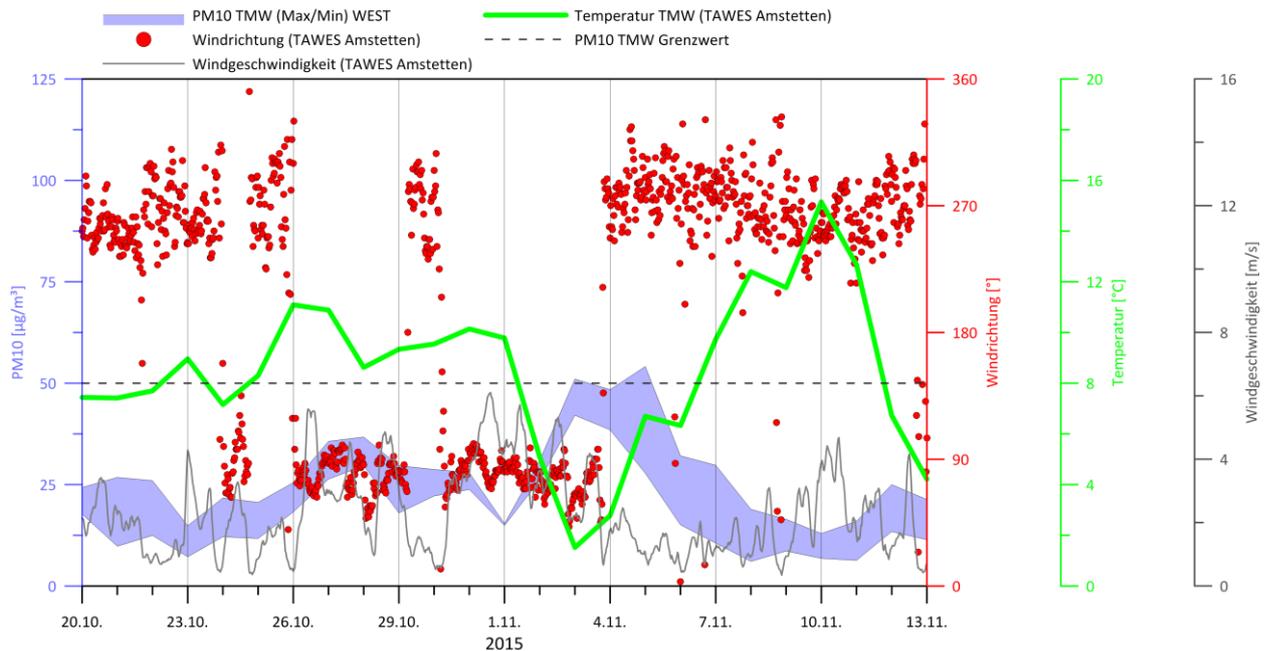


Abbildung 3-44: Spanne zwischen dem maximalen und minimalen Tagesmittelwert der PM10-Konzentrationen der Luftgütestationen in der Region „West“ (blaue Fläche), sowie die Tagesmittelwerte der Temperatur (grüne Linie), 5-Stunden gleitendes Mittel der Windgeschwindigkeit (graue Linie) und Stundenwerte der Windrichtung (rote Punkte) der TAWES Station Amstetten.

REGION MITTE

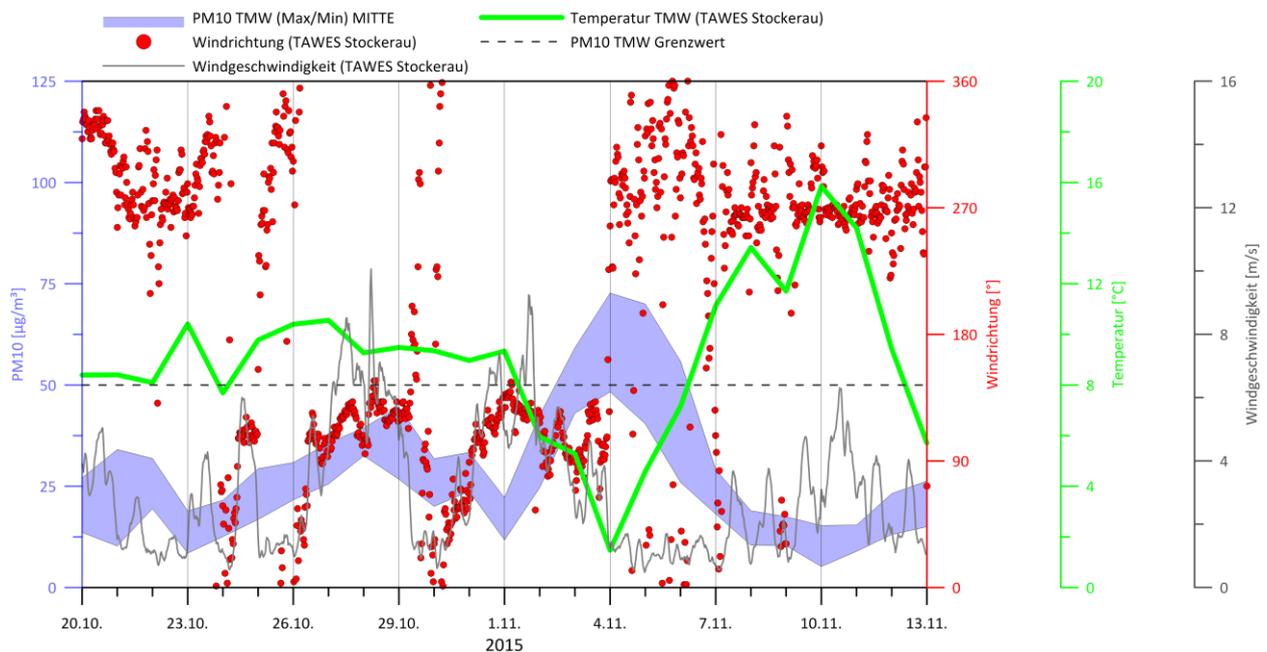


Abbildung 3-45: Spanne zwischen dem maximalen und minimalen Tagesmittelwert der PM10-Konzentrationen der Luftgütestationen in der Region „Mitte“ (blaue Fläche), sowie die Tagesmittelwerte der Temperatur (grüne Linie), 5-Stunden gleitendes Mittel der Windgeschwindigkeit (graue Linie) und Stundenwerte der Windrichtung (rote Punkte) der TAWES Station Stockerau.

REGION OST

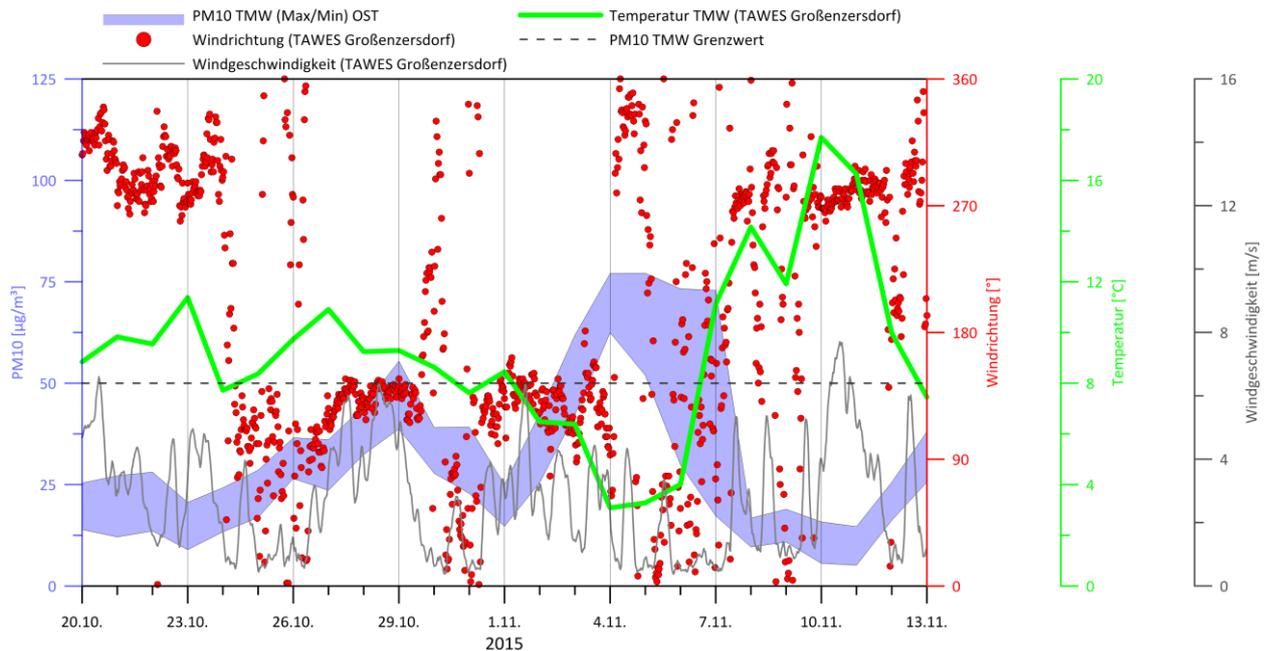


Abbildung 3-46: Spanne zwischen dem maximalen und minimalen Tagesmittelwert der PM10-Konzentrationen der Luftgütestationen in der Region „Ost“ (blaue Fläche), sowie die Tagesmittelwerte der Temperatur (grüne Linie), 5-Stunden gleitendes Mittel der Windgeschwindigkeit (graue Linie) und Stundenwerte der Windrichtung (rote Punkte) der TAWES Station Großenzersdorf.

Zu Beginn des betrachteten Zeitraums herrschte Hochdruckeinfluss in Österreich. Das ausgedehnte Hochdruckgebiet mit Kern im Atlantik brachte Österreich in eine Nordwest-Strömung. Im Osten des Landes war es vorwiegend trüb, Niederschläge gab es jedoch nur am 21.10. Nach Abzug des Hochdruckgebiets kam Österreich in eine Südost-Strömung. In Ostösterreich hielt sich bei dieser Wetterlage fast durchgehend eine hochnebelartige Bewölkung, wie sie am Unterrand einer abgehobenen Temperaturinversion zu beobachten ist. Zusätzlich führten geringe Windgeschwindigkeiten zu keinem wesentlichen Austausch der Luftmassen, weshalb die Feinstaubkonzentrationen in allen Regionen zu steigen begannen. Am 29.10. wurde der PM10-Grenzwert in der Region Ost überschritten.

Am 30.10. fiel die Feinstaubkonzentration wieder, da ein Höhentief südlich der Alpen kurzzeitig an Einfluss gewann. Der auffrischende Wind drehte kurz auf nordwestliche Richtungen und der Tag verlief in großen Teilen Österreichs relativ sonnig.

Das Höhentief löste sich schnell auf und das Hochdruckgebiet mit Kern über Osteuropa gewann wieder an Einfluss. Die Strömung drehte auf Südost und die Temperaturen begannen zu sinken. Wie bei Südost-Wetterlagen üblich begann sich im Osten Österreichs eine Temperaturinversion auszubilden (Abbildung 3-47). Diese Inversion verhinderte einen vertikalen Austausch der

Luftmassen. Auch der horizontale Luftaustausch war aufgrund der relativ niedrigen Windgeschwindigkeiten abgeschwächt. Der Feinstaubgehalt in der Atmosphäre stieg an und führte von 3.11. bis 7.11. zu mehreren Überschreitungen des Grenzwerts. Diese Zunahme in den Feinstaubkonzentrationen ist auch in den Rückstreuendiagrammen des Ceilometers erkennbar (Abbildung 3-49).

Bis zum 4.11. konnten auch in der Höhe durchgehend Winde aus südöstlichen bis südlichen Richtungen beobachtet werden (Abbildung 3-48). Am 5.11. drehte der Wind sowohl am Boden als auch in der Höhe auf westliche Richtungen. Die ausgeprägte Temperaturinversion konnte nicht ausgeräumt werden und blieb bis zum 7.11. bestehen. Mit der Auflösung der Temperaturinversion stiegen die Temperaturen stark an und die Feinstaubkonzentration ging stark zurück.

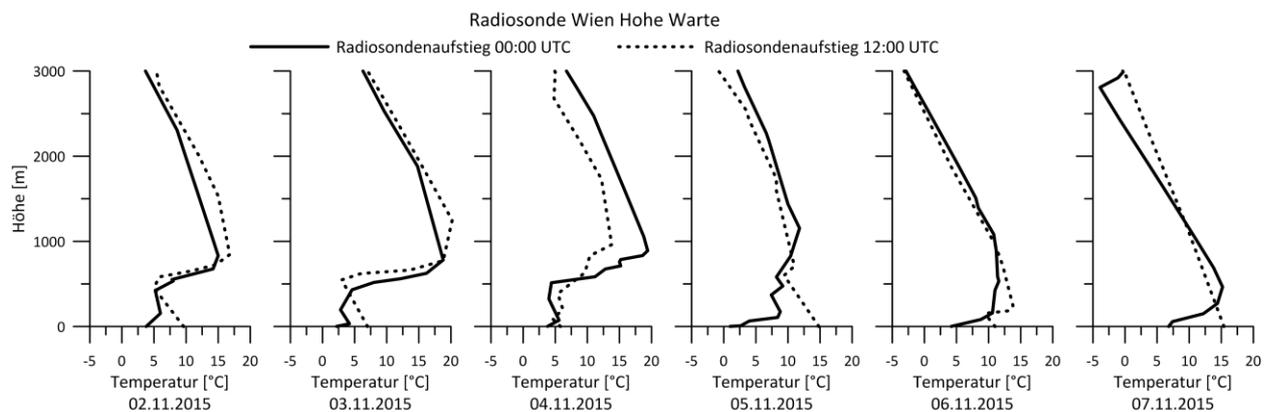


Abbildung 3-47: Temperaturprofile der Radiosonde in Wien Hohe Warte von 2.11. bis 7.11.2015.

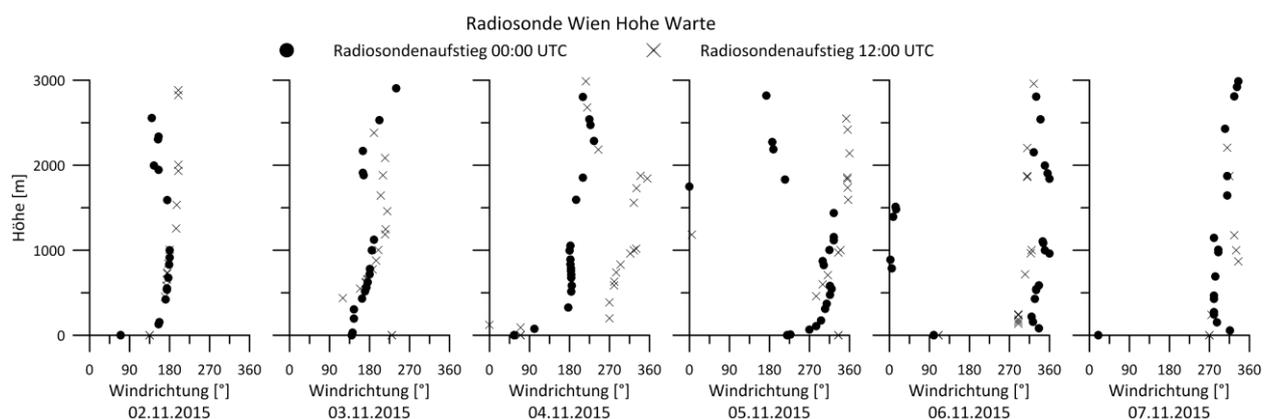


Abbildung 3-48: Windrichtungsprofile der Radiosonde in Wien Hohe Warte 2.11. bis 7.11.2015.

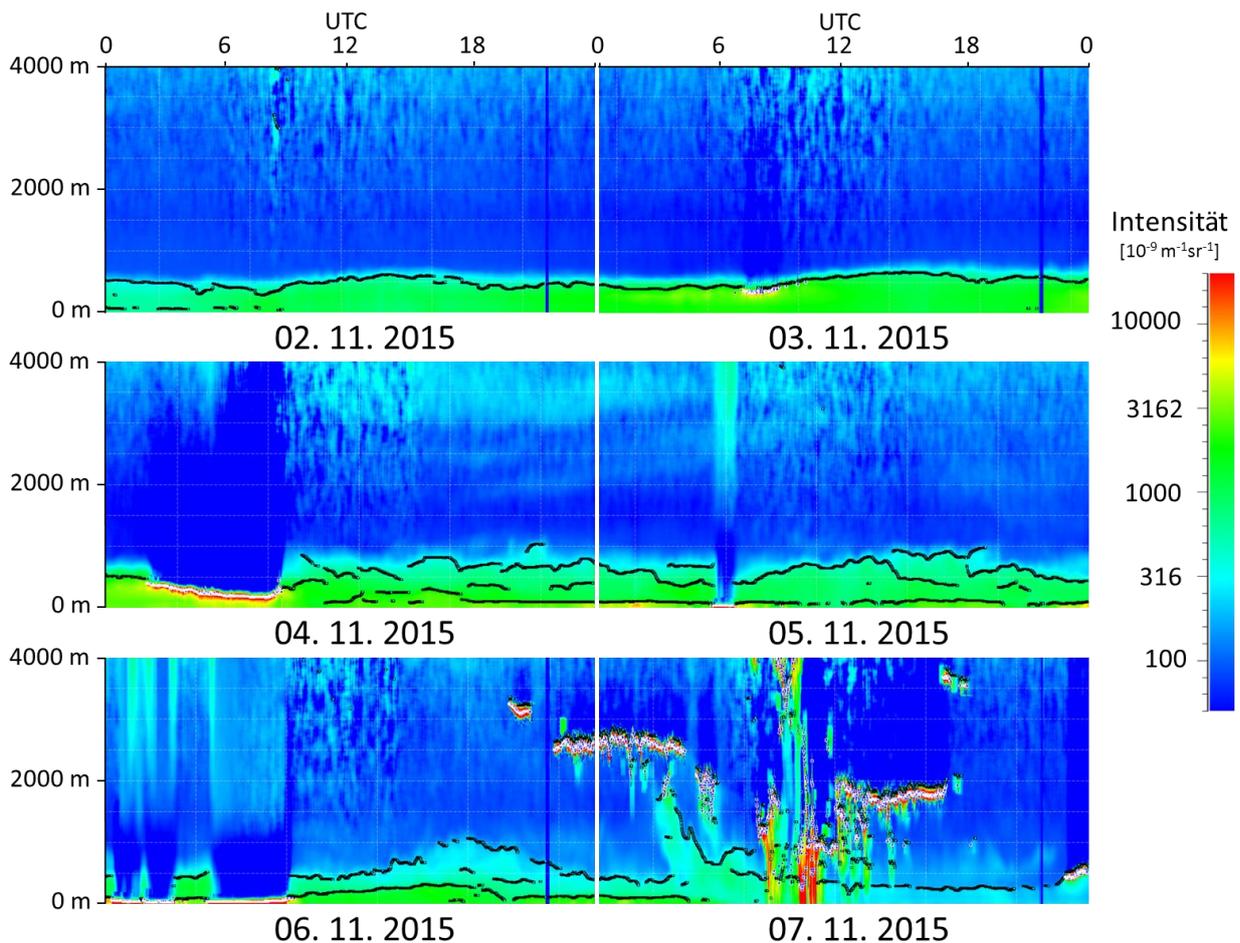


Abbildung 3-49: Rückstreuintensitäten des Ceilometers Wien Hohe Warte von 2.11. bis 7.11.2015.

3.4.3 Modellierung

Mit dem Lagrange'schen Ausbreitungsmodell FLEXPART (Kapitel 2.3) wurde eine Rückwärtsrechnung durchgeführt, um das potentielle Herkunftsgebiet der gemessenen Feinstaubgrenzwertüberschreitung eingrenzen zu können. In der betrachteten Episode wurde am 29.10.2015 eine punktuelle Überschreitung in der Region Ost und eine mehrtägige großräumige Überschreitung des Grenzwerts registriert. Die meisten Grenzwertüberschreitungen in dieser Episode wurden am 4.11. an den niederösterreichischen Luftgütemessstationen gemessen, weshalb für diesen Tag die Rückwärtsrechnung durchgeführt wurde.

Die Ergebnisse der Rückwärtsrechnung sind in Abbildung 3-50 für das Gebiet Mitte links und für das Gebiet Ost rechts dargestellt. Die Abbildungen zeigen die Gebiete, in welchen sich die Luft in den bodennächsten 100 m befunden hat, bevor sie am 4.11.2015 15:00 UTC im jeweiligen „Zielgebiet“ bodennah (etwa 10 m Höhe) angekommen ist.

Der Weg der Luft war für beide Gebiete (Abbildung 2-5) relativ ähnlich. 27 Stunden (3.11. 12 UTC) vor Ankunft in beiden „Zielgebieten“ lag die Luft über großen Teilen von Österreich, dem südlichen Deutschland und der östlichen Schweiz. In das Gebiet Ost kam auch noch ein Anteil aus den südöstlichen Nachbarländern (Slowenien und Ungarn). An den TAWES-Stationen wurde am 3.11. meist noch Wind aus Südost gemessen. Die TAWES-Station in der Region West zeigt aber ab den Mittagsstunden schon nordwestliche Winde, die beiden anderen TAWES-Stationen in der Region Mitte und Ost dann erst ab dem 4.11. Über dem Westen Niederösterreichs herrschte also schon früher eine westliche Strömung, weshalb auch die QRS-Felder für das Gebiet Mitte nur im Westen liegen. Im Osten zeigte sich hier noch der Einfluss der südöstlichen Winde, weshalb auch von dort Luft zum Gebiet Ost transportiert wurde. Zu berücksichtigen ist natürlich, dass eine Messstation nur eine lokale Information wiedergeben kann, das Modell jedoch die großräumige Strömung berücksichtigt.

Das mittlere Bild in der Abbildung 3-50 zeigt die Herkunftsgebiete der Luft 21 Stunden vor Eintreffen in den beiden „Zielgebieten“. Für das Gebiet Mitte ergibt die Modellierung in diesem Fall einen Einfluss von Luftmassen aus dem südlichen Deutschland sowie Teilen aus Salzburg und Oberösterreich. Die QRS-Felder für das Gebiet Ost sind etwas ausgedehnter und umschließen zusätzlich Teile Tirols, des Burgenlands sowie die westliche Slowakei und Ungarn.

6 Stunden später, also 15 Stunden vor Ankunft der Luft im Gebiet Mitte bzw. Ost, sind die Herkunftsgebiete schon deutlich kleiner. Für das Gebiet Mitte lag die Luft im südöstlichen Deutschland, direkt an der Grenze zu Österreich. Das Herkunftsgebiet für das Gebiet Ost lag bereits über dem nordwestlichen Teilen Österreichs (Salzburg, Oberösterreich, Niederösterreich), außerdem kam ein Teil der Luft aus dem südöstlichen Deutschland und dem südlichen Tschechien.

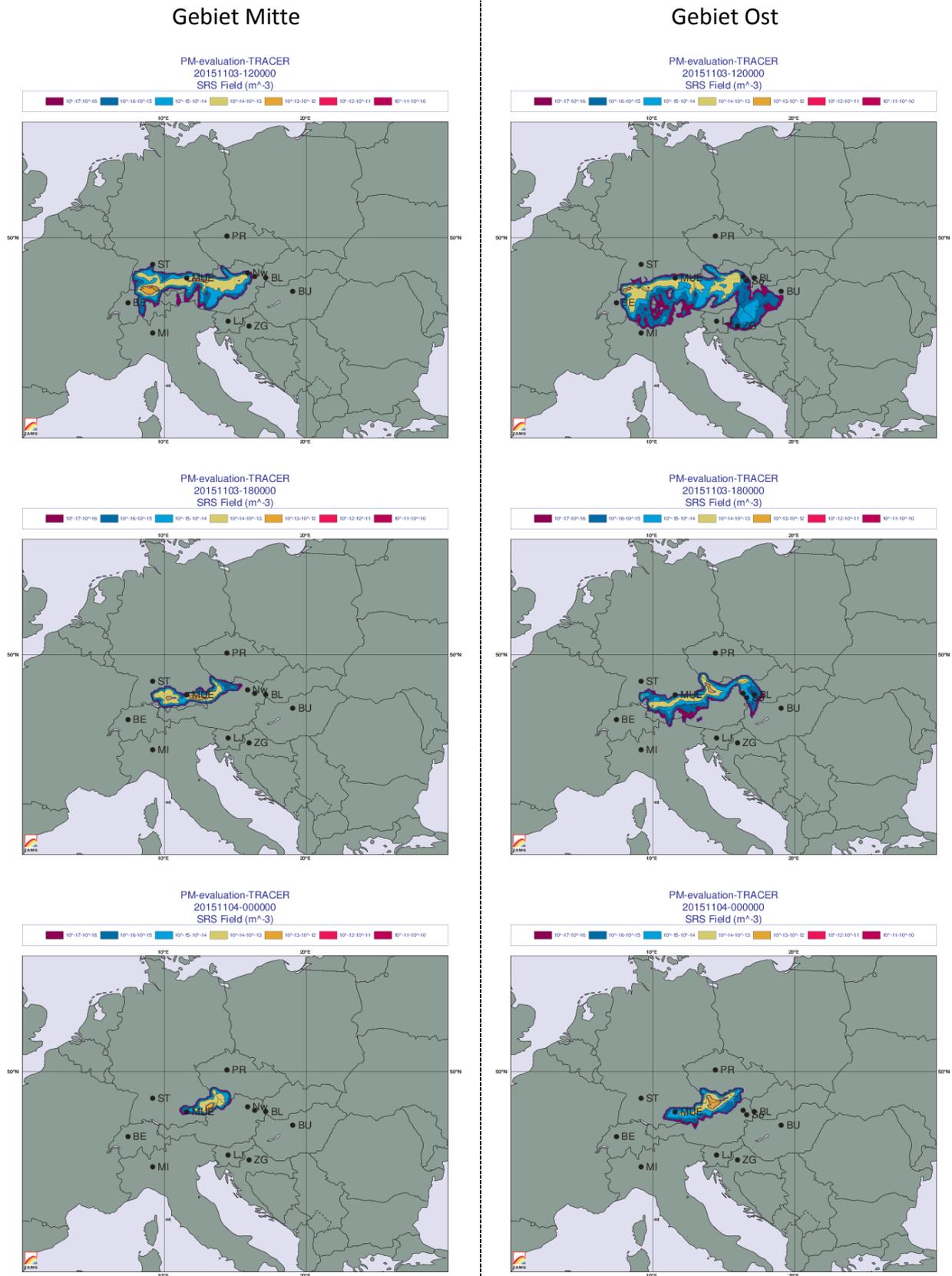


Abbildung 3-50: QRS-Felder (Quell-Rezeptor-Sensitivität) berechnet mit FLEXPART, Herkunftsgebiete der Luft vom 3.11. 12 UTC bis 4.11.2015 0 UTC, alle 6 Stunden für das Gebiet Mitte (links) und Gebiet Ost (rechts). Startdatum der Rückwärtsrechnung: 4.11.2015 15 UTC.

3.5 Episode 5: Jänner und Februar 2017

3.5.1 Immissionssituation

In Abbildung 3-51 sind die PM₁₀-Tagesmittelwerte aller niederösterreichischen Luftgütemessstationen eingeteilt in die Regionen Ost, Mitte und West für den Zeitraum 5.1. bis 22.2.2017 dargestellt.

Im betrachteten Zeitraum wurden mehrere, teilweise recht lang anhaltende, Feinstaubepisoden in allen drei Regionen registriert. Die erste Überschreitung des Grenzwertes wurde am 11.1. in der Region Ost und Mitte von insgesamt 12 Stationen registriert. Danach ging die Feinstaubkonzentration wieder zurück. Ab dem 14.1. stieg die Konzentration dann wieder stark an. Vom 19.1. bis zum 2.2. wurden in allen Regionen großflächig PM₁₀-Werte über dem Grenzwert gemessen. Die höchsten Konzentrationen traten am 21.1. auf, dabei lagen die PM₁₀-Tagesmittelwerte in der Region Ost zwischen 82,3 µg/m³ (Hainburg) und 121,1 µg/m³ (Biedermannsdorf). In der Region Mitte wurden im Tagesmittel PM₁₀-Konzentrationen zwischen 81,1 µg/m³ (Mistelbach) und 118,7 µg/m³ (St. Pölten/Europaplatz) verzeichnet. Auch in der Region West, die tendenziell eher niedrigere Feinstaubkonzentrationen zeigt, wurden deutliche Überschreitungen des Grenzwertes beobachtet (zwischen 53,5 µg/m³ in Heidenreichstein und 80,1 µg/m³ in Amstetten).

Nach dieser PM₁₀-Spitze nahm die Konzentration bis zum 25.1., 26.1. bzw. 27.1. wieder ab. In der Region Ost wurden am 25.1. nur mehr an 2 Stationen und am 26.1. bzw. 27.1. an 4 Stationen PM₁₀-Konzentrationen über dem Grenzwert gemessen. In der Region Mitte und West lagen die Feinstaubwerte am 26.1 und 27.1. generell unter dem Grenzwert.

Gegen Ende Jänner 2017 stiegen die PM₁₀-Konzentrationen in Niederösterreich wiederum an und erreichten am 1.2. Höchstwerte. An diesem Tag lagen die PM₁₀-Tagesmittelwerte nur etwas niedriger als jene am 21.1.: In der Region West zwischen 72,1 µg/m³ (Heidenreichstein) und 78,0 µg/m³ (Amstetten), in der Region Mitte zwischen 66,9 µg/m³ (Mistelbach) und 95,9 µg/m³ (Trasdorf/Tulln) und in der Region Ost zwischen 55,8 µg/m³ (Hainburg) und 103,1 µg/m³ (Wiener Neustadt).

Bis zum 5.2. nahmen die Konzentrationen wieder ab, begannen aber danach wieder sprunghaft anzusteigen. Am 9.2. überschritten die PM₁₀-Konzentrationen wieder an fast allen niederösterreichischen Luftgütemessstationen den Grenzwert.

Bereits am 10.2. und 11.2. wurden an allen Stationen Feinstaubwerte unter dem Grenzwert gemessen, während von 12.2. bis zum 16.2. wieder großflächig Überschreitungen des Grenzwertes auftraten. Die PM10-Konzentrationen lagen in dieser Episode mit bis zu $84,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ etwas unter den Werten der langen Episode von Mitte Jänner bis Anfang Februar.

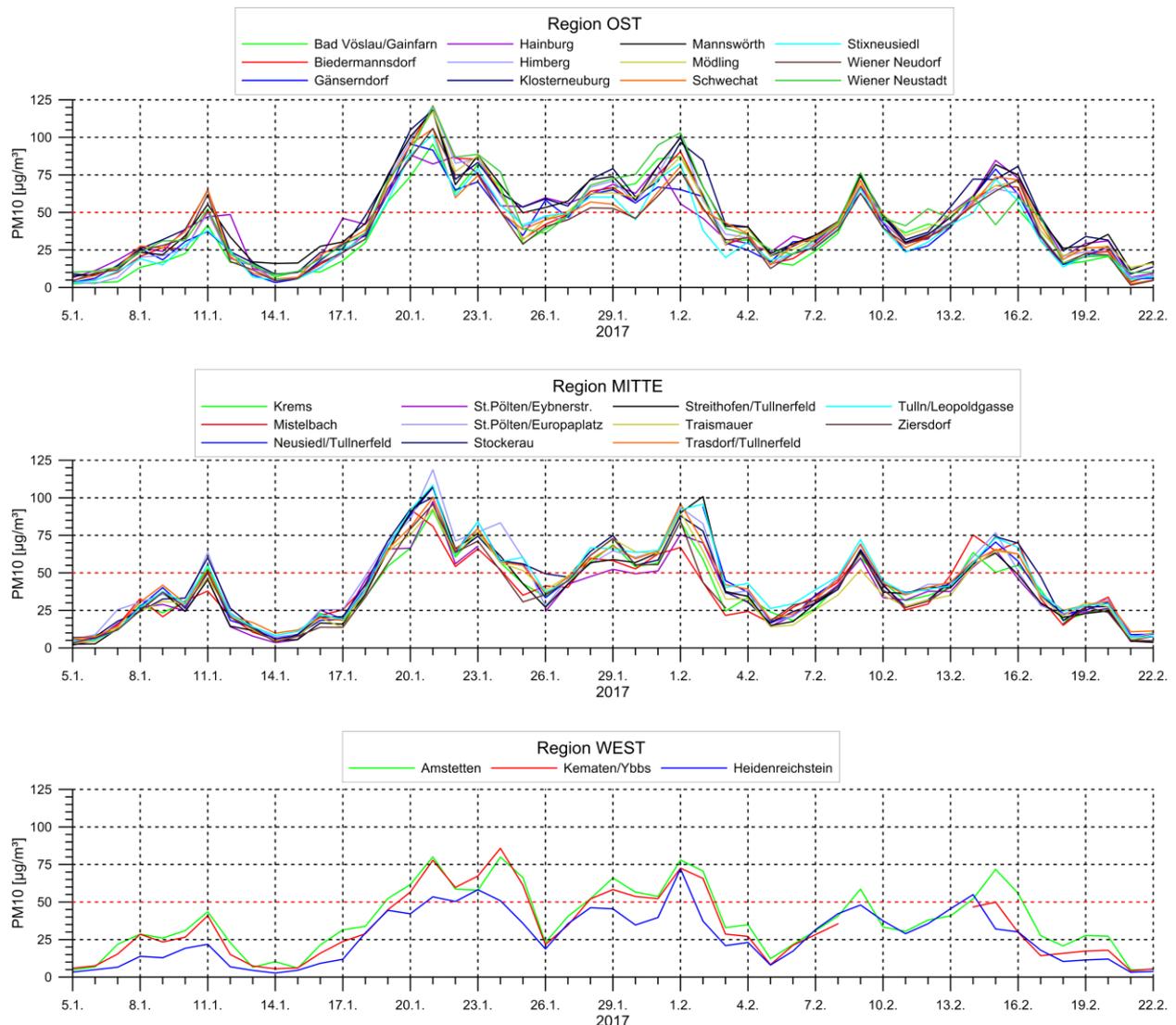


Abbildung 3-51: PM10-Tagesmittelwerte der niederösterreichischen Luftgütestationen eingeteilt in die Regionen Ost (oben), Mitte (Mitte) und West (unten).

3.5.2 Meteorologie

Nachfolgend sind für die Regionen West (Abbildung 3-52), Mitte (Abbildung 3-53) und Ost (Abbildung 3-54) die Zeitreihen der meteorologischen Messungen sowie die Spanne zwischen dem maximalen und minimalen Tagesmittelwert der PM10-Messungen (blauer Bereich) im jeweiligen Gebiet dargestellt. Die meteorologischen Messungen stammen von den für die jeweilige Region ausgewählten TAWES-Stationen (Kapitel 2.1). Dargestellt wurden die Tagesmittelwerte der Temperatur (grüne Linie), die Halbstundenmittelwerte der Windrichtung

(rote Punkte) und das 5-Stunden gleitende Mittel der Windgeschwindigkeit (graue Linie). Der betrachtete Zeitraum (5.1. bis 22.2.2017) ist auf 2 Abbildungen aufgeteilt, damit die Grafik übersichtlicher wird.

REGION WEST

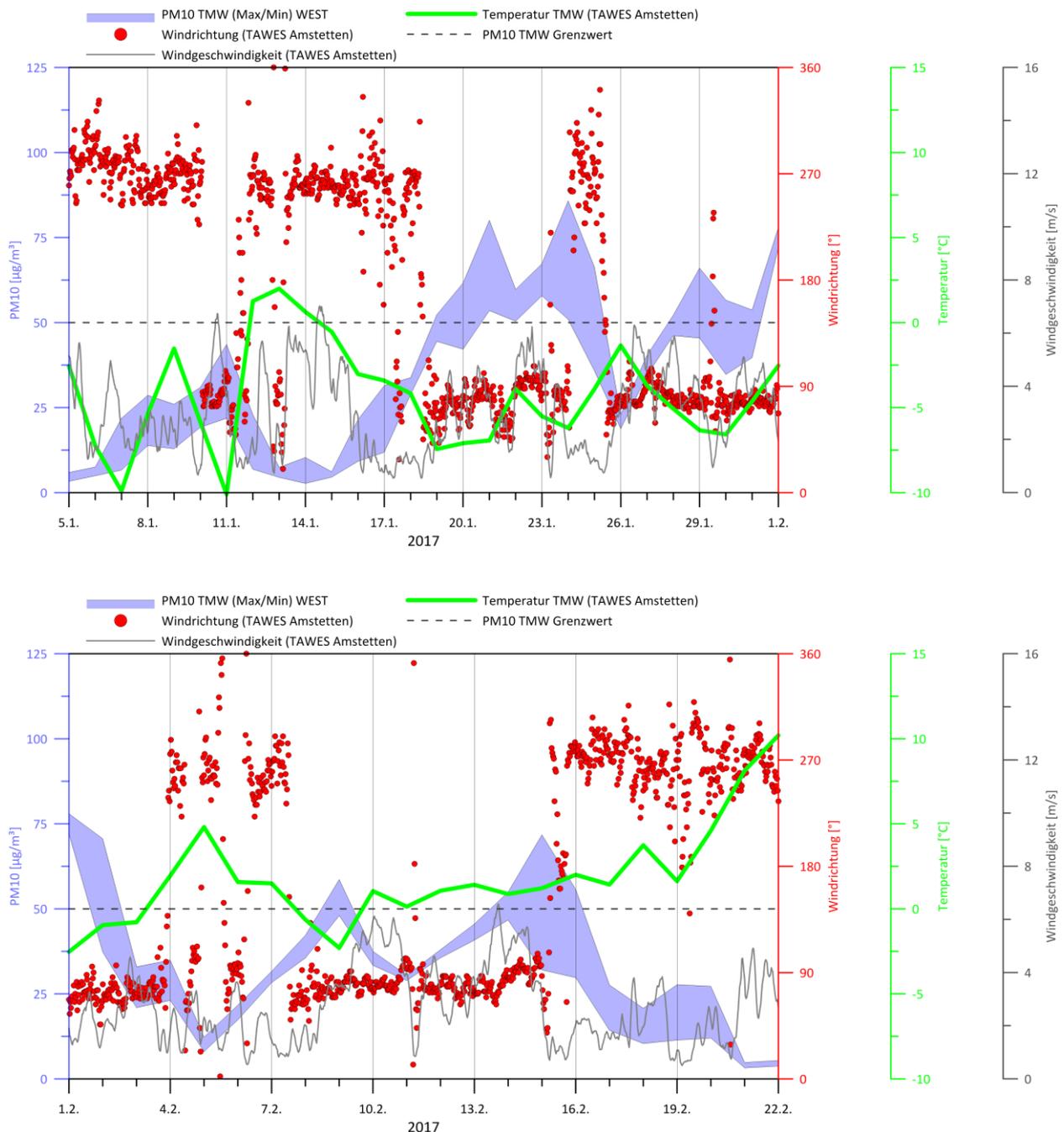


Abbildung 3-52: Spanne zwischen dem maximalen und minimalen Tagesmittelwert der PM10-Konzentrationen der Luftgütestationen in der Region „West“ (blaue Fläche), sowie die Tagesmittelwerte der Temperatur (grüne Linie), 5-Stunden gleitendes Mittel der Windgeschwindigkeit (graue Linie) und Stundenwerte der Windrichtung (rote Punkte) der TAWES Station Amstetten.

REGION MITTE

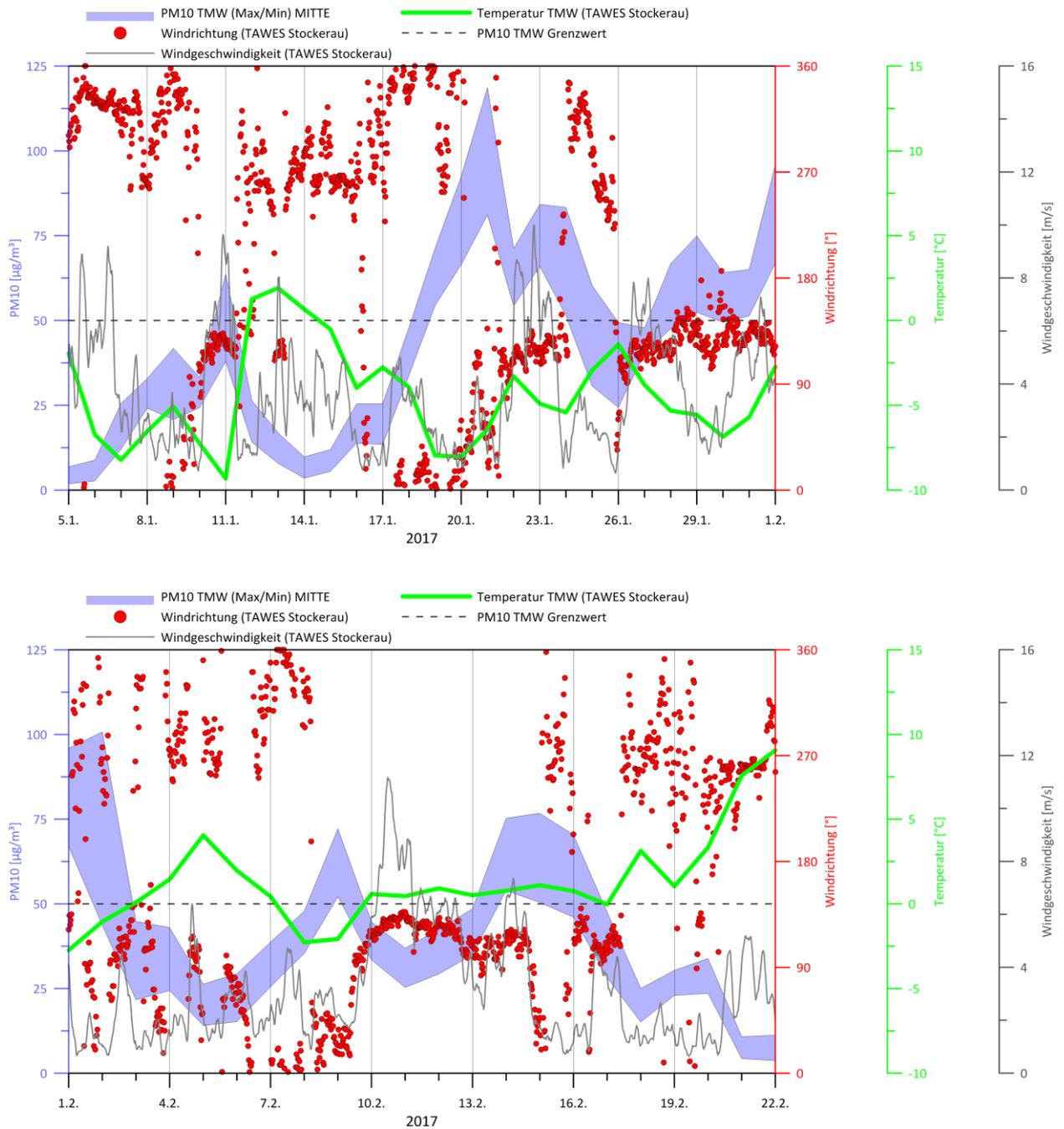


Abbildung 3-53: Spanne zwischen dem maximalen und minimalen Tagesmittelwert der PM10-Konzentrationen der Luftgütestationen in der Region „Mitte“ (blaue Fläche), sowie die Tagesmittelwerte der Temperatur (grüne Linie), 5-Stunden gleitendes Mittel der Windgeschwindigkeit (graue Linie) und Stundenwerte der Windrichtung (rote Punkte) der TAWES Station Stockerau.

REGION OST

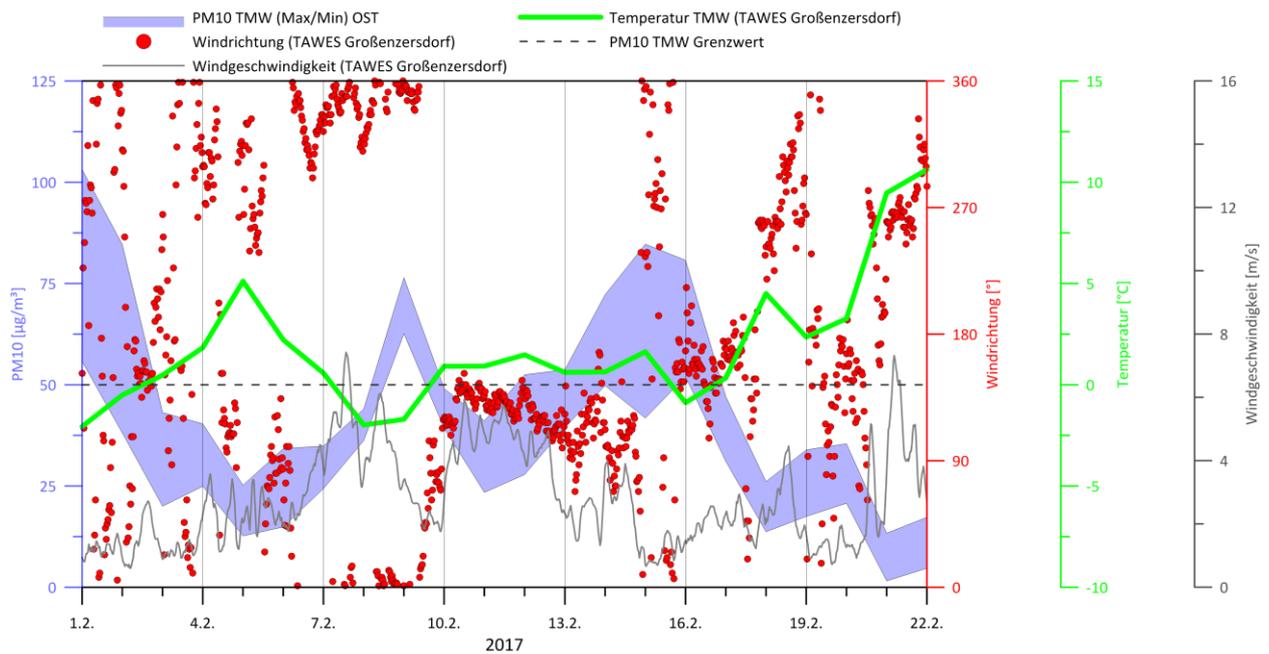
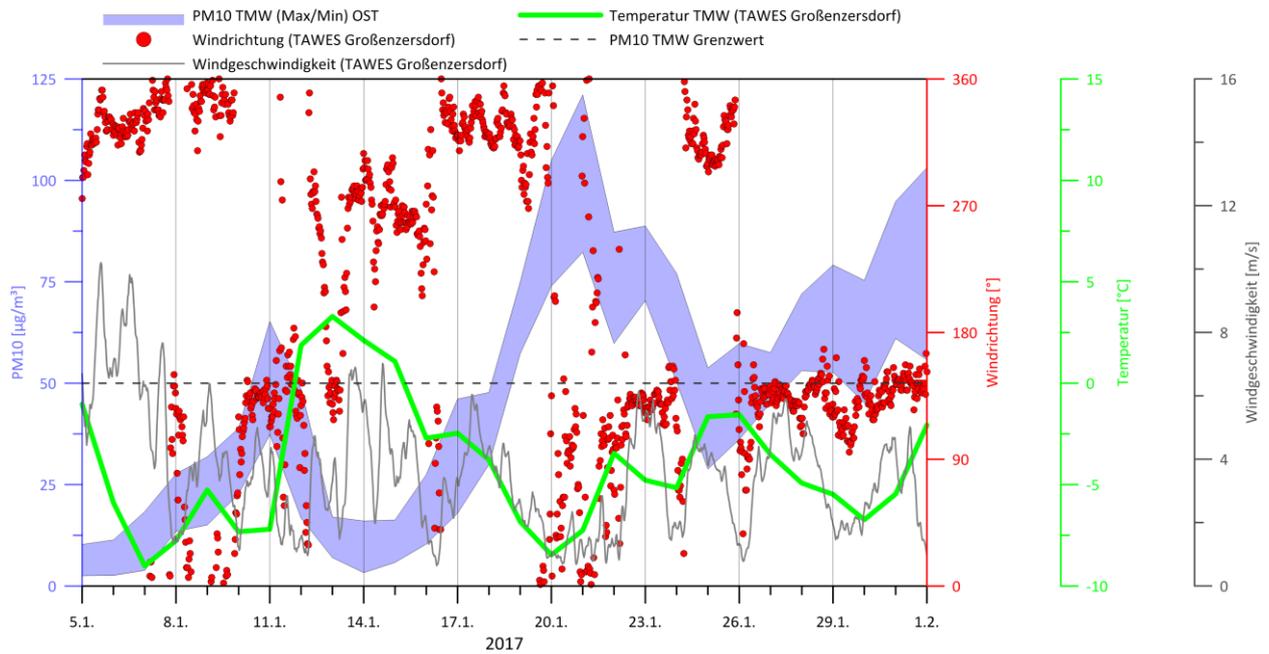


Abbildung 3-54: Spanne zwischen dem maximalen und minimalen Tagesmittelwert der PM10-Konzentrationen der Luftgütestationen in der Region „Ost“ (blaue Fläche), sowie die Tagesmittelwerte der Temperatur (grüne Linie), 5-Stunden gleitendes Mittel der Windgeschwindigkeit (graue Linie) und Stundenwerte der Windrichtung (rote Punkte) der TAWES Station Großenzersdorf.

Anfang Jänner 2017 war ein Hochdruckgebiet mit Zentrum über Norwegen und Schweden wetterbestimmend in Österreich. Durch das Hochdruckgebiet gelang Österreich im Einflussbereich einer Nordströmung, mit welcher kalte Luft nach Österreich transportiert worden ist. Die Temperaturen fielen rasch ab. In Ostösterreich blieb es meist trüb und aus dem Hochnebel schneite es ab und zu, was zu ein paar Zentimetern Neuschnee im östlichen Flachland führte. Eine ausgeprägte Temperaturinversion war in dieser Zeit nicht vorherrschend, jedoch zeigen sich in den Temperaturprofilen der Radiosonde Wien Hohe Warte (Abbildung 3-55) Änderungen im Temperaturgradienten (Temperaturab- oder zunahme mit der Höhe). Diese kleinen Änderungen im Temperaturprofil wirken ebenfalls als Sperrschicht und vermindern den vertikalen Austausch der Luftmassen. Die geringe Temperaturabnahme mit der Höhe, z.B. am 8.1., auf wird als stabile Schichtung der Atmosphäre bezeichnet und ist mit austauscharmen Bedingungen in der Atmosphäre verbunden.

Kurz vor der gemessenen Grenzwertüberschreitung (11.1.) in der Region Ost und Mitte drehte der Wind sowohl am Boden als auch in der Höhe infolge des Weiterzugs des Hochdruckgebiets nach Osten auf südöstliche Richtungen (Abbildung 3-56). Südöstliche Strömungslagen gehen in Ostösterreich meist mit stabilen Schichtungen, d.h. austauscharmen Situationen, bzw. auch Temperaturinversionen (wie am 11.1., Abbildung 3-55) einher. Durch die Akkumulation der Aerosole in der Grenzschicht bei relativ niedrigen Windgeschwindigkeiten wurde am 11.1. eine Grenzwertüberschreitung an einigen Stationen registriert.

Das Hochdruckgebiet über Osteuropa wurde langsam von einem starken Tiefdruckgebiet mit Kern zwischen Island und Norwegen verdrängt. Schon am 11.1. wurden von der Radiosonde um 12 UTC Winde aus westlichen Richtungen oberhalb der Temperaturinversion gemessen. Am nächsten Tag setzte sich der Westwind bis in Bodennähe durch und die Windgeschwindigkeit nahm etwas zu. Der auffrischende Wind bedingte eine Durchmischung der Grenzschicht (vgl. Temperaturprofil am 12.1. um 12 UTC, Abbildung 3-55 bzw. Rückstreuintensität des Ceilometers, Abbildung 3-57) und einen rasanten Temperaturanstieg. Die Feinstaubkonzentration ging stark zurück.

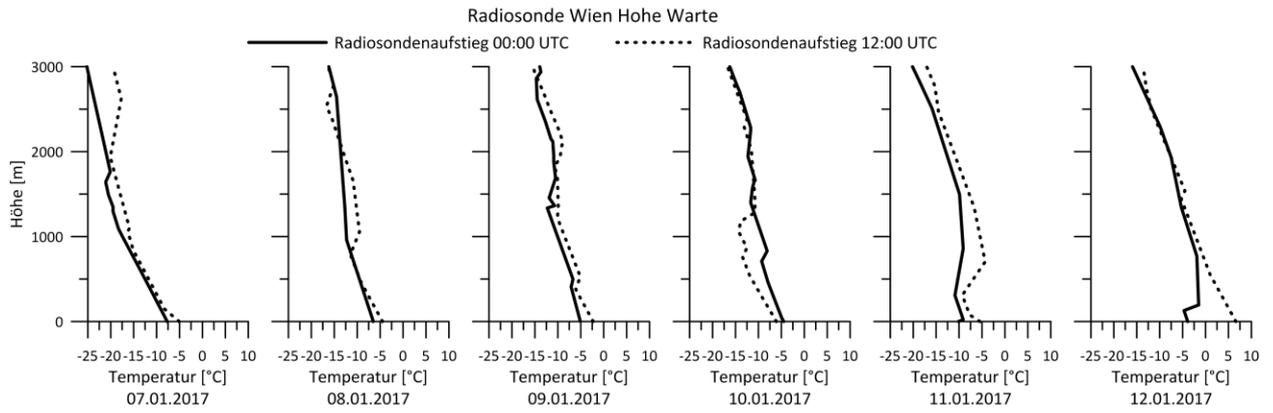


Abbildung 3-55: Temperaturprofile der Radiosonde in Wien Hohe Warte von 7.1. bis 12.1.2017.

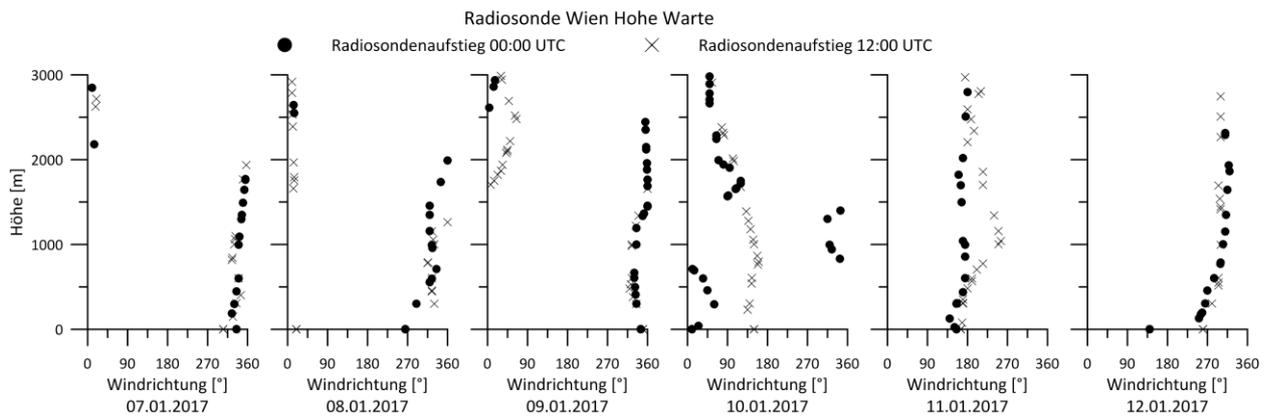


Abbildung 3-56: Windrichtungsprofile der Radiosonde in Wien Hohe Warte von 7.1. bis 12.1.2017.

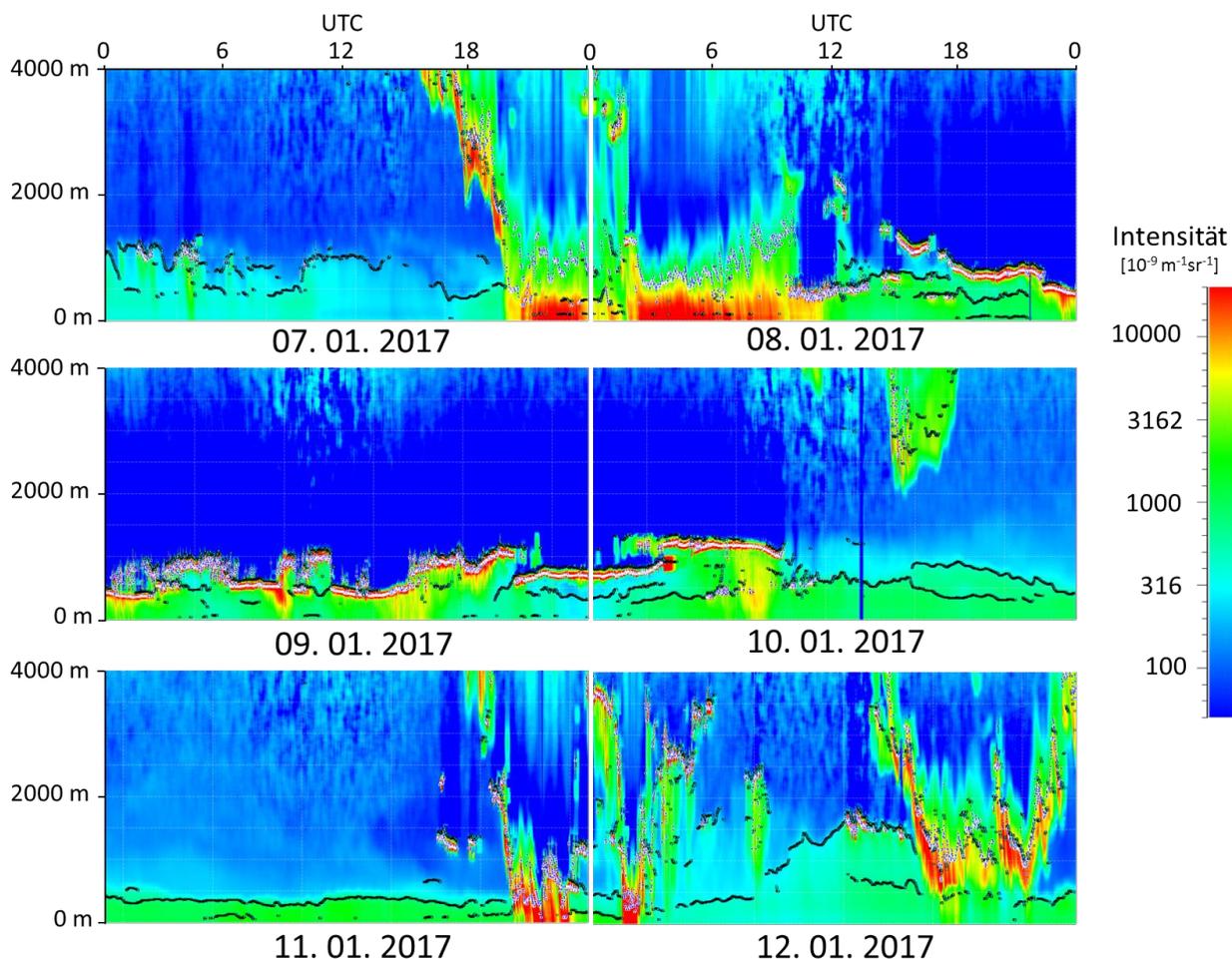


Abbildung 3-57: Rückstreuintensitäten des Ceilometers Wien Hohe Warte von 7.1. bis 12.1.2017.

Der Tiefdruckeinfluss blieb für einige Tage bestehen und in Österreich blieb es meist trüb. Die Winde kamen weitgehend aus westlichen Richtungen. Ab dem 16.1. machte sich langsam wieder Hochdruckeinfluss breit. Die Strömung drehte auf nördliche Richtungen, wodurch wieder kalte Luftmassen nach Österreich transportiert wurden. Die Tagesmittelwerte der Temperatur fielen innerhalb weniger Tage um 15°C . In der kalten Luft bildete sich eine Temperaturinversion aus (Abbildung 3-58), welche den vertikalen Austausch der Luftmassen verhinderte. Das Hochdruckgebiet verlagerte sich nur sehr langsam, doch etwa ab dem 20.1. drehte der Wind in Bodennähe auf südöstliche Richtungen. In der Höhe zeigten sich die südöstlichen Winde schon früher (Abbildung 3-60). Die Zunahme der Aerosolkonzentration unterhalb der Temperaturinversion ist in den Rückstreuintensitäten des Ceilometers durch die gelben Bereiche zu erkennen (Abbildung 3-62). Am 21.1. wurde in allen Regionen eine markante Spitze in den PM₁₀-Konzentrationen gemessen.

Das Hochdruckgebiet verlagerte sich nach dieser PM10-Spitze weiter ostwärts, wodurch Österreich in eine Südost-Strömung gelangte und der Wind etwas auffrischte. Durch die Advektion wärmerer Luftmassen stieg die Temperatur an und die Feinstaubkonzentrationen nahmen ab. Am 24.1. und 25.1. drehte der Wind kurz auf nordwestliche Richtungen und die Windgeschwindigkeit nahm ab. Bis auf zwei Tage (24.1. und 25.1.) blieb die Südost-Strömung bis Anfang Februar bestehen. In der Region Mitte und West traten am 26.1. und 27.1. keine Grenzwertüberschreitungen auf. In der Region Ost zeigten an diesen Tagen noch 4 Stationen eine Überschreitung. An diesen Tagen war zwar noch der Hochdruckeinfluss vorherrschend, nahm aber allmählich ab. Die beiden Tage verliefen vor allem in den westlichen Teilen Niederösterreichs sonnig.

Da sich das Hochdruckgebiet nur sehr langsam weiterbewegte, blieb die bodennahe Südost-Strömung einige Tage erhalten. In den Windrichtungsprofilen (Abbildung 3-61) ist erkennbar, dass an den meisten Tagen unterhalb der stark ausgeprägten Temperaturinversion (Abbildung 3-59) Winde aus südöstlichen Richtungen, darüber eher aus westlichen Richtungen vorherrschend waren. Die Temperatur fiel wieder etwas und die Feinstaubkonzentrationen stiegen an. Unterhalb der Temperaturinversion sammelten sich Aerosole an und von 28.1. bis 2.2.2017 wurde der Grenzwert an fast allen niederösterreichischen Luftgütemessstationen überschritten.

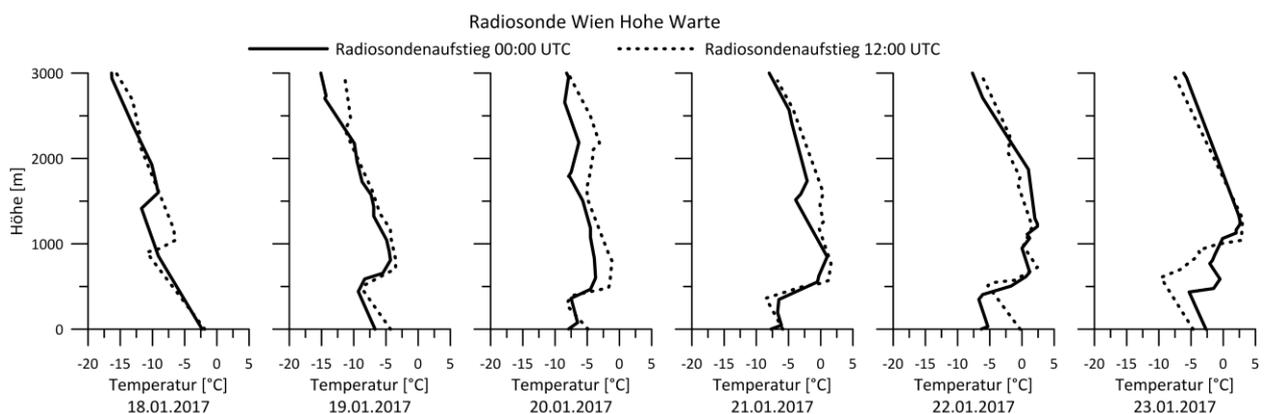


Abbildung 3-58: Temperaturprofile der Radiosonde in Wien Hohe Warte von 18.1. bis 23.1.2017.

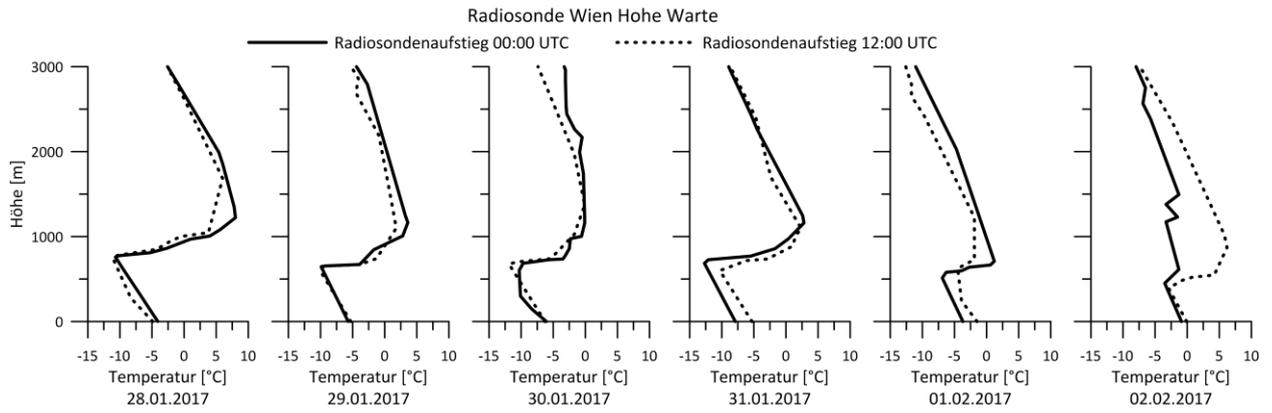


Abbildung 3-59: Temperaturprofile der Radiosonde in Wien Hohe Warte von 28.1. bis 2.2.2017.

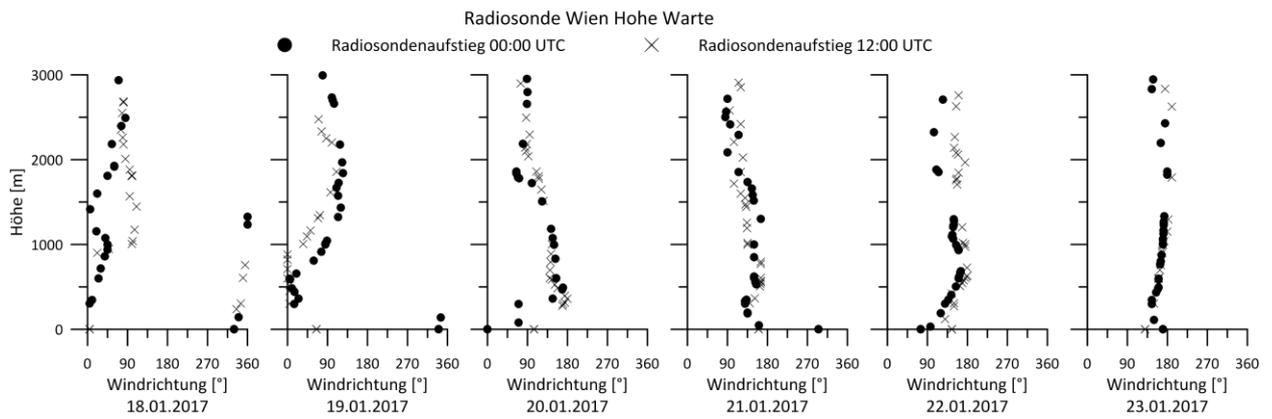


Abbildung 3-60: Windrichtungsprofile der Radiosonde in Wien Hohe Warte von 18.1. bis 23.1.2017.

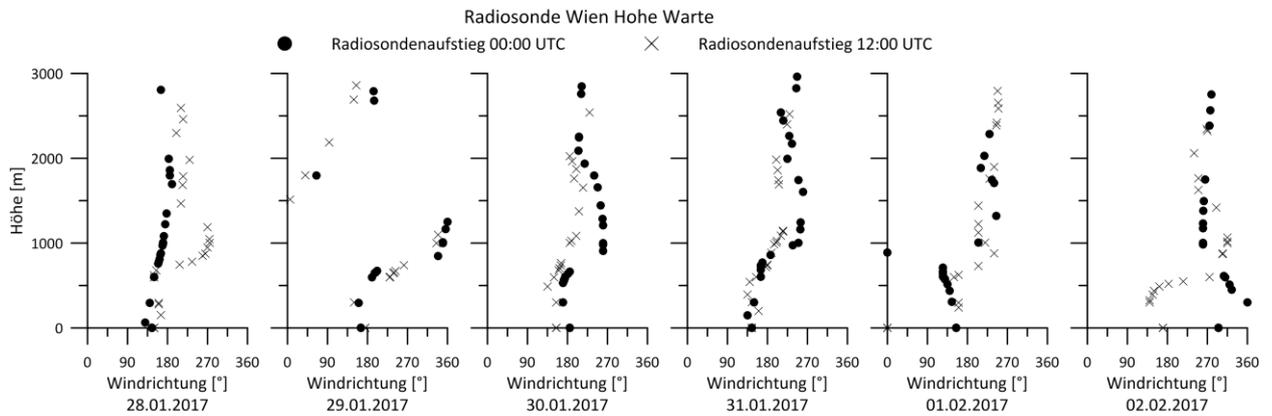


Abbildung 3-61: Windrichtungsprofile der Radiosonde in Wien Hohe Warte von 28.1. bis 2.2.2017.

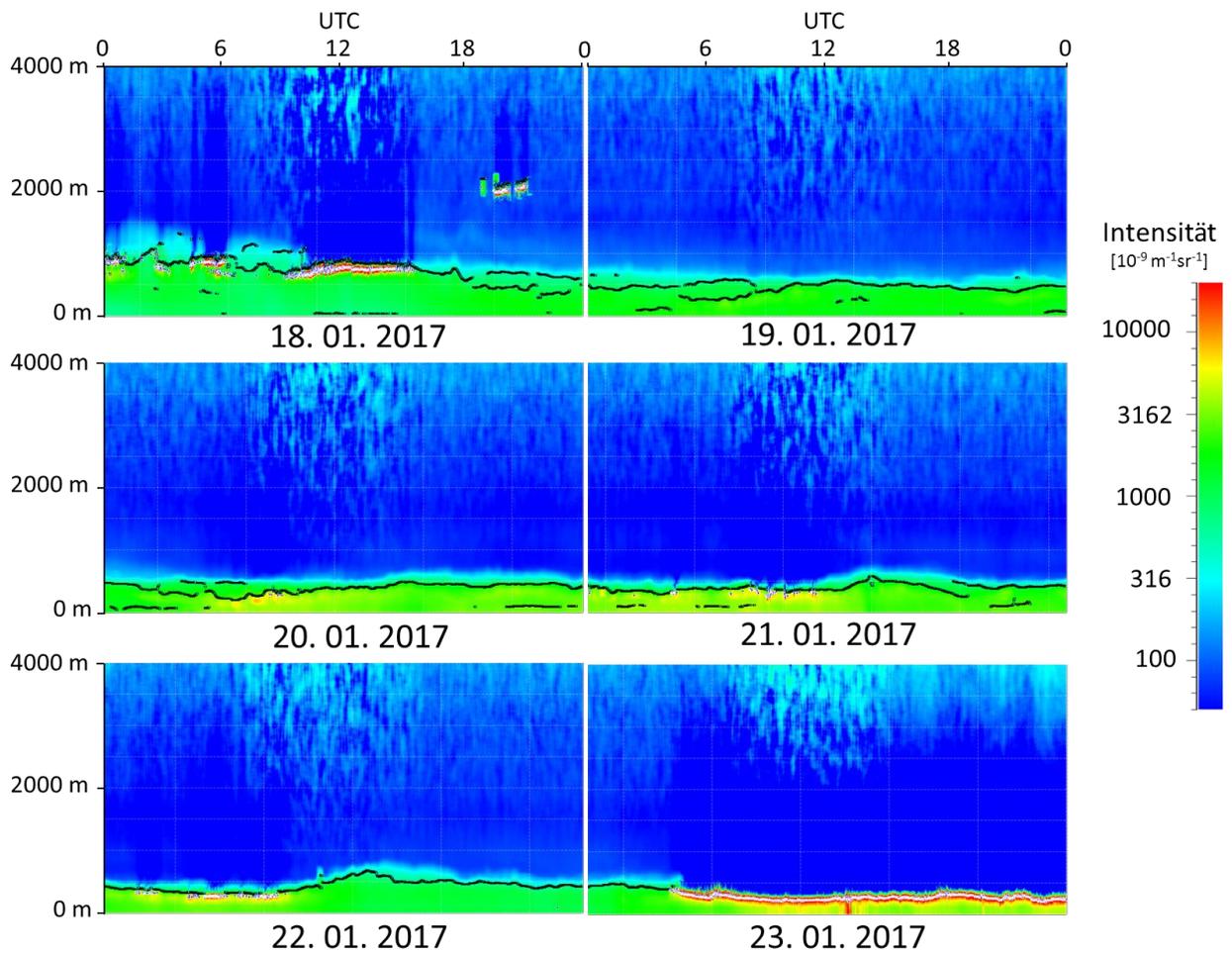


Abbildung 3-62: Rückstreuintensitäten des Ceilometers Wien Hohe Warte von 18.1. bis 23.1.2017.

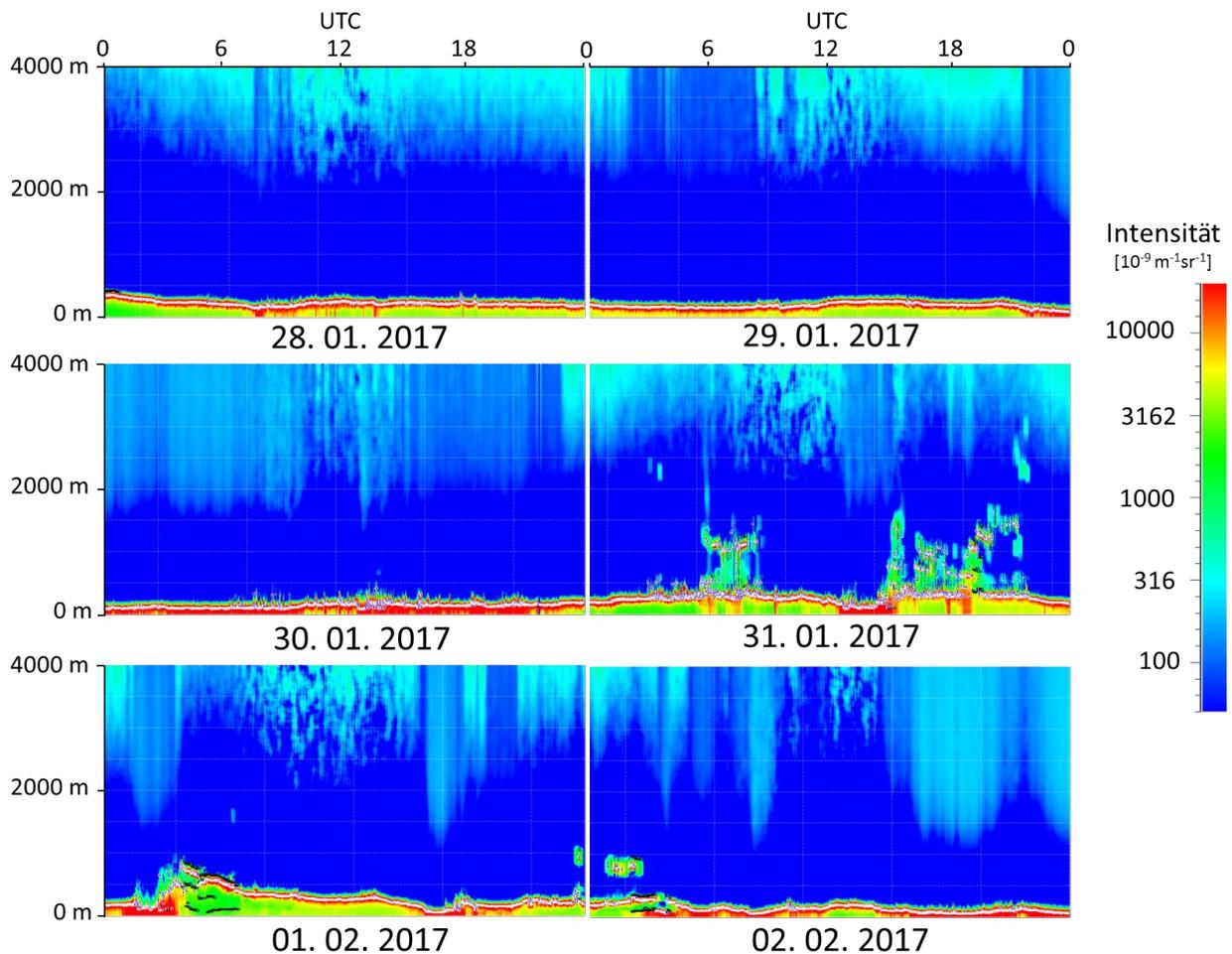


Abbildung 3-63: Rückstreuintensitäten des Ceilometers Wien Hohe Warte von 28.1. bis 2.2.2017.

Die lang andauernde Hochdruckwetterlage wurde durch ein in Richtung Zentraleuropa ziehendes Tiefdruckgebiet beendet. Zwischen den großen Wettersystemen konnte sich noch ein kleines Tief ausbilden, welches am 1.2. und 2.2. in Österreich für geringe Niederschläge sorgte. Durch den lokalen Einfluss dieses kleinen kontinentalen Tiefdruckgebiets herrschten in der Region Mitte und Ost sehr schwache Winde aus verschiedensten Richtungen. Die Region West wurde mehr vom westlich gelegenen Tiefdruckgebiet beeinflusst, weshalb hier konstant eine Windrichtung aus Südost gemessen wurde. Die Temperaturen stiegen wieder an und die Feinstaubkonzentration ging zurück.

Ab dem 4.2. zeigten die drei TAWES-Stationen in den drei Regionen sehr ähnliche Windbedingungen. Nördlich von Österreich lag ein starkes Hochdruckgebiet, welches das Tiefdruckgebiet zwang, in Richtung Osten zu ziehen. Da sich Österreich genau zwischen den beiden Wettersystemen befand, wechselte die Windrichtung immer wieder zwischen Südost und Nordwest hin und her. In der Region Ost setzte sich ab dem 6.2. Nordwind durch. Mit den

nördlichen Winden wurden kältere Luftmassen in Richtung Österreich transportiert und die Feinstaubkonzentrationen stiegen an. Am 9.2. kam es an fast allen Stationen zu Überschreitungen des Grenzwertes.

In der Region West drehte der Wind schon am 7.2. auf östliche Richtungen, in der Region Mitte und Ost drehte der Wind im Laufe des 9.2. auf südöstliche Richtungen. Mit der Winddrehung frischte der Wind auf, die Temperaturen stiegen leicht an und die Feinstaubkonzentration fiel unter den Grenzwert.

Am 11.2. beeinflusste ein vor allem in höheren Schichten ausgeprägtes Tiefdruckgebiet den Osten und Süden Österreichs. In Ostösterreich war es durchgehend trüb, Niederschläge gab es aber keine.

Das Hochdruckgebiet mit Zentrum über Fennoskandien (Finnland und Skandinavien) zog langsam weiter südwärts und verdrängte das Höhentief. In Österreich machte sich wieder Hochdruckeinfluss breit. Die Windrichtung blieb sowohl in Bodennähe als auch in der Höhe auf südöstlichen Richtungen (Abbildung 3-65) und die Temperatur blieb relativ konstant. Durch den Hochdruckeinfluss herrschten in Österreich vor allem im Bergland sonnige Verhältnisse, in den Niederungen hielten sich teils zähe Nebel- und Wolkenfelder. Ab dem 14.2. kam auch in den Niederungen die Sonne zum Vorschein.

Mit zunehmendem Hochdruckeinfluss ging die Windgeschwindigkeit deutlich zurück. In dieser austauscharmen, stabilen Wetterlage, bildeten sich Temperaturinversionen (Abbildung 3-64) aus. Unterhalb der Temperaturinversion sammelten sich Aerosole an (Abbildung 3-66) und am 12.2. und 13.2. in der Region Ost wurde der PM10-Tagesmittelgrenzwert überschritten. Von 14.2. bis 16.2. zeigten mehrere Stationen in allen drei Regionen PM10-Konzentrationen über dem Grenzwert.

In der Nacht von 16.2. auf 17.2. begann es im Westen Österreichs mit Durchzug einer Kaltfront zu regnen. Im Osten setzte der Regen im Laufe des 17.2. ein. Die Kaltfront räumte die Temperaturinversion aus und die Feinstaubkonzentrationen sanken.

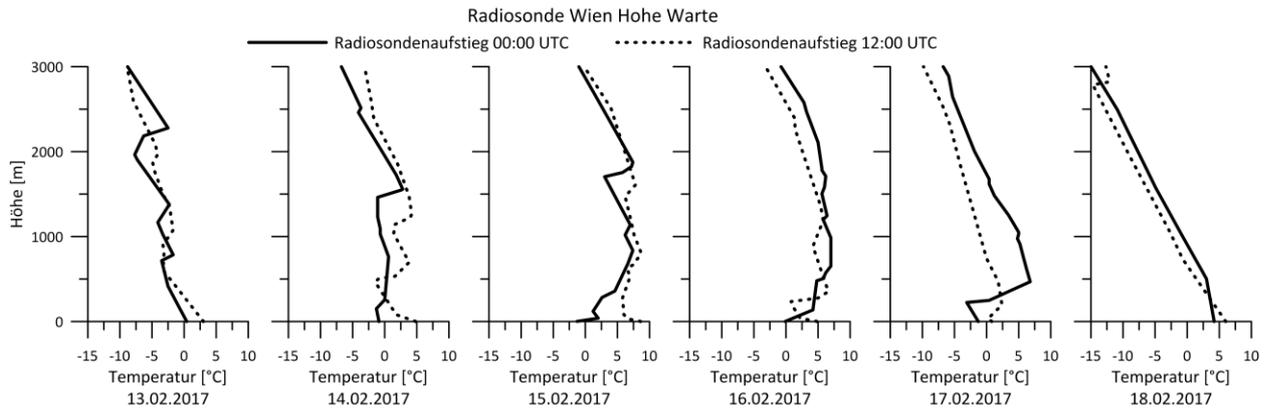


Abbildung 3-64: Temperaturprofile der Radiosonde in Wien Hohe Warte von 13.2. bis 18.2.2017

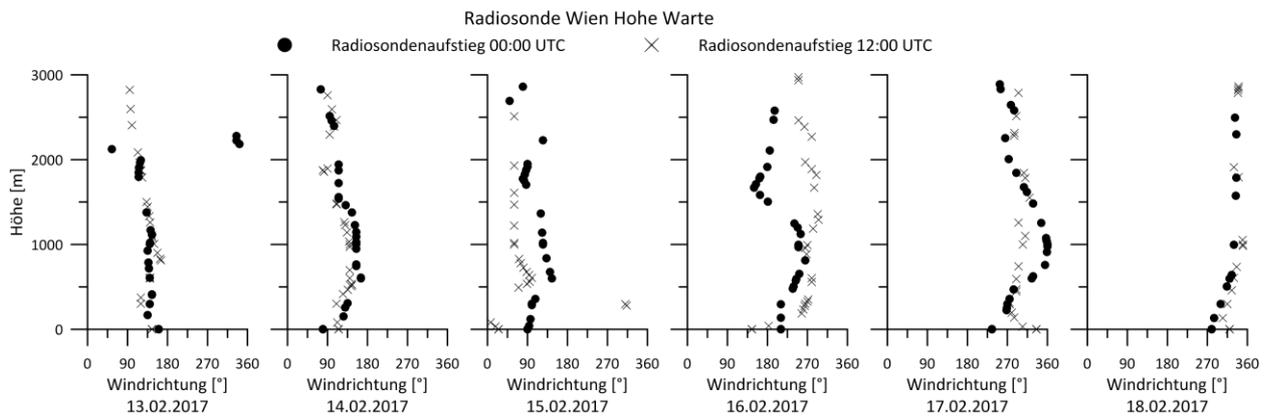


Abbildung 3-65: Windrichtungsprofile der Radiosonde in Wien Hohe Warte von 13.2. bis 18.2.2017.

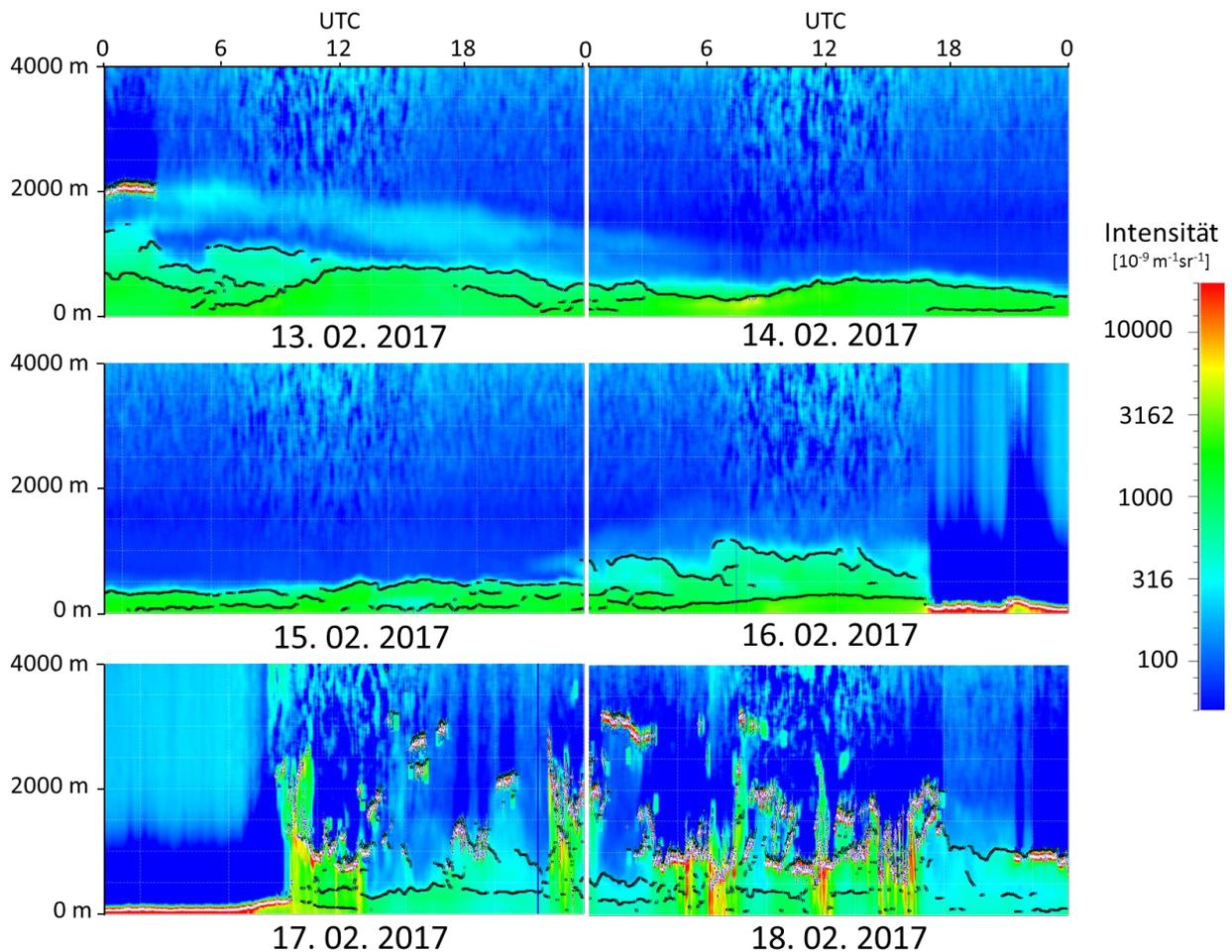


Abbildung 3-66: Rückstreuintensitäten des Ceilometers Wien Hohe Warte von 13.2. bis 18.2.2017.

3.5.3 Modellierung

Mit dem Lagrange'schen Ausbreitungsmodell FLEXPART (Kapitel 2.3) wurde eine Rückwärtsrechnung durchgeführt, um das potentielle Herkunftsgebiet der gemessenen Feinstaubgrenzwertüberschreitung eingrenzen zu können. Im betrachteten Zeitraum wurden mehrere Feinstaubepisoden gemessen. Eine Rückwärtsrechnung wurde für die zwei markanten PM10-Spitzen vom 21.1. und 1.2. durchgeführt.

Die Ergebnisse der Rückwärtsrechnung sind in Abbildung 3-67 (Ankunft 21.1. 15 UTC) und Abbildung 3-68 (Ankunft 1.2. 15 UTC) für das Gebiet Mitte links und in das Gebiet Ost rechts dargestellt. Die Abbildungen zeigen die Bereiche, die die Luft in den untersten 100 m über Grund überquert hat, bevor sie im jeweiligen „Zielgebiet“ bodennah (etwa 10 m Höhe) angekommen ist.

Die QRS-Felder für die Ankunftszeit 21.1.2017 zeigen relativ kleinräumige Herkunftsgebiete. Am 20.1. und 21.1. waren, wie die Messungen an den TAWES-Stationen zeigen, schwache Winde

aus vorwiegend südöstlichen bis nordöstlichen Richtungen vorherrschend. Die QRS-Felder deuten aber auf eine Herkunft der Luft aus Regionen im Süden der „Zielgebiete“. Unterschiede in den Stationsmessungen und den Strömungen in den QRS-Feldern sind dadurch zu erklären, dass die Windmessungen in 10m über Grund an den Stationen lokal beeinflusst sind und die FLEXPART Berechnungen auf europaweiten dreidimensionalen meteorologischen Strömungsfeldern basieren.

27 Stunden vor Ankunft im Gebiet Mitte befand sich die Luft über dem Süden Österreichs, dem Norden von Kroatien sowie teilweise über Slowenien und Ungarn. Für das Gebiet Ost ergibt die Modellierung in etwa die gleichen Herkunftsgebiete, mit Ausnahme von Ungarn. Deutlich zu erkennen ist, dass die QRS-Felder in diesem Fall eine relativ geringe räumliche Ausdehnung haben. Durch die vorherrschenden schwachen Winde wurde die Luftmasse nicht großräumig verteilt, sondern erstreckte sich nur über kleinere Gebiete.

6 Stunden später, am 20.1. 18 UTC, und auch weitere 6 Stunden später, am 21.1. 0 UTC, hat sich die Luft aufgrund der niedrigen Windgeschwindigkeiten kaum vorwärts bewegt. Die Modellergebnisse für das Gebiet Mitte zeigen in beiden Abbildungen ähnliche Regionen im Südosten Österreichs. Auch das QRS-Feld für das Gebiet Ost ist für die beiden Zeitschritte sehr ähnlich. Hier kam die Luft ebenfalls aus den südöstlichen Teilen Österreichs, zusätzlich aber noch aus den nördlichen Teilen Kroatiens und Sloweniens.

15 Stunden später erreichten die Luftmassen die beiden „Zielgebiete“.

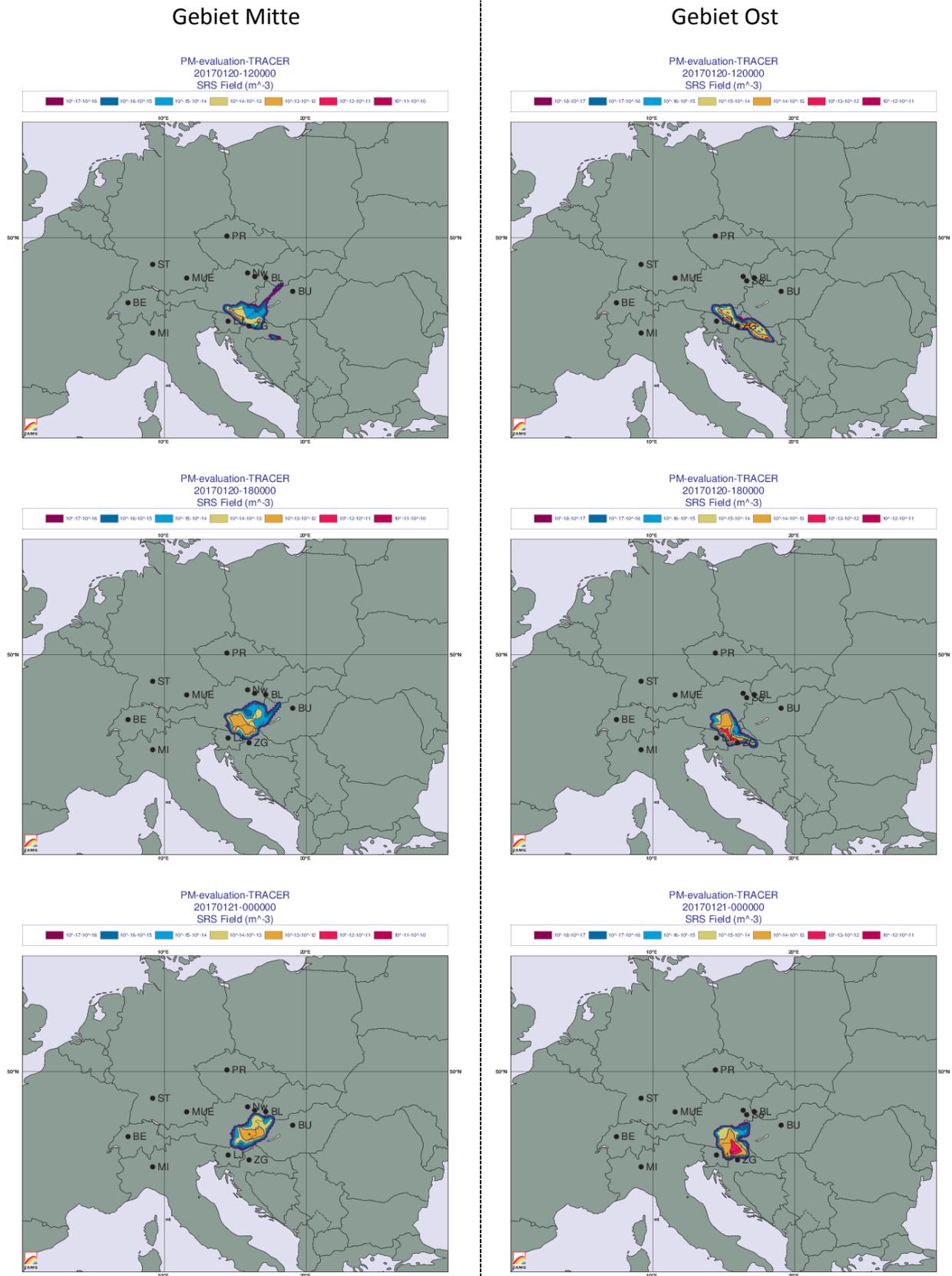


Abbildung 3-67: QRS-Felder (Quell-Rezeptor-Sensitivität) berechnet mit FLEXPART, Herkunftsgebiete der Luft vom 20.1. 12 UTC bis 21.1.2015 0 UTC, alle 6 Stunden für das Gebiet Mitte (links) und Gebiet Ost (rechts). Startdatum der Rückwärtsrechnung: 21.1.2017 15 UTC.

Im Gegensatz zur vorher betrachteten PM10-Spitze ergibt die Modellierung für die PM10-Spitze am 1.2. deutlich ausgedehntere Herkunftsgebiete der Luft.

Im obersten QRS-Feld sind die Bereiche, in denen sich die Luft am 31.1. 12 UTC, also 27 Stunden vor Ankunft im jeweiligen „Zielgebiet“ befand, dargestellt. Die QRS Felder für beide Gebiete liegen in diesem Fall in den südlichen Ländern (Kroatien, Slowenien, Bosnien Herzegowina). Das QRS-Feld für das Gebiet Ost ist aber etwas weiter in Richtung Süden ausgedehnt. Auch über Österreich decken sich die Modellergebnisse in diesem Fall teilweise, jedoch schließt das QRS-Feld für das Gebiet Mitte auch die Mitte Österreichs als Herkunftsgebiet mit ein. Zusätzlich kommt ein Teil der Luft aus dem Süden Deutschlands sowie aus Teilen der Schweiz.

Am 31.1. 18 UTC (21 Stunden vor Ankunft) sind die beiden Herkunftsgebiete erwartungsgemäß deutlich kleinräumiger. Das QRS-Feld für das Gebiet Ost ist etwas größer als für das Gebiet Mitte und umschließt auch noch weiter südlich gelegene Regionen, wie z.B. Teile Serbien, Bosnien Herzegowina.

Weitere 6 Stunden später ist die Luft deutlich weiter Richtung Norden gezogen. Die Luft, die das Gebiet Mitte um 15 UTC erreichte, lag zu diesem Zeitpunkt schon über Teilen Niederösterreichs sowie Teilen der angrenzenden Nachbarstaaten Ungarn und Slowakei. Das Herkunftsgebiet für das Gebiet Ost liegt etwas weiter südöstlicher und bedeckt größere Teile Ungarns. Direkt aus Niederösterreich kam flächenmäßig ein geringerer Anteil der Luft zum Gebiet Ost.

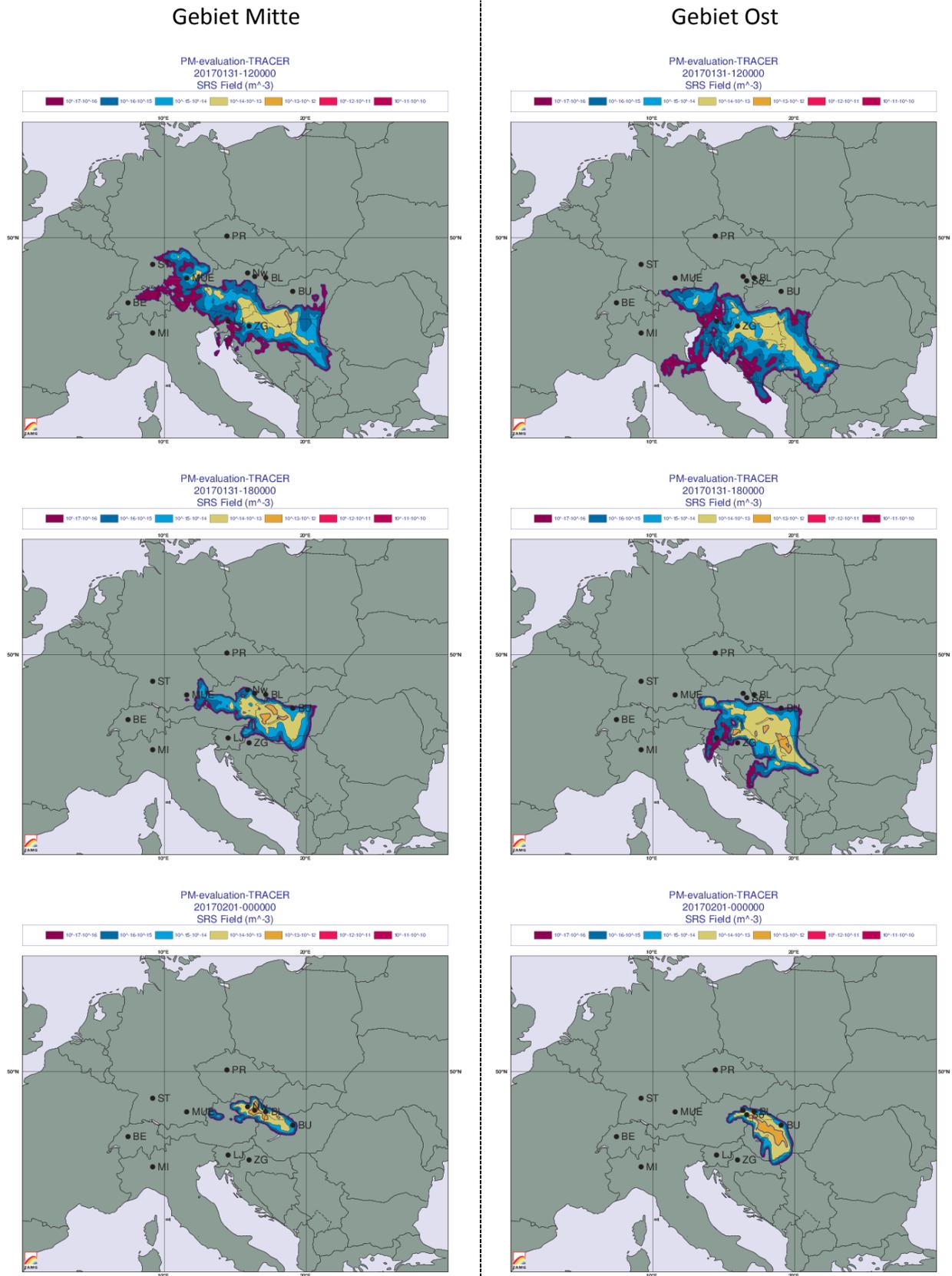


Abbildung 3-68: QRS-Felder (Quell-Rezeptor-Sensitivität) berechnet mit FLEXPART, Herkunftsgebiete der Luft vom 31.1. 12 UTC bis 1.2.2017 0 UTC, alle 6 Stunden für das Gebiet Mitte (links) und Gebiet Ost (rechts). Startdatum der Rückwärtsrechnung: 1.2.2017 15 UTC.

3.6 Episode 6: Mitte Jänner bis Mitte März 2018

3.6.1 Immissionssituation

In Abbildung 3-69 sind die PM₁₀-Tagesmittelwerte aller niederösterreichischen Luftgütemessstationen eingeteilt in die Regionen Ost, Mitte und West für den Zeitraum 18.1. bis 16.3.2018 dargestellt.

Am Beginn der betrachteten Episode begannen die Feinstaubkonzentrationen zu steigen. Am 24.1. ergaben die Messungen an der Station Hainburg (Region Ost) mit einem Tagesmittelwert von 58,8 µg/m³ PM₁₀ eine Überschreitung des Grenzwertes. Die anderen Stationen in der Region Ost zeigten mit 24,3 µg/m³ bis 41,8 µg/m³ PM₁₀ im Tagesmittel deutlich niedrigere Konzentrationen. Auch in den beiden anderen Regionen wurden Konzentrationen unterhalb des Grenzwertes gemessen. Am nächsten Tag fiel die Feinstaubkonzentration an der Station Hainburg unter den Grenzwert. Die übrigen Stationen, auch jene in den anderen Regionen, zeigten weiterhin einen leichten Anstieg der Feinstaubwerte. Am 26.1. lagen die PM₁₀-Tagesmittelwerte knapp unter dem Grenzwert.

Innerhalb weniger Tage sank die Feinstaubkonzentration auf sehr niedrige Werte (meist < 15 µg/m³), stieg dann langsam an und erreichte am 9.2. ein Maximum. In der Region Mitte haben an diesem Tag zwei Stationen, in der Region Ost vier Stationen über 50 µg/m³ PM₁₀ im Tagesmittel gemessen.

Nach einem zwischenzeitlichen raschen Abfall begann die Konzentration ab dem 12.2. zu steigen. Am 17.2. wurde an allen Stationen eine Spitze gemessen, die jedoch unterhalb des Grenzwertes blieb. Am 20.2. erreichte das PM₁₀-Tagesmittel an der Station Mistelbach (Region Mitte) 50,1 µg/m³. Tags drauf zeigten insgesamt 5 Stationen erhöhte Feinstaubkonzentrationen.

Von 22.2. bis 26.2. blieb die Feinstaubkonzentration durchwegs relativ hoch, jedoch kam es zu keinen Grenzwertüberschreitungen. Am 27.2. wurde an der Station St. Pölten/Europaplatz eine Überschreitung des Grenzwertes verzeichnet. Vermutlich ist diese Überschreitung durch eine lokale Beeinflussung der Station zustande gekommen, denn an der benachbarten Station St. Pölten/Eybnerstraße lag die PM₁₀-Konzentration im Tagesmittel nur bei 39,7 µg/m³. Auch die Station Stockerau zeigte einen etwas höheren PM₁₀-Tagesmittelwert als die anderen Stationen in der Region Mitte, dieser blieb jedoch noch unter dem Grenzwert. Tags darauf wurde an dieser Station mit 52,5 µg/m³ PM₁₀ im Tagesmittel der Grenzwert überschritten.

Am 1.3. wurden an mehreren Stationen in der Region Mitte und in der Region Ost erhöhte Feinstaubkonzentrationen gemessen, die Tagesmittelwerte lagen knapp über dem Grenzwert. Einzig an der Station Stockerau war an diesem Tag die Feinstaubkonzentration mit $68,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM10 deutlich erhöht.

Für einen Tag ging die PM10-Konzentration zurück bevor am 3.3. und 4.3. an nahezu allen Luftgütestationen Grenzwertüberschreitungen auftraten. Ab dem 5.3. ging die Konzentration sank wieder, einige Stationen verzeichneten aber noch bis zum 7.3. Tagesmittelwerte über dem Grenzwert.

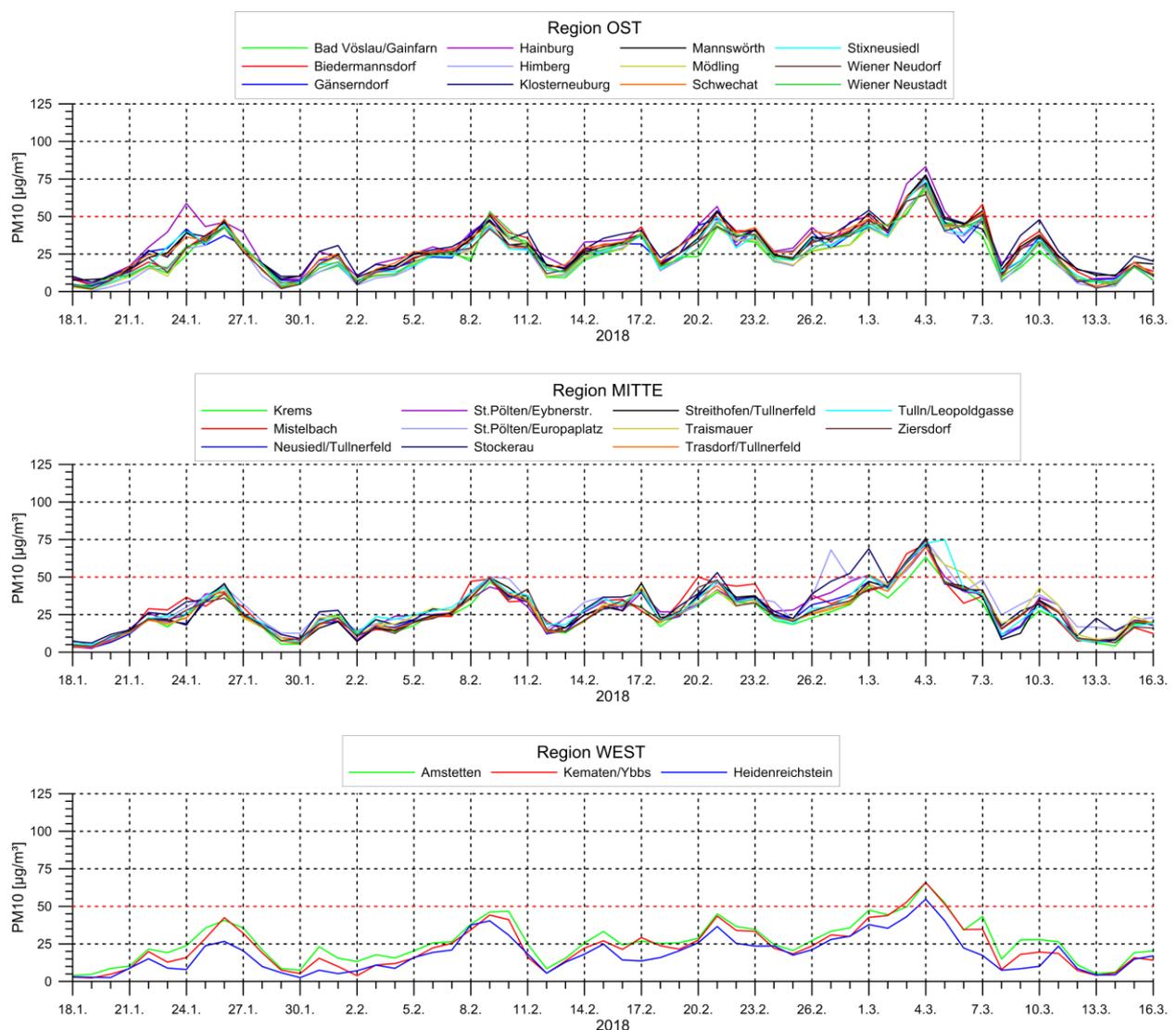


Abbildung 3-69: PM10-Tagesmittelwerte der niederösterreichischen Luftgütestationen eingeteilt in die Regionen Ost (oben), Mitte (Mitte) und West (unten).

3.6.2 Meteorologie

Nachfolgend sind für die Regionen West (Abbildung 3-70), Mitte (Abbildung 3-71) und Ost (Abbildung 3-72) die Zeitreihen der meteorologischen Messungen sowie die Spanne zwischen

dem maximalen und minimalen Tagesmittelwert der PM10-Messungen (blauer Bereich) im jeweiligen Gebiet von 18.1. bis 17.2.2018 dargestellt. Die meteorologischen Messungen stammen von den für die jeweilige Region ausgewählten TAWES-Stationen (Kapitel 2.1). Dargestellt wurden die Tagesmittelwerte der Temperatur (grüne Linie), die Halbstundenmittelwerte der Windrichtung (rote Punkte) und das 5-Stunden gleitende Mittel der Windgeschwindigkeit (graue Linie).

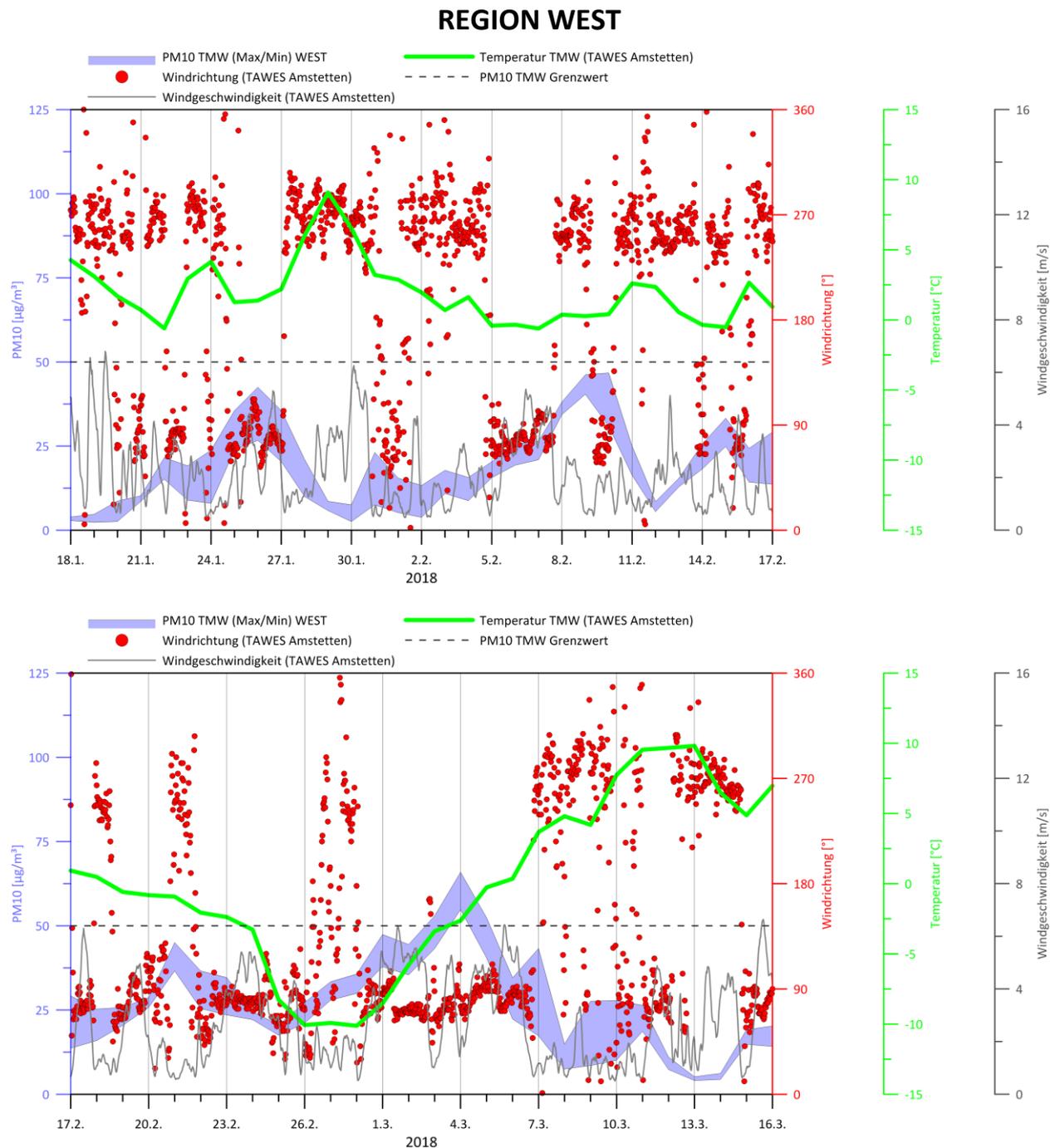


Abbildung 3-70: Spanne zwischen dem maximalen und minimalen Tagesmittelwert der PM10-Konzentrationen der Luftgütestationen in der Region „West“ (blaue Fläche), sowie die Tagesmittelwerte der Temperatur (grüne Linie), 5-Stunden gleitendes Mittel der Windgeschwindigkeit (graue Linie) und Stundenwerte der Windrichtung (rote Punkte) der TAWES Station Amstetten.

REGION MITTE

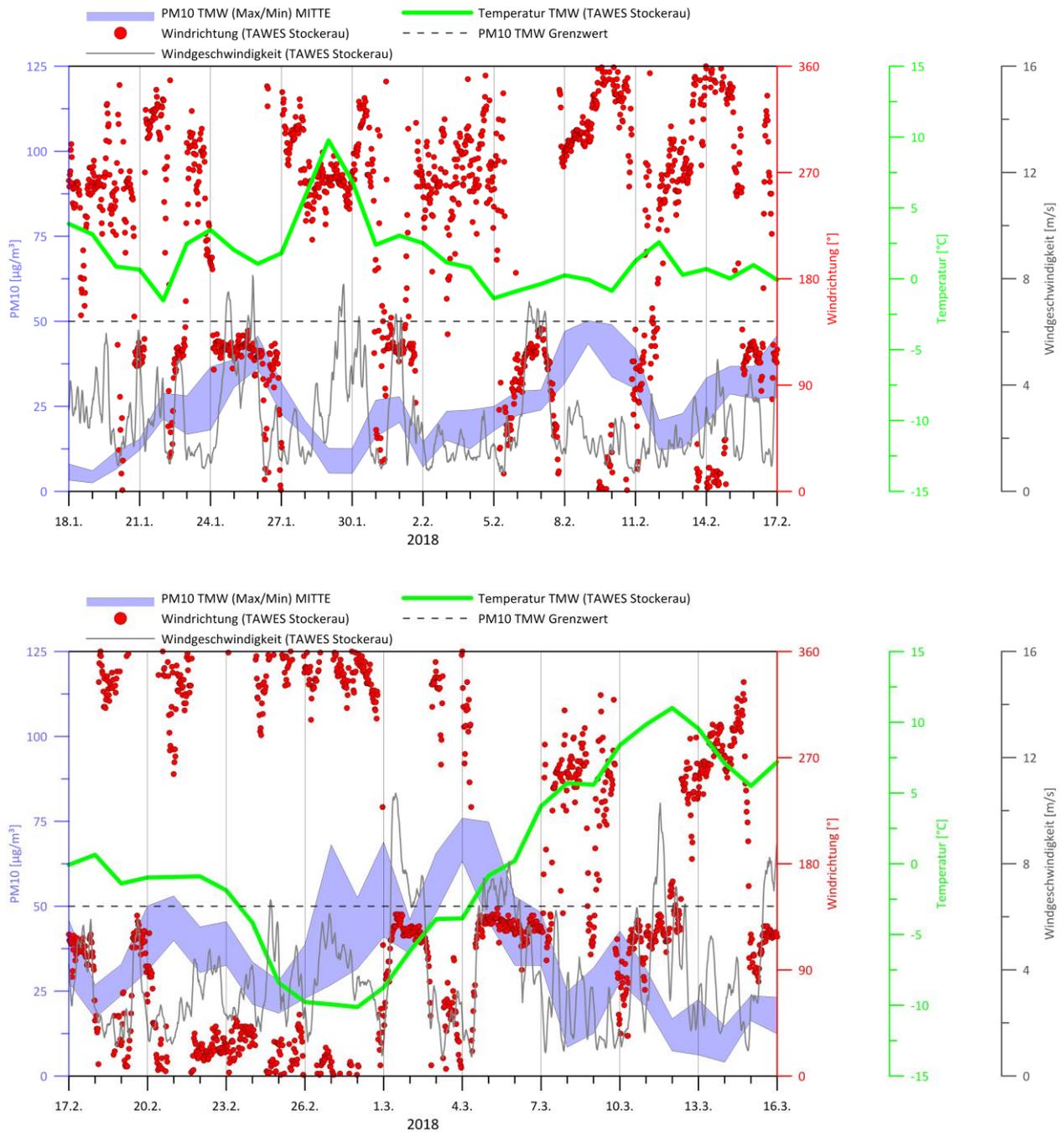


Abbildung 3-71: Spanne zwischen dem maximalen und minimalen Tagesmittelwert der PM10-Konzentrationen der Luftgütestationen in der Region „Mitte“ (blaue Fläche), sowie die Tagesmittelwerte der Temperatur (grüne Linie), 5-Stunden gleitendes Mittel der Windgeschwindigkeit (graue Linie) und Stundenwerte der Windrichtung (rote Punkte) der TAWES Station Stockerau.

REGION OST

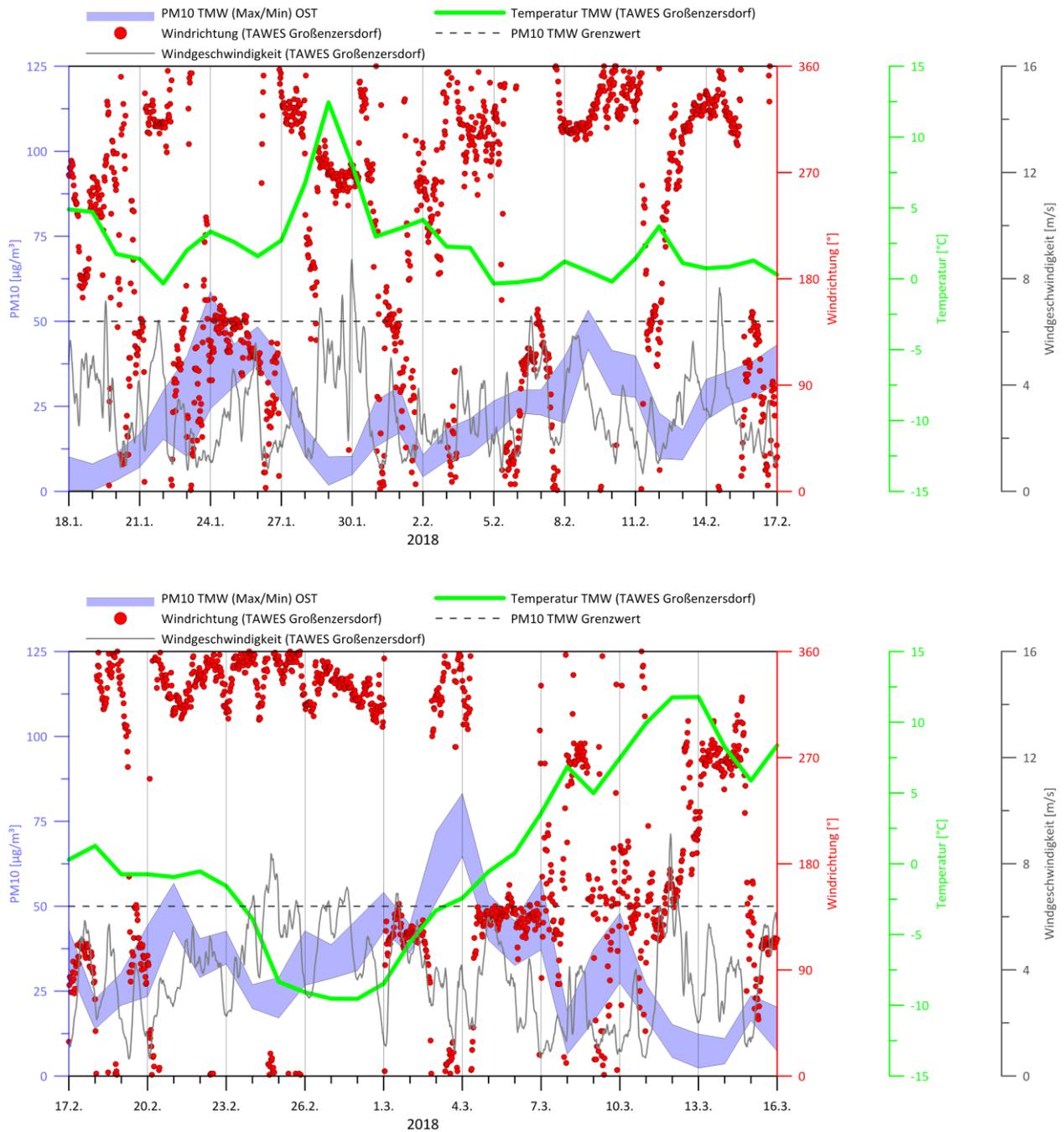


Abbildung 3-72: Spanne zwischen dem maximalen und minimalen Tagesmittelwert der PM10-Konzentrationen der Luftgütestationen in der Region „Ost“ (blaue Fläche), sowie die Tagesmittelwerte der Temperatur (grüne Linie), 5-Stunden gleitendes Mittel der Windgeschwindigkeit (graue Linie) und Stundenwerte der Windrichtung (rote Punkte) der TAWES Station Großenzersdorf.

Zu Beginn der betrachteten Episode bestimmten mehrere Tiefdruckgebiete das Wettergeschehen in Österreich. Die dazugehörigen Frontensysteme sorgten immer wieder für Niederschläge, weshalb die Feinstaubkonzentration in dieser Zeit sehr niedrig war. Ab dem 21.1. machte sich langsam Hochdruckeinfluss in Österreich breit. In großen Teilen Österreichs zeigte sich an den folgenden Tagen immer wieder die Sonne, nur in Ostösterreich blieb es meist trüb. Die relativ schwachen Winde aus vorwiegend südöstlichen Richtungen führten dazu, dass sich Feinstaub in der Grenzschicht ansammelte. Der langsame Anstieg der PM10-Konzentration wurde an allen Stationen in Niederösterreich gemessen, jedoch blieben die gemessenen Werte unterhalb des Grenzwertes. Nur eine einzelne Station (Hainburg) zeigte einen schnelleren Anstieg in den Konzentrationen, welcher am 24.1. zu einer Überschreitung des Grenzwerts führte.

Während die Konzentration an dieser Station wieder abfiel, stiegen die PM10-Messungen der anderen Stationen in den zwei darauffolgenden Tagen weiter leicht an, blieben aber weiterhin unterhalb des Grenzwertes. Während dieser Tage war in Ostösterreich bodennah vorwiegend Südost-Strömung vorherrschend. In der Höhe drehte die Strömung, aufgrund eines massiven Tiefdruckgebiets mit Kern über Nordskandinavien, auf eher westliche Richtungen.

Ab dem 27.1. setzte sich dann bis zum Boden Nordwest- bis Westwind durch. Der auffrischende Wind durchmischte die Atmosphäre, die Temperatur stieg stark an und die Feinstaubkonzentration ging zurück. In den folgenden Tagen gab es ein Wechselspiel aus Wolken und Sonne.

In den nächsten Tagen bestimmten immer wieder Tiefdruckgebiete und die dazugehörigen Frontensysteme das Wettergeschehen in Österreich. Am 30.1. überquerte eine ausgeprägte Kaltfront Österreich, weshalb die Temperaturen stark absanken. Gleichzeitig wurde eine kleine Spitze in den PM10-Konzentrationen gemessen. Von 4.2. bis 6.2. bewirkte ein Zwischenhoch teils relativ freundliches Wetter in Österreich. Durch die bis zum 5.2. vorherrschenden nordwestlichen Winde wurden weiterhin kalte Luftmassen nach Österreich transportiert, weshalb die Temperatur langsam immer weiter absank. Das Zwischenhoch wurde von einem Tiefdruckgebiet südlich der Alpen abgelöst. Das zum Tiefdruckgebiet dazugehörige Frontensystem brachte durchwegs trübes und winterliches Wetter und die Windrichtung drehte auf nordöstliche bis südöstliche Richtungen. Innerhalb der stabil geschichteten Grenzschicht sammelten sich Aerosole an und die PM10-Konzentrationen stiegen. Am 9.2.

wurde an wenigen Stationen in der Region Ost eine Überschreitung des Grenzwertes verzeichnet.

Nach Abzug des Tiefdruckgebiets kam Österreich in eine gradientschwache Lage. Durch die Winddrehung auf Nordwest wurden kältere Luftmassen nach Österreich transportiert und die Temperatur sank bis zum 10.2. Die Winddrehung brachte eine Durchmischung der Grenzschicht mit sich und die Feinstaubkonzentrationen gingen zurück.

Anschließend machte sich der Einfluss eines Zwischenhochs bemerkbar. In Ostösterreich blieb es in dieser Zeit meist trüb und es fielen unergiebigere Mengen an Schnee bzw. Schneeregen. Die Feinstaubkonzentrationen stiegen etwas an, blieben aber unterhalb des Grenzwertes. Aufgrund eines kleinen kontinentalen Tiefdruckgebiets drehte der Wind auf nord- bis südöstliche Richtungen und die Windgeschwindigkeit ging deutlich zurück. Die Feinstaubkonzentration erreichte am 17.2. unterhalb der Temperaturinversion (Abbildung 3-73) ein sekundäres Maximum, die Tagesmittel blieben aber unterhalb des Grenzwertes.

Von 16.2. bis 22.2. wurde der Hochdruckeinfluss immer wieder von kleinräumigen Störungen unterbrochen, welche in dieser Zeit wiederholt zu Niederschlägen führten. Der 19.2. war niederschlagsfrei und es konnte sich eine Temperaturinversion ausbilden (Abbildung 3-73). Die Windrichtung drehte sowohl am Boden als auch in der Höhe von vorher nördlichen Richtungen auf südöstliche Winde (Abbildung 3-74). Am 21.2. wurde an einigen Stationen eine Überschreitung des Grenzwertes beobachtet.

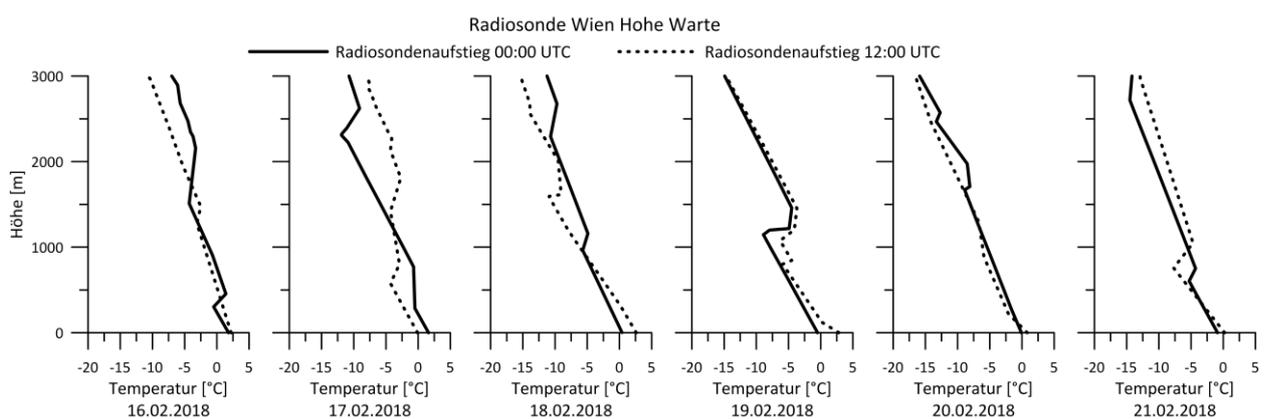


Abbildung 3-73: Temperaturprofile der Radiosonde in Wien Hohe Warte von 16.2. bis 21.2.2018.

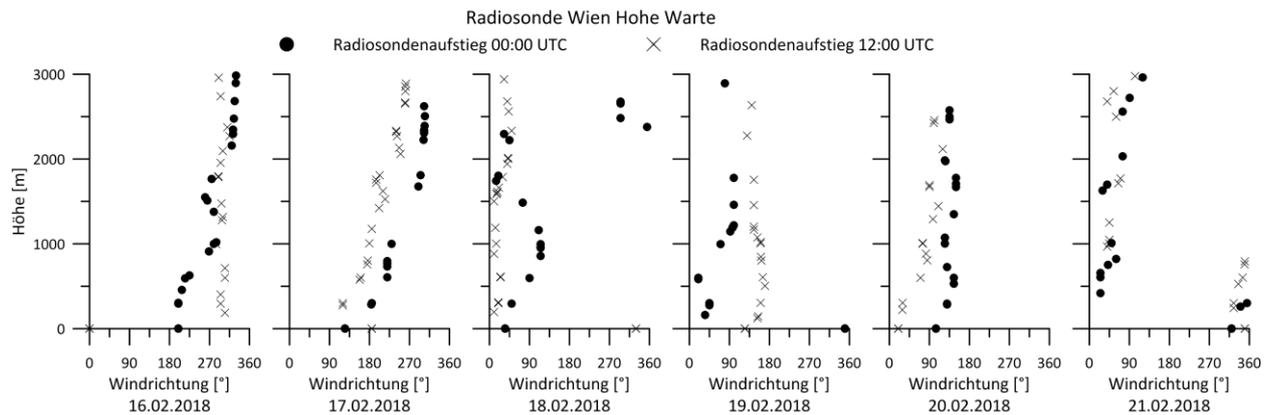


Abbildung 3-74: Windrichtungsprofile der Radiosonde in Wien Hohe Warte von 16.2. bis 21.2.2018.

Nach dieser unruhigen Wetterphase setzte sich der Einfluss eines Hochdruckgebiets mit Zentrum über Fennoskandien durch. Österreich gelangte dadurch in den Einflussbereich einer Nordströmung und kontinentale, trockene Kaltluftmassen wurden nach Österreich transportiert. Die Tagesmittelwerte der Temperatur sanken innerhalb weniger Tage um etwa 5 °C. In der kalten Luft wechselten sich sonnige mit bewölkten Phasen ab. Gleichzeitig mit den fallenden Temperaturen begannen die Feinstaubkonzentrationen zu steigen. Am 27.2. und 28.2. wurde der Grenzwert in der Region Mitte jeweils an einer Station überschritten. Der Wind drehte am 1.3. am Boden auf südöstliche Richtungen, in der Höhe waren südwestliche bis westliche Richtungen vorherrschend (Abbildung 3-76). Durch die Advektion wärmerer Luftmassen in den höheren Luftschichten verstärkte sich die Temperaturinversion (Abbildung 3-75). Die Rückstreudiagramme des Ceilometers Wien Hohe Warte (Abbildung 3-77) veranschaulichen die Ansammlung von Aerosolen unterhalb der Temperaturinversion. Am 1.3. traten an mehreren Station in der Region Mitte und Region Ost Überschreitungen des Grenzwerts auf.

Am 2.3. präsentierte sich der Himmel im Osten des Landes meist trüb und es kam teilweise zu unergiebigem Schneefällen. Am 3.3. und 4.3. war Österreich von mehreren Tiefdrucksystemen umgeben. In dieser gradientschwachen Lage waren relativ schwache Winde aus nordöstlichen bis nordwestlichen Richtungen vorherrschend. Von 3.3 bis 5.3 wurde der PM10-Grenzwert in allen drei Regionen überschritten. Die niedrigen Windgeschwindigkeiten sowie die Temperaturinversion bewirkten einen sehr geringen horizontalen und vertikalen Austausch der Luftmassen, weshalb sich Aerosole in der Grenzschicht ansammelten und zu der PM10-Grenzwertüberschreitung führten.

Durch die Annäherung eines Tiefdruckgebiets mit Kern südlich der Alpen wurden ab dem Nachmittag des 4.3. Winde aus südöstlichen Richtungen gemessen (Abbildung 3-76). Die vom dazugehörigen Frontensystem induzierten Niederschläge breiteten sich in der Nacht auf den 6.3. ausgehend von Kärnten allmählich bis nach Niederösterreich aus. Die Feinstaubkonzentration ging aufgrund der Niederschläge kurz zurück. An vereinzelt Stationen lagen noch bis zum 7.3. PM10-Tagesmittelwerte über dem Grenzwert.

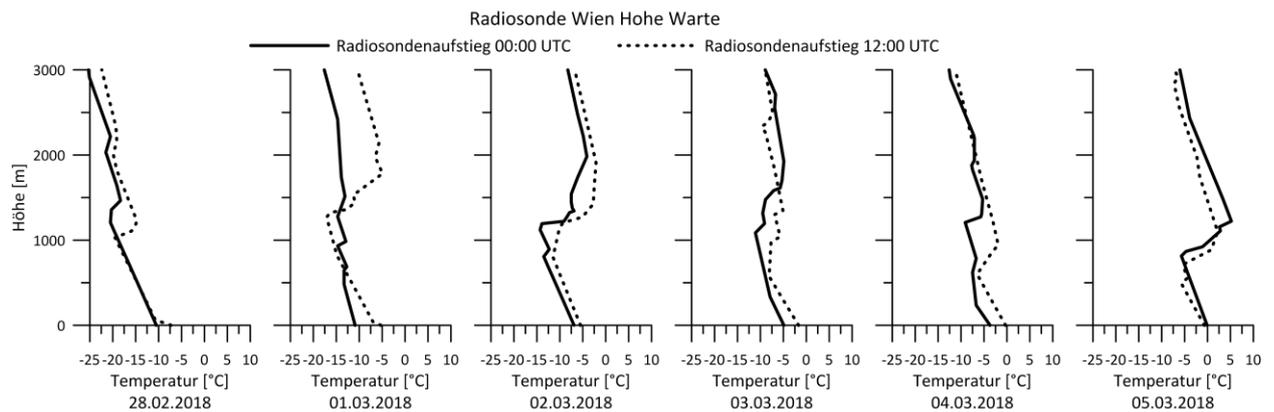


Abbildung 3-75: Temperaturprofile der Radiosonde in Wien Hohe Warte von 28.2. bis 5.3.2018.

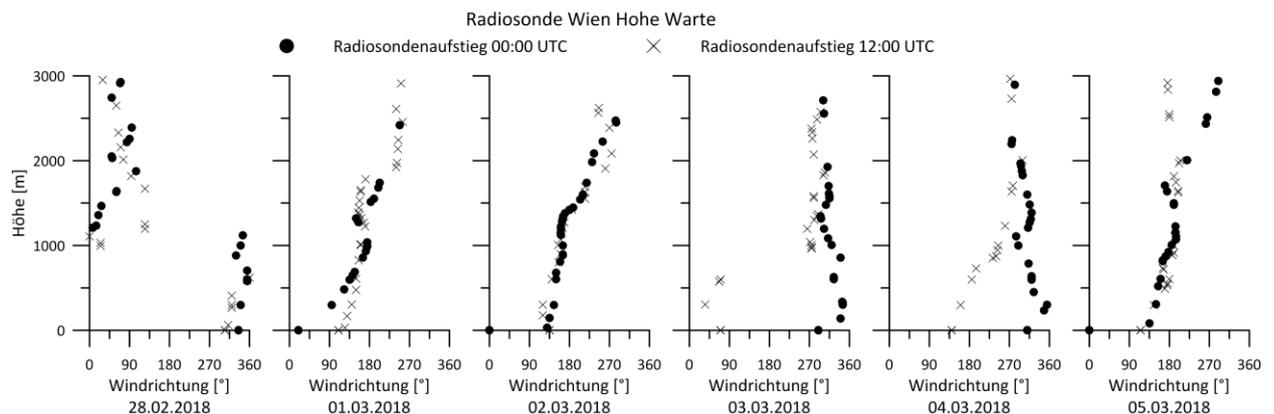


Abbildung 3-76: Windrichtungsprofile der Radiosonde in Wien Hohe Warte von 28.2. bis 5.3.2018.

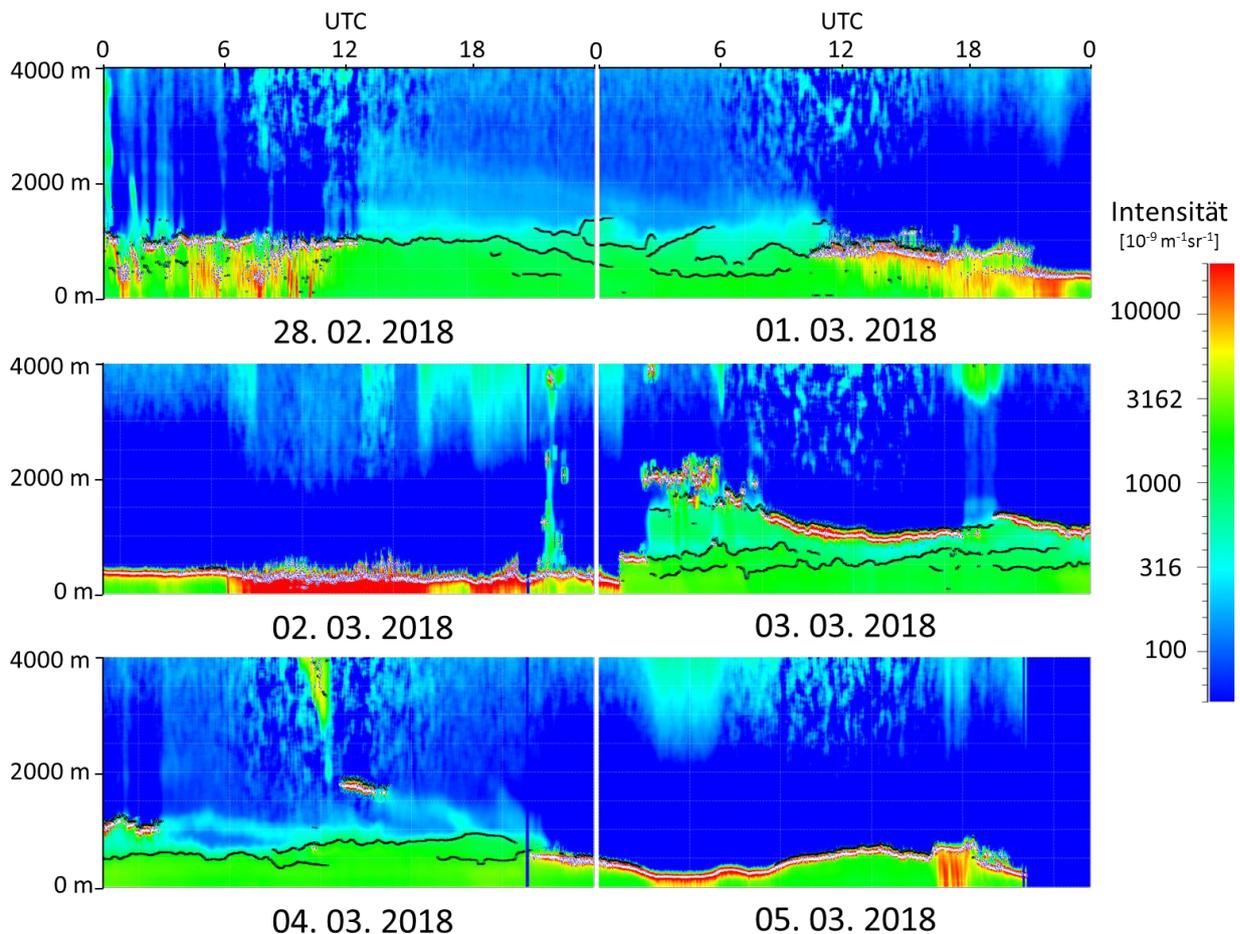


Abbildung 3-77: Rückstreuintensitäten des Ceilometers Wien Hohe Warte von 28.2. bis 5.3.2018.

3.6.3 Modellierung

Mit dem Lagrange'schen Ausbreitungsmodell FLEXPART (Kapitel 2.3) wurde eine Rückwärtsrechnung durchgeführt, um das potentielle Herkunftsgebiet der gemessenen Feinstaubgrenzwertüberschreitung eingrenzen zu können. Im betrachteten Zeitraum wurden mehreren Überschreitungen des Grenzwertes gemessen. Oft zeigten jedoch nur wenige Stationen eine PM₁₀-Konzentration über 50 µg/m³. Für die Rückwärtsrechnung wurde der 4.3.2018 gewählt, da hier großräumig Überschreitungen des Grenzwertes aufgetreten sind.

Die Ergebnisse der Rückwärtsrechnung sind in Abbildung 3-78 für das Gebiet Mitte links und für das Gebiet Ost rechts dargestellt. Die Abbildungen zeigen die Gebiete, in welchen sich die Luft in den bodennächsten 100 m befunden hat, bevor sie im jeweiligen „Zielgebiet“ bodennah (etwa 10 m Höhe) am 4.3.2018 um 15 UTC angekommen ist.

Die QRS-Felder für beide „Zielgebiete“ zeigen sehr ähnliche Herkunftsregionen zu allen betrachteten Terminen. 21 Stunden bevor die Luft die beiden „Zielgebiete“ erreicht hat, befand sie sich über dem Süden Österreichs sowie über Teilen der südlich angrenzenden

Nachbarländer. Das QRS-Feld zeigt zudem ein schmales Band nördlich der Alpen von Tirol bis in die Schweiz. Ein Teil der Luft kam aus dem Norden in die „Zielgebiete“, nämlich aus Bereichen über dem südöstlichen Tschechien und dem westlichen Ungarn.

6 Stunden später befand sich die Luft größtenteils über dem südlichen Österreich sowie im nördlichen Tirol. Die QRS-Felder überdecken auch noch Teile Ungarns, Sloweniens, Tschechiens und der Slowakei.

Am 4.3. um 6 UTC, also 9 Stunden vor Ankunft in den beiden „Zielgebieten“, befand sich die Luft hauptsächlich noch über dem Süden Österreichs. Ein Teil der Luft, vor allem für das Gebiet Ost, kam aus an Österreich angrenzenden Regionen in Ungarn, Slowenien und Kroatien.

In den darauffolgenden 9 Stunden bewegten sich die Luftmassen in Richtung Norden und kamen schließlich bei den beiden „Zielgebieten“ an.

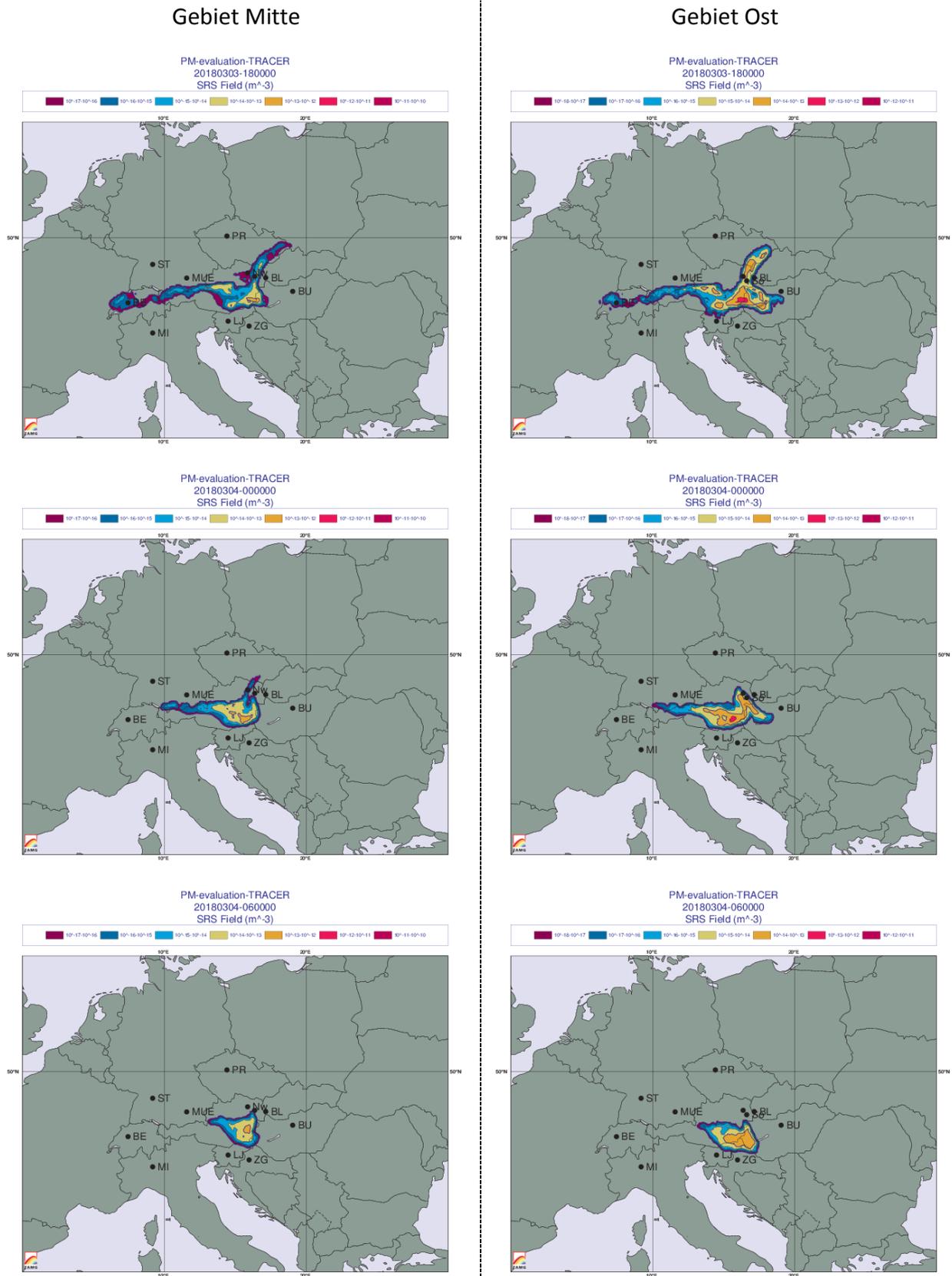


Abbildung 3-78: QRS-Felder (Quell-Rezeptor-Sensitivität) berechnet mit FLEXPART, Herkunftsgebiete der Luft vom 3.3. 18 UTC bis 4.3.2018 0 UTC, alle 6 Stunden für das Gebiet Mitte (links) und Gebiet Ost (rechts). Startdatum der Rückwärtsrechnung: 4.3.2018 15 UTC.

4 Interpretation

In der im Jahr 2018 erschienenen Studie des Umweltbundesamtes (UBA) zur Feinstaubbelastung in Österreich der Jahre 2009 - 2017 (UBA, 2018) wird gezeigt, dass die PM10-Belastung in Österreich sowohl in den Jahresmittelwerten an den am höchsten belasteten Messstellen als auch bei den regional gemittelten Jahresmittel generell einen abnehmenden Trend hat, dem jedoch starke Variationen von Jahr zu Jahr überlagert sind. So traten z.B. zu Jahresbeginn 2017 in einigen Regionen vergleichsweise hohe Belastungen auf. Der allgemein sinkende Trend wird bestimmt durch den Rückgang der Feinstaubemissionen in Österreich und in den Nachbarländern, aber auch durch die Wetterbedingungen.

Im Allgemeinen bestimmen die primären PM-Emissionen (lokal, regional, Nachbarländer), die Emissionen aus PM-Vorläufersubstanzen und die Bildung sekundärer Partikel in Österreich und in den Herkunftsregionen von sekundären Partikeln sowie die Ausbreitungsbedingungen der Luftschadstoffe und der Transport belasteter Luft (sowohl primärer wie sekundärer Partikel) die Feinstaub-Belastung in Österreich (UBA, 2018).

In Österreich wird der größte Anteil der Feinstaub-Emissionen in den Sektoren Industrie, Kleinverbrauch (Hausbrand), Verkehr und Landwirtschaft verursacht. Im Allgemeinen sind die Feinstaub-Emissionen in der vom UBA untersuchten Periode von 2000 bis 2014 rückläufig. Den österreichweit stärksten Rückgang verzeichnet der Sektor Verkehr (-37 %), gefolgt von den Sektoren Kleinverbrauch (-26%), Landwirtschaft (-15 %) und Industrie (-11 %) (UBA, 2018).

Wie in EFA (2018) gezeigt wird, zählen auch in Niederösterreich die Sektoren Haushalte und Kleinverbraucher (26 %), Energie- und Industrie (22 %), Mobilität und Verkehr (32 %) sowie Land- und Forstwirtschaft (20 %) zu den PM10-Hauptemittenten. Auch in Niederösterreich ist die PM10-Gesamtemission seit dem Jahr 2005 rückläufig. Insgesamt reduzierten sich die PM10-Emissionen in Niederösterreich von 2005 bis 2016 um 16 %. Seit der Einführung des Niederösterreichischen Feinstaubprogramms (2013) ergibt sich eine PM10-Emissionsreduktion von 6 %. Wie in Gesamt-Österreich trägt auch in Niederösterreich vor allem der Sektor Mobilität und Verkehr (-47 %), gefolgt von dem Sektor Landwirtschaft (-17 %), am stärksten zur Reduktion der PM10-Gesamtemission bei.

Neben den primären PM-Emissionen sind auch die Emissionen der Vorläufersubstanzen für Sekundärpartikel für die PM-Belastung verantwortlich. In UBA (2018) wurden die Trends dieser Substanzen (besonders relevant sind SO₂ und NH₃) in den wichtigsten Herkunftsregionen von

grenzüberschreitendem Ferntransport untersucht. Eine starke Abnahme verzeichnen die SO₂-Emissionen (-58 %) und die NO_x-Emissionen (-31 %). Die NH₃-Emissionen zeigen hingegen eine leichte Zunahme (+2 %).

In UBA (2018) werden die folgenden Quellregionen im Umkreis von einigen 100 km um Wien genannt, die bei Ferntransport zur PM₁₀-Belastung in Österreich beitragen können: die Industrieregionen Oberschlesien/Kraków (Polen) und Ostrava (Nordostmähren in Tschechien), Budapest, Punktquellen in Nordserbien und Städte und Punktquellen in der Walachei (Rumänien).

In den beiden nachfolgenden Kapiteln werden die in den vorherigen Kapiteln beschriebenen Ereignisse interpretiert. Da von den sechs betrachteten Feinstaubepisoden fünf in Wintermonaten und eine im Sommer auftraten, wird die Interpretation für alle Winterepisoden gemeinsam durchgeführt.

4.1 Winterepisoden

Allgemein treten im Winter häufig stabile Wetterlagen auf, welche durch ausgeprägte und weit ausgedehnte Hochdruckgebiete bestimmt werden. Die Lage des jeweiligen Hochdruckgebiets beeinflusst das Wettergeschehen in Österreich. Befindet sich das Zentrum des Hochdruckgebiets in im Norden Europas wird kalte Luft aus den polaren Regionen in Richtung Zentraleuropa transportiert. Liegt das Hochdruckgebiet über Osteuropa, wird im Winter mit der großräumigen Ost- bis Südostströmung kalte kontinentale Luftmassen in Richtung Österreich transportiert.

Typischerweise bilden sich nachts durch die Wärmeabstrahlung der Erde bodennahe Temperaturinversionen (Temperaturzunahme mit der Höhe). Die nächtlichen Temperaturinversionen werden normalerweise in den ersten Morgenstunden durch die Sonneneinstrahlung und die damit verbundene Erwärmung des Erdbodens aufgelöst. Im Winter können die Temperaturinversionen bei gleichbleibender Wetterlage jedoch mehrere Tage lang bestehen bleiben, da durch den geringen Einstrahlwinkel der Sonne nicht genügend Strahlungsenergie vorhanden ist, um den Boden entsprechend aufzuwärmen. Liegt zusätzlich noch eine großräumige Strömung vor, die kalte Luftmassen in Bodennähe herantransportiert, wird die Temperaturinversion weiter verstärkt. Diese ausgeprägten winterlichen Temperaturinversionen werden meist nur im Zuge einer Änderung der Großwetterlage z.B. Verdrängen des Hochdruckgebiets durch ein Tiefdruckgebiet ausgeräumt.

Eine Temperaturinversion wirkt wie eine Sperrschicht in der Atmosphäre, die den vertikalen Austausch der Luftmassen unterbindet. In Ostösterreich gehen solche Inversionswetterlagen häufig mit hochnebelartiger Bewölkung und relativ schwachen Winden einher.

Die im vorherigen Kapitel analysierten Feinstaubepisoden der Wintermonate, zeigen sehr ähnliche meteorologische Gegebenheiten:

- Hochdruckeinfluss
- Austauscharme Wetterlage (Temperaturinversion bzw. stabile Schichtung der Atmosphäre)
- niedrige Temperaturen
- Wind aus Nord bis Südost
- kein bis wenig Niederschlag/Schneefall

Typisch für die betrachteten Episoden ist, dass eine Temperaturabnahme mit einer steigenden Feinstaubkonzentration einhergeht. Wenn in den Wintermonaten die Temperatur fällt, steigen die Emissionen aus den Bereichen Hausbrand und Straßendienst an. Da durch die vorherrschenden Temperaturinversionen der vertikale Austausch der Luftmassen und somit eine Verdünnung der Schadstoffe unterbunden ist, nehmen die Feinstaubkonzentrationen in der Grenzschicht zu. Förderlich für die hohen Feinstaubkonzentrationen sind auch keine oder nur sehr geringe Niederschläge, welche zu einer Auswaschung der Aerosole aus Grenzschicht führen würden.

Zusätzlich zu den lokalen Emissionen trägt der regionale und überregionale Transport von sekundären Aerosolen einen gewissen Beitrag zu den erhöhten Feinstaubkonzentrationen in Niederösterreich bei. Die großräumigen Hochdruckgebiete führen in den ostösterreichischen Bundesländern und in den nördlichen bis südöstlichen Nachbarländern zu ähnlichen Wetter- und Ausbreitungsbedingungen. Wenn die Temperaturen großflächig sinken, kommt es auch in diesen Gebieten zu erhöhten Hausbrand- und Straßendienst-Emissionen, welche in der stabil geschichteten Grenzschicht unterhalb der Temperaturinversion mit der vorherrschenden Strömung transportiert wird.

4.2 Sommerepisoden

In den Sommermonaten sind konvektive Wetterlagen typisch. Nachts können sich zwar durch die Wärmeabstrahlung der Erde bodennahe Temperaturinversionen ausbilden, welche aber durch die rasche Erwärmung des Erdbodens in den Morgenstunden schnell aufgelöst werden. Die erwärmte bodennahe Luftschicht steigt auf und sorgt für eine Durchmischung der Grenzschicht, weshalb im Sommer die Feinstaubkonzentrationen meist deutlich niedriger als in den Wintermonaten sind. Zusätzlich kommt es im Sommer relativ häufig zu Niederschlägen, entweder in Form von lokalen Wärmegewittern oder bedingt durch Frontdurchgänge, welche für eine Auswaschung der Schadstoffe aus der Grenzschicht sorgen. Schließlich sind die Feinstaubemissionen aus dem Sektor Hausbrand im Sommer geringer, welche im Winter einen erheblichen Beitrag an den Feinstaubemissionen liefern. Der Sektor Landwirtschaft liefert in den Sommermonaten aber höheren Beitrag zu den Feinstaubemissionen als in den Wintermonaten. Die Auswertung der Feinstaub-Trends von Winter- und Sommerhalbjahresmittelwerten in UBA (2018) hat gezeigt, dass sich die Sommermittelwerte zwischen 2010 und 2016 kaum verändert haben. Der in diesem Zeitraum beobachtete Trend betrifft überwiegend die Wintermittelwerte.

In der betrachteten Sommerepisode zeigte sich ein allmählicher Anstieg in den Feinstaubkonzentrationen über mehrere Tage hinweg. In dieser Zeit konnte sich ein Hochdruckgebiet in Osteuropa breit machen, welches Österreich in eine gradientschwache Lage mit niedrigen Windgeschwindigkeiten brachte. Zwar wurde durch die Sonneneinstrahlung die Grenzschicht tagsüber durchmischt, jedoch wurden auch in höheren Schichten niedrige Windgeschwindigkeiten gemessen. Diese niedrigen Windgeschwindigkeiten begünstigten die Akkumulation der Schadstoffe in der Grenzschicht, da der horizontale Austausch der Luftmassen nur sehr langsam vor sich ging. Zusätzlich bildeten sich trotz der starken Sonneneinstrahlung und der vielen extrem heißen Tage aufgrund der Trockenheit keine Gewitter aus. Damit kam es in dieser Periode zu keiner Abreicherung der Aerosole durch Niederschlag.

Trotz des vergleichsweise schwachen Windes aus vorwiegend südöstlichen Richtungen dürfte, wie das Ergebnis der Rückwärtsmodellierung zeigt, auch Transport von Feinstaub bzw. sekundär gebildete Partikel aus Wien, dem Burgenland und der Steiermark sowie aus den östlichen Nachbarländern einen Beitrag zu den gemessenen Konzentrationen geliefert haben. Die Herkunftsanalyse für den Ferntransport sekundärer Aerosole deutet auf einen Beitrag aus

industriereichen Gebieten in den benachbarten Ländern Ost- und Südosteuropas hin (nördliches Ungarn, östliche Slowakei, südliches Polen, Serbien, Bosnien Herzegowina und Kroatien). Allgemein zeigt sich aber, dass der Beitrag von grenzüberschreitendem PM10-Transport in Nordostösterreich stark abgenommen hat (UBA, 2018).

Die durchschnittliche Dauer der Hitzewellen in St. Pölten hat, wie klimatologische Untersuchungen der ZAMG ergaben, seit Mitte des 20. Jahrhunderts von 7 auf 8 Tage zugenommen. Zudem ist die Auftrittshäufigkeit etwas gestiegen. Es ist daher zu erwarten, dass ähnliche, lang anhaltende trockene und heiße sommerliche Perioden, die zu erhöhten Feinstaubkonzentrationen in Niederösterreich führen können, wiederkehren.

5 Zusammenfassung

Für die 2. Phase der Evaluierung wurden gemeinsam mit dem Auftraggeber sechs Feinstaubepisoden (fünf in Wintermonaten, eine im August) ausgewählt, welche detailliert untersucht wurden. Die Analyse beinhaltet die Darstellung der gemessenen Feinstaubbelastung, die Beschreibung der meteorologischen Situation sowie der groß- und kleinräumigen Ausbreitungsbedingungen. Für Herkunftsanalysen wurden Rückwärtsrechnungen mit dem Ausbreitungsmodell FLEXPART durchgeführt, um Herkunftsgebiete eines Beitrags durch Ferntransport von sekundären Aerosolen zu lokalisieren.

Die meteorologische Situation während der ausgewählten Episoden wurde mit Hilfe von TAWES-Messungen, Radiosondendaten und Ceilometermessungen analysiert.

Die Analyse zeigt, dass in den Feinstaubepisoden im Winter sehr ähnliche Wetterlagen vorherrschen: Hochdruckgebiete über Nord- oder Osteuropa beeinflussten während der Episoden das Wettergeschehen in Österreich. Aufgrund der kalten Luftmassen, die nach Österreich transportiert werden, können ausgeprägte Temperaturinversionen über mehrere Tage bestehen bleiben. Infolge der niedrigen Temperaturen steigen die Emissionen durch Hausbrand und durch den Einsatz von Streumitteln im Straßendienst in Österreich, aber auch in den Nachbarländern deutlich an. Unterhalb der Temperaturinversion, welche den vertikalen Austausch der Luft verhindert, akkumuliert Feinstaub in der bodennahen Grenzschicht. Zusätzlich werden mit der meist nördlich bis südöstlichen Strömung sekundäre Aerosole aus dem Osten Österreichs und aus den angrenzenden Nachbarländern nach Niederösterreich transportiert. Fehlende Niederschläge während der Episoden tragen zusätzlich dazu bei, dass sich hohe Feinstaubkonzentrationen in der Grenzschicht über lange Zeit halten können.

Im Sommer ist die Feinstaubkonzentration meist deutlich geringer als im Winter. Typischerweise herrschen im Sommer konvektive Wetterlagen, die für eine verstärkte Durchmischung der Luftmassen sorgen und die Schadstoffe in der rund 2 bis 2,5 km hoch reichenden Grenzschicht verdünnen. In der betrachteten Episode ist jedoch ein allmählicher Anstieg der Feinstaubkonzentrationen über einige Tage in Niederösterreich erkennbar. Aufgrund eines stationären Hochdruckgebiets über Osteuropa herrschten in dieser niederschlagsfreien, sehr heißen und trockenen Episode in Österreich niedrige Windgeschwindigkeiten sowohl bodennah als auch in größeren Höhen. In dieser austauscharmen Situation sammelte sich Feinstaub langsam in der Grenzschicht an. Ein Beitrag

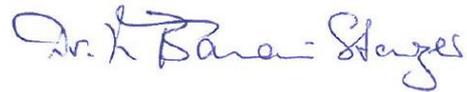
an den Konzentrationen kann aufgrund der Herkunftsanalyse auch dem Transport von Feinstaub aus regional aus Wien und dem Burgenland sowie aus den östlichen und südöstlichen Nachbarländern zugeschrieben werden.

Für eine Untersuchung der Wirksamkeit von Feinstaubreduzierenden Maßnahmen erscheinen die untersuchten Episoden mit sehr hohen Grenzwertüberschreitungen weniger relevant, da diese meist durch großräumige meteorologische Situation hervorgerufen werden. Es wird auf Grundlage der vorliegenden Untersuchung empfohlen, zu diesem Zweck aus den analysierten Zeiträumen Episoden zu wählen, bei welchen die gemessenen Feinstaubkonzentrationen etwas über oder etwas unter dem Grenzwert liegen. Für derartige Situationen kann anhand von Modellrechnungen gezeigt werden, ob Maßnahmen erfolgreich eine Überschreitung des Grenzwertes verhindert haben beziehungsweise ob durch weitere Maßnahmen derartige Grenzwertüberschreitungen verhindert werden könnten.

Zentralanstalt für Meteorologie
und Geodynamik



Mag. Claudia Flandorfer (Gutachterin)



Dr. Kathrin Baumann-Stanzer (Prüferin)

6 Literatur und Quellen

- EFA Emissionsforschung Austria GmbH, 2018: Analyse des Feinstaub-Maßnahmenprogramms NÖ, Bericht im Auftrag des Amtes der Niederösterreichischen Landesregierung, Abteilung BD4 Anlagentechnik
- Kristiansen, N. I., Stohl, A., Prata, A. J., Bukowiecki, N., Dacre, H., Eckhardt, S., Henne, S., Hort, M. C., Johnson, B. T., Marenco, F., Neininger, B., Reitebuch, O., Seibert, P., Thomson, D. J., Webster, H. N., Weinzierl, B., 2012. Performance assessment of a volcanic ash transport model mini-ensemble used for inverse modeling of the 2010 Eyjafjallajökull eruption. *Journal of Geophysical Research*, 117 (D00U11).
- Stohl, A., 1999: FLEXTRA Trajectory Model Version 3.0 User Guide. https://www.researchgate.net/publication/2405235_The_FLEXTRA_Trajectory_Model_Version_30_User_Guide
- Stohl, A., Forster, C., Frank, A., Seibert, P., Wotawa, G., 2005: Technical note: The Lagrangian particle dispersion model FLEXPART 6.2. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 5, 2461-2474.
- UBA, 2018: Analyse der Feinstaubbelastung 2009 – 2017. REP-0646. ISBN 978-3-99004-464-3
- ZAMG, 2018: Evaluierung Feinstaubprogramm – Phase 1. Bericht im Auftrag des Amtes der Niederösterreichischen Landesregierung, Abteilung BD4 Anlagentechnik.