

**KOMBINIERTE FEINSTAUB-
METEOROLOGIESONDIERUNGEN AM
17.03.2004 IN GRAZ**

ZAMG Regionalstelle Steiermark

A. Podesser, F. Wölfelmaier, H. Rieder

Graz, im April 2004

Inhaltsverzeichnis

Seite

2	Inhaltsverzeichnis
3	Abbildungsverzeichnis, Tabellenverzeichnis
4	Aufgabenstellung, Messstandort
5	Messmethodik
7	Wetterlage
9	Trajektorienberechnung
14	Ergebnisse der Fesselballonsondierungen
19	Zusammenfassende Beurteilung
21	Resumee
24	Ausblick, Literatur
26	Anhangsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Seite

- 5 Abb.1: Lage d. Sondierungsstandortes (1) u. d. Luftgütestation Graz-Don Bosco (2)
- 6 Abb. 2 u. 3: Meteorologische Sonde und mobiles Feinstaubmessgerät (links),
Fesselballon mit Sonden (rechts)
- 7 Abb.4: Berliner Wetterkarte (500hPa) vom 17.03.2004 um 01:00MEZ
- 8 Abb.5: : Berliner Wetterkarte (Bodendruckfeld) vom 17.03.2004 um 13:00MEZ
- 10 Abb.6: Vorwärts- und Rückwärtstrajektorie um 08:00MEZ, zentriert im Ort der
Messung, in 100m Höhe
- 11 Abb.7: Vorwärts- und Rückwärtstrajektorie um 08:00MEZ, zentriert im Ort der
Messung, in 500m Höhe
- 11 Abb.8: Vorwärts- und Rückwärtstrajektorie um 18:00MEZ, zentriert im Ort der
Messung, in 100m Höhe
- 13 Abb.9: Vorwärts- und Rückwärtstrajektorie um 18:00MEZ, zentriert im Ort der
Messung, in 500m Höhe
- 23 Abb.10: Ergebnisse der vertikalen PM10- Konzentrationen im Tagesverlauf

Tabellenverzeichnis

Seite

- 4 Tab.1: Lage des Sondierungsstandortes und der Luftgütestation Graz-Don Bosco

Die Aufgabenstellung

Graz sollten in einem feinstaubbelasteten Gebiet noch während der winterlichen Streuperiode Fesselballonsondierungen durchgeführt werden, welche vertikale PM10-Konzentrationsverläufe über einen Tag in zeitlich hoher Auflösung messen. Ergänzend sollte die zugehörige Meteorologie erhoben werden, um die immissionsklimatische Situation besser zu verstehen. Die Einbindung der Grazer Feinstaub- und Meteorologiemessstellen sowie Trajektorienberechnungen sollten eine erste Betrachtung möglicher Transportvorgänge in Abhängigkeit von lokalklimatischen Parametern wie Temperaturinversion und Talwindssystem ermöglichen.

Der Messstandort

Die Fesselballonsondierung fand am 17.03.2004, einem Mittwoch, am Firmengelände der Firma Roche in Graz-Gries statt. Der Standort (Abbildung 1) befindet sich im Nahbereich der Kreuzung Alte Poststrasse - Wetzelsdorfer Straße, wobei der Abstand zur relativ stark befahrenen Wetzelsdorfer Straße etwa 175m, der zur Alten Poststraße etwa 150m beträgt. Der Abstand zum nächsten industriellen Emittenten an der Südbahnstraße (Marienhütte) beträgt ca. 300m. In unmittelbarer Nähe des Messstandortes (ca. 500m) befindet sich die Luftgütemessstation Graz Don Bosco des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung, FA17C, welche kontinuierlich PM10 misst.

Standort	Seehöhe [m]	Lon [grad,min,sec]	Lat [grad,min,sec]
1. Fesselballonsondierung	360	152500	470340
2. Luftgütestation 17C	358	152503	470322

Tab.1: Lage des Sondierungsstandortes und der Luftgütestation Graz-Don Bosco

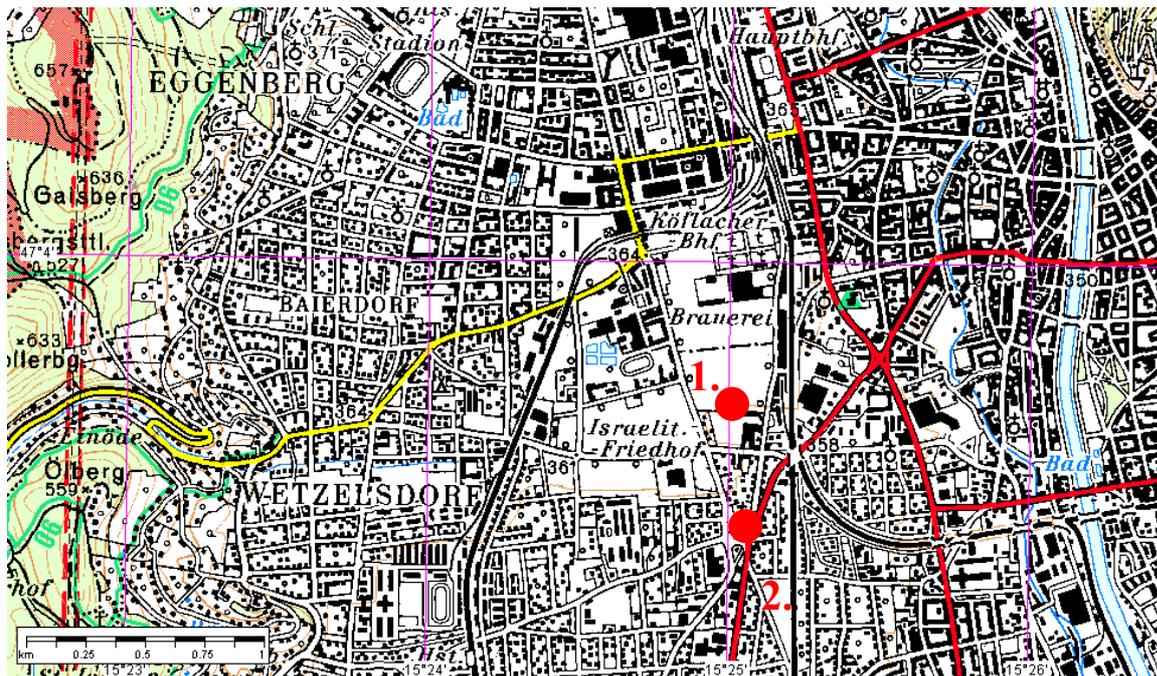


Abb.1: Lage des Sondierungsstandortes (1) und der Luftgütestation Graz-Don Bosco (2)

Die Messmethodik

Die Messungen wurden gemeinsam mit der Fa. Pilz-Umweltmesstechnik durchgeführt. An einem mit ca. 15m³ Helium gefüllten Zeppelin wurde eine meteorologische Sonde und ein Staubanalysegerät befestigt und bis in eine Höhe von etwa 400m über Grund gezogen (Abbildungen 2, 3). Größere Aufstiegshöhen wurden von der Austro Control aus sicherheitstechnischen Gründen betreffend den Flugverkehr nicht genehmigt, da der Sondierungsstandort an der Grenze zur Einflugschneise Nord liegt. Die Aufstiege begannen um 06:00MEZ und wurden im Halbstundentakt bis 10:00MEZ durchgeführt. Danach wurde bis 18:00MEZ stündlich, bis 20:00 wieder im Halbstundentakt gemessen. Insgesamt wurden 20 Sondenaufstiege absolviert, die Aufstiegsgeschwindigkeit des Ballons betrug 1m/s. Die aufgezeichneten meteorologischen Parameter umfassten die Windrichtung- und geschwindigkeit, Temperatur, Taupunkt und Relative Feuchte, die Daten wurden alle 4 Sekunden von der Sonde mittels Funk auf einen PC übertragen. Neben der Höhe über Grund (berechnet mit Hilfe von Druckunterschieden, daher keine falschen Höhenangaben bei einer eventuellen Abdrift der Sonde) bekam jeder Datensatz einen Zeitstempel.



Abb. 2 u. 3: Meteorologische Sonde und mobiles Feinstaubmessgerät (links), Fesselballon mit Sonden (rechts)

Das Aerosolspektrometer (Type GRIMM DUSTcheck 1.108, zur Verfügung gestellt vom Umweltamt der Stadt Graz, registrierte Staubmassefraktionen für PM₁₀, PM_{2.5} und PM_{1.0} in 6 Sekunden-Auflösung und speicherte die Messwerte auf einer Chipkarte, welche jeweils nach einer Messung ausgelesen wurde. Da das Staubmessgerät ebenfalls mit Echtzeit arbeitete, wurde über die Uhrzeit die genaue Höhe über Grund (+/- 1m) der Staubmesswerte ermittelt. Die Messung erfolgt auf optischem Weg, wobei ein Halbleiterlaser als Lichtquelle dient (Prinzip der Streulichtmessung an Einzelpartikel). Dabei wird das 90° Streulicht mit einem Öffnungswinkel von etwa 60° über einen Spiegel auf eine Empfängerdiode gelenkt. Wenn Partikel den Laserstrahl durchqueren, geben sie einen Lichtimpuls ab. Das Signal der Diode wird, nach einer entsprechenden Verstärkung in verschiedenen Größenkanälen klassifiziert.

Zur Auswertung gelangten weiters die PM-10 Daten der Luftgütemessstation Graz-Don Bosco (3-Minutenmittelwerte) und der anderen Grazer Messstellen mit Feinstaubregistrierung (Halbstundenmittelwerte), deren Messprinzip der laufenden Registrierung auf der β -Strahlungsabschwächung und dem TEOM- Verfahren basiert. Bei einer Vergleichsmessung durch des Umweltamt Graz zwischen dem mobilen Messgerät und einer Luftgütestation wurde eine sehr gute Übereinstimmung erzielt.

Weiters wurden die Messwerte des meteorologischen Messnetzes des Landes Steiermark, FA17C und der Zentralanstalt f. Meteorologie u. Geodynamik für den Großraum Graz herangezogen. Außerdem wurden Daten der Radiosondenaufstiege am Grazer Flughafen für den 03:00- und 12:00- Termin herangezogen und Vorwärts- und Rückwärtstrajektorien für verschiedene Höhengniveaus berechnet.

Die Wetterlage

Großwetterlage am 17.03.2004

Wie die Höhenwetterkarte im 500-hPa-Niveau in Abbildung 4 zeigt, war der Messtag von einem außerordentlich kräftig entwickelten Höhenhoch mit Zentrum über dem zentralen Mittelmeerraum geprägt, von dem sich ein Keil nordwärts über Mitteleuropa hinweg bis nach Skandinavien erstreckte. Die Keilachse verlagerte sich im Tagesverlauf von der Grenze Westalpen-Ostalpen etwas nach Osten, sodass die nordwestliche Höhenströmung in zunehmendem Maße durch Absinkprozesse ersetzt wurde.

Das zugehörige Bodenhoch lag mit seinem Zentrum über Südtirol (siehe Abbildung 5), inneralpin erreichte der Bodendruck in der 2. Nachthälfte 1039hPa.

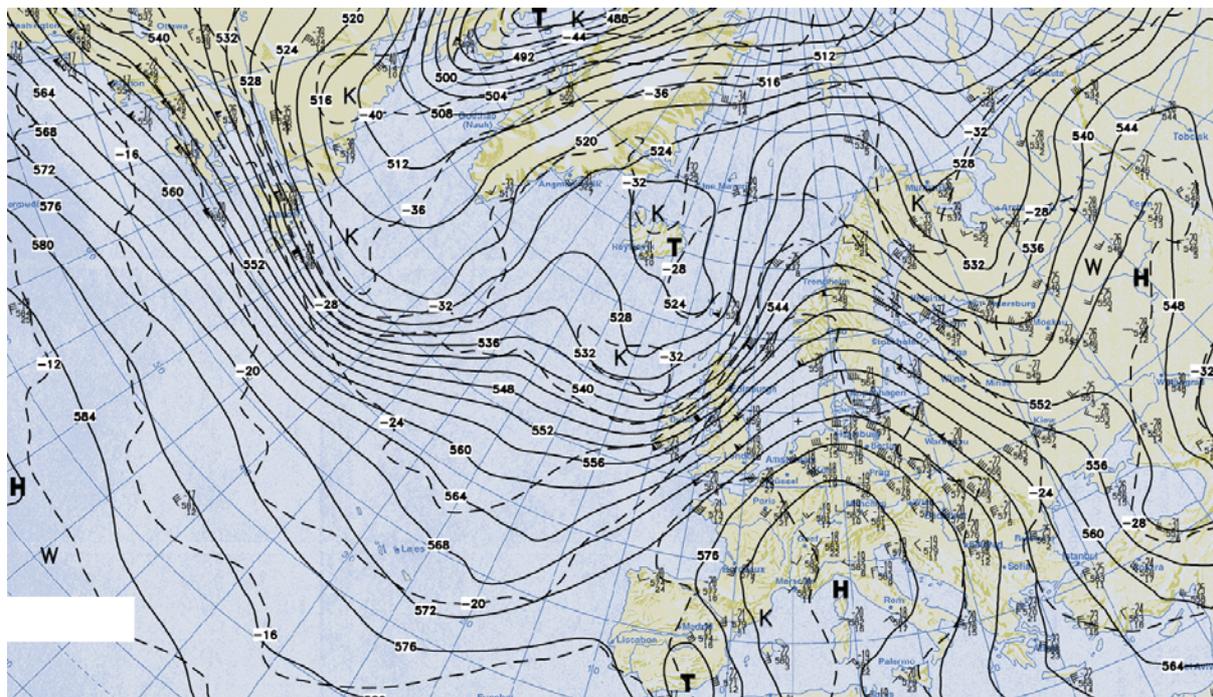


Abb.4: Berliner Wetterkarte (500hPa) vom 17.03.2004 um 01:00MEZ

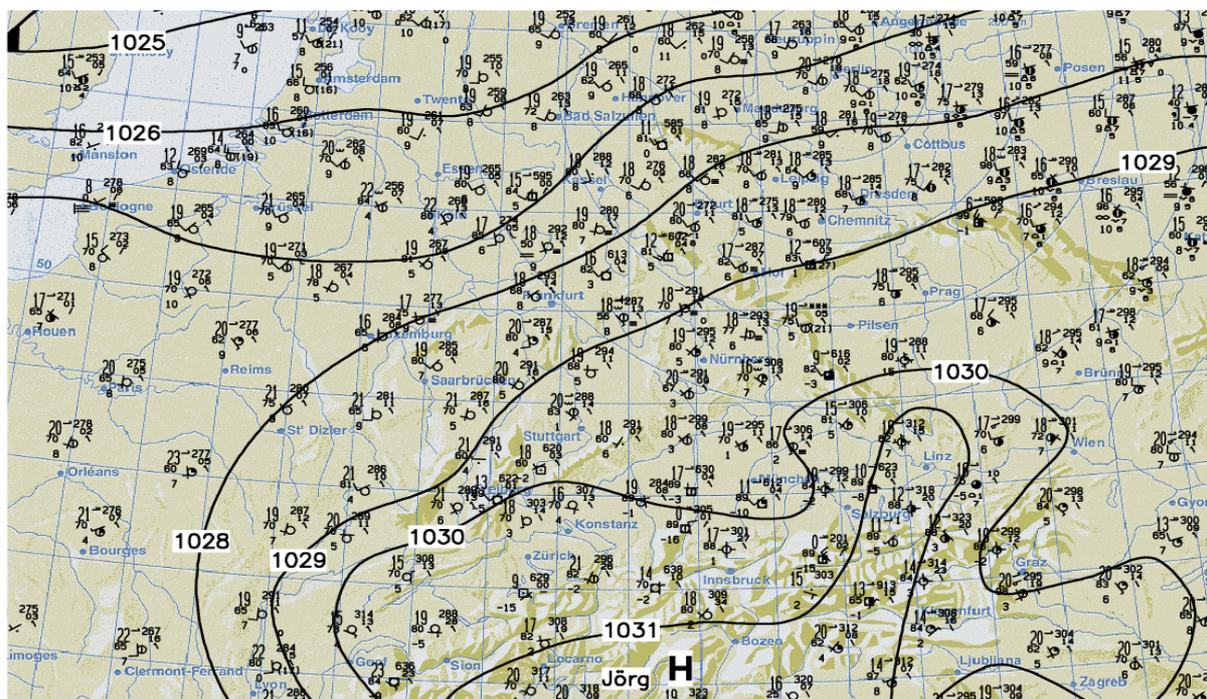


Abb.5: Berliner Wetterkarte (Bodendruckfeld) vom 17.03.2004 um 13:00MEZ

Bodenwettersituation am 17.03.2004 im Mesoscale

Die VERA- Bodenanalysen (Anhang 1) zeigen für die 2.Nachthälfte große Druckunterschiede von bis zu 7hPa zwischen dem inneralpinen Raum und des Südöstlichen Alpenvorland, welche sich bis zum Morgen noch etwas verstärken. Die druckinduzierte Ausgleichsströmung macht sich im Untersuchungsgebiet mit NW- Komponenten bemerkbar.

Am Vormittag werden die Luftdruckgegensätze langsam abgebaut, bis Mittag nimmt die inneralpine Überwärmung zu, die Anströmung im Untersuchungsgebiet dreht auf SW bis SE.

Um 15:00h MEZ wird der stärkste Gegensatz der potentiellen Temperatur zwischen Südöstlichen Alpenvorland und der inneralpinen Region gemessen, welcher mit einem Maximum an bodennahen Winden aus SW bis SE einhergeht (siehe Vera-Analyse in Anhang 2).

Am Abend gleichen sich die thermischen Gegensätze langsam aus, in Folge baut sich inneralpin wieder hoher Luftdruck auf, während das Südöstliche Alpenvorland noch höhere potentielle Temperaturen kennzeichnen. Die bodennahe Strömung dreht ab den frühen Abendstunden wieder auf Nordwest (siehe Vera-Analyse in Anhang 3).

Wie Radiosondenaufstiegsdaten vom Flughafen Graz in Anhang 4 zeigen, machte sich die autochthone Subtropicluff kontinentalen Ursprungs im Südöstlichen Alpenvorland vor allem in mittleren Höhenlagen durch trockene Luft und milde Temperaturen bemerkbar. Beim Morgenaufstieg um 03:00UTC wird ein Maximum in 956hPa (640m Sh) mit 13,8°C registriert, in 850hPa (1620m Sh) sind es noch immerhin 8°C; beim Mittagstermin um 12:00UTC hat

sich die Bodeninversion längst aufgelöst, es herrschen bei einer bodennahen Überwärmung von 19,6°C neutrale Schichtungsbedingungen.

Wetter- und Feinstaubsituation an den Tagen davor

Am 15.03.2004 verstärkt sich der Hochdruckeinfluss. Aus dem Nordwesten streift im Tagesverlauf ein kaum wetterwirksamer Störungsausläufer die Ostalpen, welcher sich nur in der Obersteiermark mit dem Durchzug mittelhoher und hoher Wolkenschichten bemerkbar macht, im Südöstlichen Alpenvorland herrscht sogar wolkenloses Wetter. An der Station Graz-Universität steigt die Temperatur nach Frühwerten von -0,5 Grad tagsüber bis auf 16,1 Grad an. Die Nacht auf den 16.03.2004 bleibt im Südöstlichen Alpenvorland bei geringer Luftbewegung weitgehend klar. Die morgendliche Temperaturinversion reicht nach Aufzeichnungen der Radiosondenaufstiege mit etwa 9K bis etwa 800m Sh.

Am 16.03.2004 breitet sich der Höhenhochkeil weiter nach Nordosten mit Kern über den Alpen aus, am Alpenostrand ist in der Höhe eine noch schwache Nordwestströmung wirksam. Wieder stellt sich im Südöstlichen Alpenvorland wolkenloses Wetter ein. Die Temperaturen steigen in allen Höhen kräftig an, die Nullgradgrenze steigt auf 3000m an. Das Temperaturminimum erreicht an der Station Graz-Universität 0,6 Grad, das Maximum liegt bei 17,1 Grad. Die Temperaturinversion erreicht am Flughafen Graz während der 2. Nachthälfte bei einer Mächtigkeit von etwa 1000m Sh eine Stärke von 10,1K.

Sowohl am 15. als auch am 16.03. wird der Grenzwert von 50µg/m³ an allen Grazer Stationen mit PM10- Registrierung deutlich überschritten, es werden Spitzenwerte über 200µg/m³ (Don Bosco) erreicht (Anhang 25).

Trajektorienberechnung

Allgemeines

Zur Berechnung der Trajektorien wird das hochaufgelöste, lokale Wettervorhersagemodell ALADIN Vienna verwendet. Dies ist ein Rechenmodell der ZAMG, welches im Ausschnitt von Österreich die meteorologischen Parameter über 48 Stunden vorausberechnet. Die Umgebungsdaten des Berechnungsgebietes kommen vom französischen Wettermodell ALADIN Lace.

Das Modell ALADIN Vienna hat eine horizontale Auflösung von 9,6 km und 37 vertikale Berechnungsniveaus. Die Modelltopographie gibt die wirkliche Landschaft in geglätteter Form wieder. Graz liegt in dieser Topographie auf einer Seehöhe von etwa 520 m.

Die zugehörige Visualisierungssoftware ACUVIS stellt die Prognosefelder für eine maximale Zeitdauer von 48 Stunden in Stundenschritten dar.

Die Trajektorien werden für Graz für die verschiedenen Höhen über Grund (100m, 200m, 500m) und verschiedene Startzeitpunkte berechnet. Dabei werden die dreidimensionalen

Vorwärts- und Rückwärtstrajektorien dargestellt. Man erhält dadurch Informationen, woher ein Luftpaket gekommen ist und wohin es sich in welcher Höhe bewegt. Ein roter oder grauer Abschnitt einer Trajektorie zeigt die Verlagerung innerhalb einer Stunde an.

Die Modelltopographie ist in dünnen, hellgrauen Linien dargestellt, die reale Topographie ist hell schattiert. Das Windfeld wird durch Pfeile und Fähnchen dargestellt. Pfeile stehen für Geschwindigkeiten unter 2,6 m/s (< 5 Knoten), Fähnchen mit kurzem Querbalken für 2,6 m/s bis 5,1 m/s (5-10 kt), Fähnchen mit längerem Querbalken für 5,1 m/s bis 7,7 m/s (10 bis 15 kt). Strömungsstrukturen unter einer horizontalen Größenskala von 10 km können mit dem Modell nicht mehr aufgelöst werden.

Für die Zeiten der höchsten, bodennahen Konzentrationen am Vormittag und am Abend wurden Trajektorien berechnet und die Ergebnisse dargestellt.

Ergebnisse der Berechnung mit ALADIN Vienna

Morgensituation 08:00MEZ

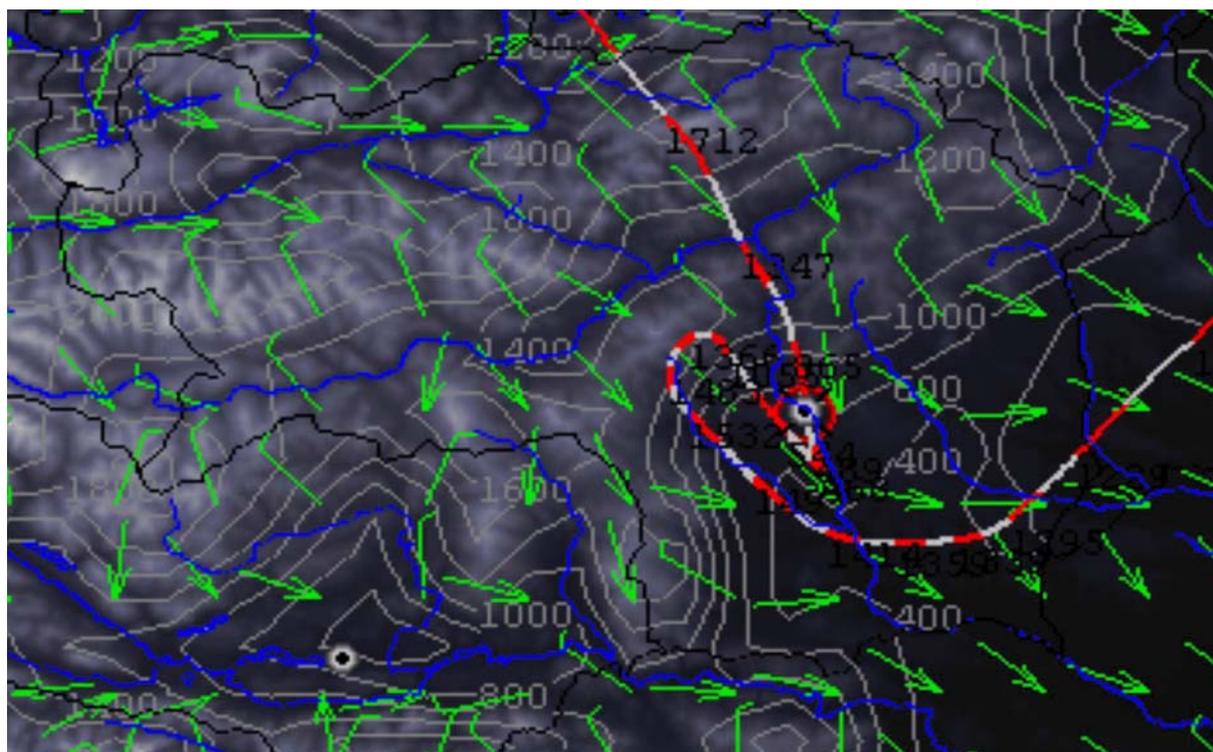


Abb.6: Vorwärts- und Rückwärtstrajektorie um 08:00MEZ, zentriert im Ort der Messung, in 100m Höhe

Abbildung 6 zeigt den Weg eines Partikels, das von Norden kommend, sich um 08:00MEZ, am Ort der Messung, 100m über der Modelltopographie in 620m Seehöhe befindet. Es wird

mit dem regionalen Windsystem nach Süden transportiert und verliert dabei an Höhe. Das Partikel befindet sich dann um ca. 11:00MEZ im Bereich des Flughafens Graz-Thalerhof. Zu

dieser Zeit dreht sich das tageszeitliche Windsystem im Modell um und das Partikel strömt mit dem SSE-Wind zurück nach NNW, am westlichen Stadtrand vorbei, wird gehoben und erreicht um etwa 18 Uhr den südöstlichen Bereich der Gleinalpe in einer Seehöhe von 1400m. Mit dem großräumigen NW-Wind bewegt sich das Partikel dann abends und in der ersten Nachthälfte in Richtung SE weiter.

Im Vergleich zur Messung, wo in 100m über Grund die Winddrehung auf Süd etwa um 9 Uhr beginnt, setzt im Modell die Rückdrehung zwischen 10 und 11 Uhr ein. Die Windrichtung ist in der Realität noch mehr auf Süd, sodass ein Rücktransport belasteter Luft direkt ins Stadtgebiet zu erwarten ist. Die Windgeschwindigkeiten vor der Winddrehung zwischen 6 Uhr und 8:30 Uhr stimmen im Modell und der Messung in 100m Höhe gut überein, auch das Abflauen des Windes bei der Drehung ist im Modell gut repräsentiert.

Die Trajektorie zur gleichen Zeit, mit einem Startpunkt 200m über Modelltopographie zeigt einen sehr ähnlichen Verlauf wie jene in 100m Höhe und wird hier nicht dargestellt.

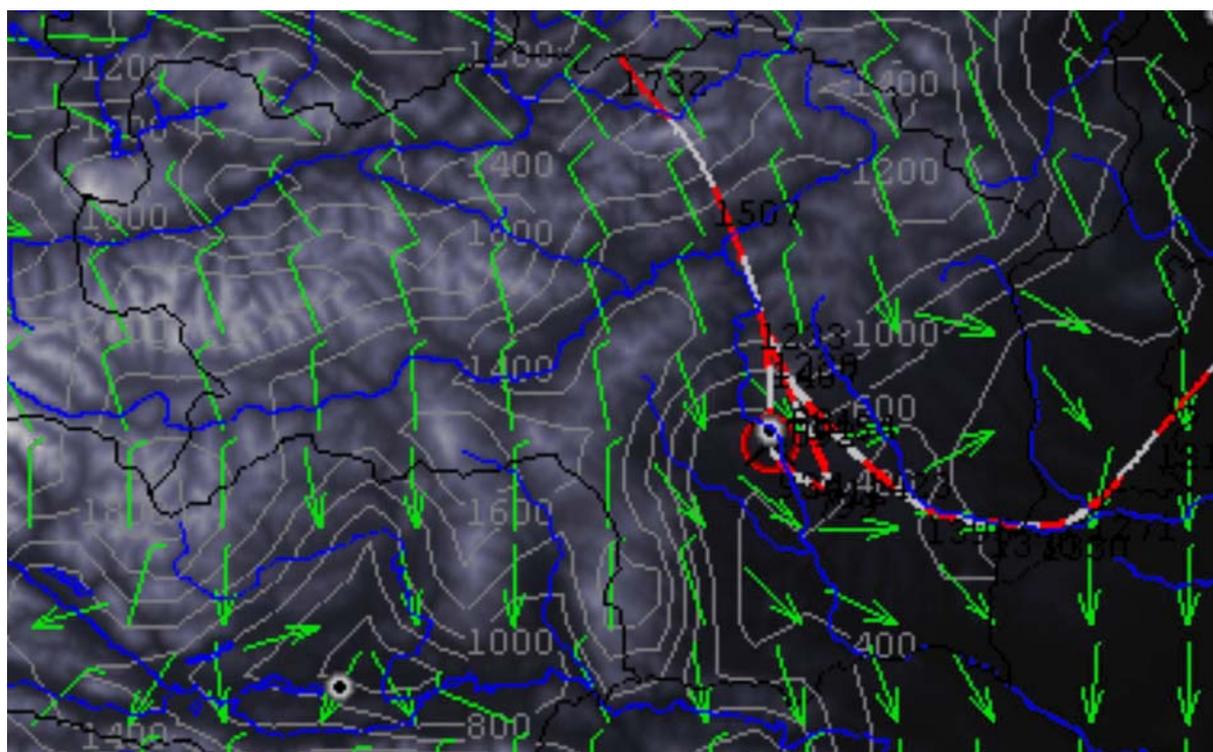


Abb.7: Vorwärts- und Rückwärtstrajektorie um 08:00MEZ, zentriert im Ort der Messung, in 500m Höhe

Die Trajektorie in 500m Höhe (Abbildung 7) um 08:00 MEZ beschreibt den Weg eines Partikels, das sich von Norden kommend um 08:00MEZ am Ort der Messung in 500m Höhe über der Modelltopographie befindet. Das Partikel strömt anfangs eher nach Südosten weiter

und kehrt dann zwischen 10:00 und 11:00 MEZ etwa östlich von Hausmannstätten mit dem drehenden Wind um und bewegt sich um 14:00 MEZ am östlichen Stadtrand vorbei in Richtung NNW.

Abendsituation 18:00MEZ

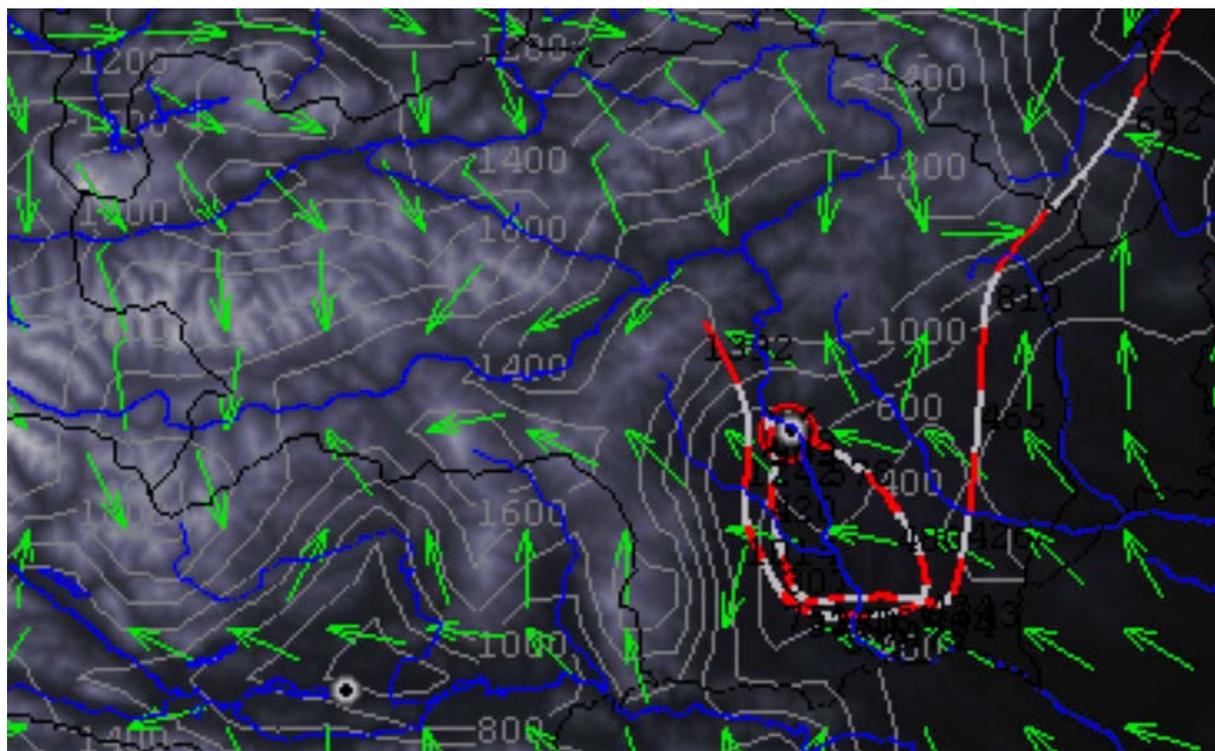


Abb.8: Vorwärts- und Rückwärtstrajektorie um 18:00MEZ, zentriert im Ort der Messung, in 100m Höhe

Um 18:00MEZ befindet sich das Partikel am Ort der Messung (Abbildung 8). Die Trajektorie in 100m über Grund zeigt dann eine Verlagerung mit dem Südostwind, das Partikel strömt also noch eine kurze Strecke in Richtung Nordwesten. Um etwa 20:00MEZ dreht der Wind in diesem Niveau auf Nord und das Partikel strömt weiter in Richtung Süden, indem es an Höhe verliert. Nach Mitternacht ändert die Trajektorie im Bereich des Sausals ihre Richtung und verläuft dann weiter nach Osten.

Im Vergleich zum Vorhersagemodell dreht der Wind in der Realität in 100m über Grund wie prognostiziert etwa um 19:00MEZ auf Nordwest, auch die Windgeschwindigkeiten um 18:00MEZ sind weiterhin noch gut miteinander vergleichbar.

Die Trajektorie 200m über Grund ist jener in 100m über Grund in der horizontalen Verlagerung sehr ähnlich.

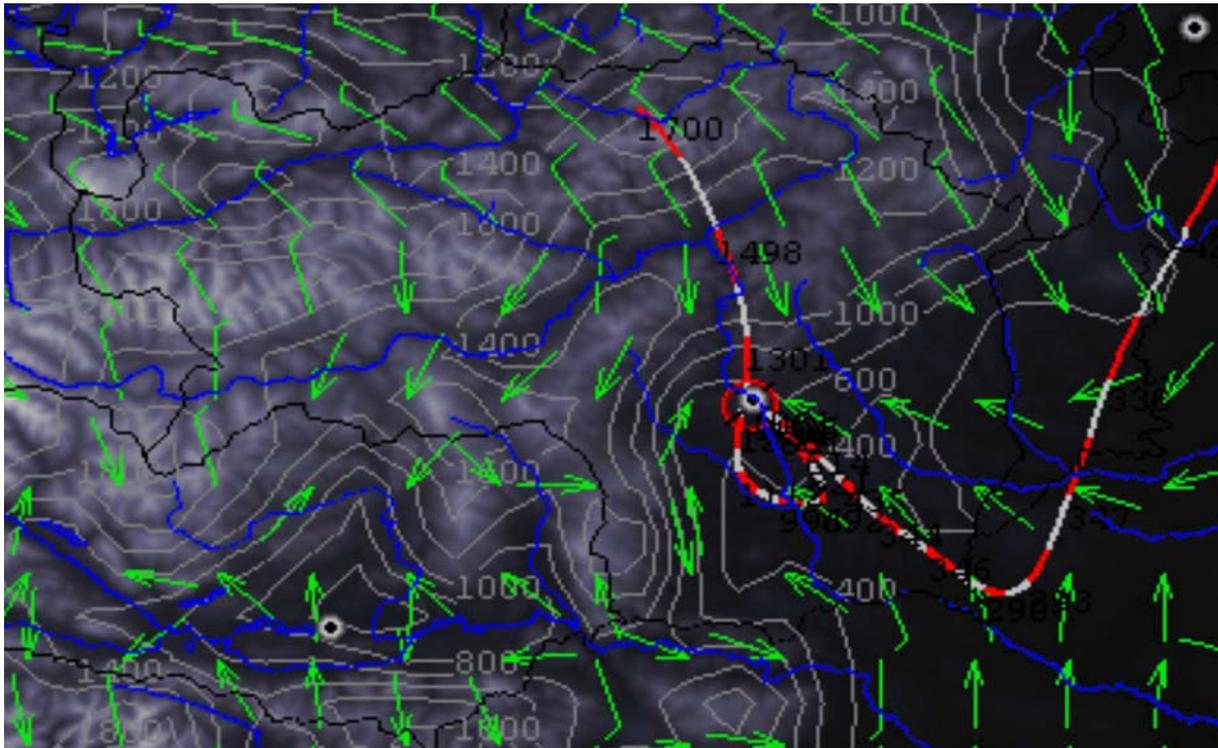


Abb.9: Vorwärts- und Rückwärtstrajektorie um 18:00MEZ, zentriert im Ort der Messung, in 500m Höhe

In 500m über Grund sind die Windgeschwindigkeiten im Modell sehr gering und liegen unter 1m/s (Abbildung 9). Die Windgeschwindigkeiten des Ballonaufstiegs um 18:00 MEZ sind mit einer maximalen Höhe von 300m über Grund nicht direkt vergleichbar, aber auch diese lagen in diesem Niveau bei nur 1m/s.

Um 18:00MEZ strömt das Partikel vom Punkt der Messstelle mit dem sehr schwachen Südostwind kaum mehr weiter nach Nordwest, dreht um 19:00 MEZ um und bewegt sich mit dem Nordwestwind während der Nacht langsam weiter nach Südost.

Die Strömungssituation im Bereich der Messung im Niveau zwischen 100m und 500m über Grund kann vom Modell gut wiedergegeben werden. Sowohl die Windgeschwindigkeit als auch die Windrichtung zeigen gute Übereinstimmung, wenn auch die Umkehr des tageszeitlichen Windsystems leicht verzögert wiedergegeben wird. Mit der Trajektorienberechnung kann somit die Verlagerung von Feinstaubpartikel unter Berücksichtigung der räumlichen Modellauflösung sichtbar gemacht werden. Ferntransport ist aufgrund der geringen Konzentrationen außerhalb der bodennahen Bereiche nicht relevant und wird aus diesem Grund nicht betrachtet.

Ergebnisse der Fesselballonsondierungen

Aufstieg 06:10MEZ (Anhang 5)

Über Nacht hat sich eine Bodeninversion ausgebildet, zum Zeitpunkt des Sonnenaufganges (06:03MEZ) reicht die Obergrenze bis etwa 200m ü. Gr., bis 270m ü. Gr. herrschen isotherme Bedingungen vor, die Inversionsstärke beträgt 8,4°C.

Die invers zur Temperatur verlaufende Relative Feuchte weist in Bodennähe 86%, ab ca. 250m ü. Gr. nur mehr Werte unter 40% auf.

In den ersten 30m ü. Gr. herrschen umlaufende Winde mit geringen Windgeschwindigkeiten vor, anschließend dominieren bis 250m ü. Gr. Windrichtungen aus Nordwest bis Nord im Sinne einer vom Murtal ins Vorland gerichteten Strömung; darüber dreht der Wind über Nord auf Ost. Die Windgeschwindigkeit nimmt von 30 bis 100m ü. Gr. permanent zu, wo ein Maximum von 4,7m/s erreicht wird („Low Level-Jet“ des Murtalauswindes), darüber sinken die Geschwindigkeitsbeträge auf 2 –2,5m/s.

Die PM10- Konzentration liegt in Bodennähe bei 58µg/m³ und sinkt mit zunehmender Höhe stark, im Bereich der Inversionsobergrenze werden nur mehr Konzentrationen unter 10µg/m³ erreicht.

Aufstieg 07:00MEZ (Anhang 6)

Die Inversionsmächtigkeit ist weiter angewachsen, die Obergrenze reicht bis über 300m ü. Gr. und schließt innerhalb der Messhöhe wieder mit isothermen Bedingungen an, auch die Inversionsstärke hat noch etwas zugenommen und erreicht 9,5°C.

Bezüglich der Windverhältnisse treten in den ersten 50m uneinheitliche Windrichtungen aus dem Ostsektor mit sehr geringen Geschwindigkeiten auf, darüber dreht die Strömung bis in ca. 100m ü. G. auf Nord bis Nordwest, bis 250m auf Süd, danach wieder zurück auf Nordwest und ab ca. 300m über Nord auf Nordost. Die Windgeschwindigkeiten sind auch insgesamt gering und bleiben unter 2,5m/s.

Die PM10- Konzentration erreicht am Boden bereits 75µg/m³ , die Abnahme nach oben erfolgt deutlich rascher als beim vorangegangenen Aufstieg.

Aufstieg 07:30MEZ (Anhang 7)

Die Temperaturinversion reicht noch immer bis eine Höhe von etwa 250m, zeigt aber von unten her bereits leichte Auflösungsstendenzen.

Der Wind dreht in den ersten 50m von Südwest über Süd wieder auf Südwest, darüber bis in eine Höhe von 150m auf Nordwest (Murtalauswind), in den oberen 200m herrschen südwestliche und westliche Richtungen vor.

Der PM10- Anteil der Luft erreicht zu diesem Zeitpunkt in Bodennähe 105µg/m³, die Verdünnung nach oben erfolgt rasch, ab 30m liegen die Werte unter 50µg/m³, ab 150m unter 10µg/m³.

Aufstieg 08:00MEZ (Anhang 8)

Zu diesem Zeitpunkt erfolgt bereits eine Auflösung der Bodeninversion im Sinne einer Umwandlung in eine freie Inversion.

In den ersten 50m dominieren wieder südwestliche bis westliche Windrichtungen mit geringen Geschwindigkeiten. Mit einer kurzen Unterbrechung in ca. 250m werden dann bis zur maximalen Messhöhe in 400m nur mehr nordwestliche bis westliche Richtungen aufgezeichnet, wobei die Geschwindigkeiten unter 2m/s bleiben. Nur in ca. 150m ist ein Geschwindigkeitsmaximum von 3,3m/s zu verzeichnen (Low-Level-Jet).

Die PM-Konzentration in Bodennähe hat mit bis zu $84\mu\text{g}/\text{m}^3$ gegenüber dem vorangegangenen Aufstieg etwas abgenommen, allerdings erfolgt die Verdünnung nach oben nicht mehr so rasch.

Aufstieg 08:30MEZ (Anhang 9)

Durch die Sonneneinstrahlung ist die abgehobene Temperaturinversion nur mehr schwach ausgebildet.

In den untersten 50m dreht die Windrichtung bei Geschwindigkeiten von bis zu 2,5m/s von Süd auf Nordwest bis Nord, bis 250m über Grund dominieren nordwestliche bis nördliche Windkomponenten, wobei wie beim vorangegangenen Aufstieg wieder ein Geschwindigkeitsmaximum mit 4,4m/s in ca. 150m registriert wird.

Die PM₁₀-Konzentration steigt bodennah auf $110\mu\text{g}/\text{m}^3$, die Verdünnung nach oben erfolgt wiederum langsamer als beim vorangegangenen Aufstieg, auch in ca. 100m liegen die Werte noch bei $34\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Aufstieg 09:00MEZ (Anhang 10)

Bis zur Untergrenze der nur mehr schwach ausgebildeten freien Inversion in ca. 100m herrschen neutrale bis leicht labile Ausbreitungsbedingungen vor.

Die Schichthöhe der bodennahen Winde aus südlichen Richtungen und geringen Windgeschwindigkeiten bis 1,4m/s hat zugenommen und reicht jetzt bis etwa 100m. Darüber dreht die Strömung bis etwa 250m auf Nordwest bis West mit Geschwindigkeiten bis 2,5m/s (Rest der talauswärtsgerichteten Strömung des Murtalwindes). Darüber erfolgt eine Drehung der Windrichtung zum Südsektor.

Bezüglich der PM₁₀-Konzentration werden zu diesem Zeitpunkt mit $124\mu\text{g}/\text{m}^3$ die höchsten Werte am Vormittag gemessen. Erstmals nimmt die Konzentration mit zunehmender Höhe nicht gleich ab, sondern bleibt bis ca. 50m stabil, erst danach erfolgt sukzessive eine Abnahme, wobei aber in ca. 100m noch immer $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen werden.

Aufstieg 09:30MEZ (Anhang 11)

Einstrahlungsbedingt steigt die Temperatur in der bodennahen Luftschicht weiter an, die Luftschicht bis etwa 50m kennzeichnet bereits labile Ausbreitungsbedingungen.

Das Windsystem ist in einer Umstellungsphase: nur bis etwa 50m findet eine konstante Anströmung aus Süd bis Südwest statt, allerdings mit sehr geringen Windgeschwindigkeiten. Darüber herrschen bis ca. 200m uneinheitliche Richtungen.

Die PM10-Konzentration in Bodennähe ist zwar auf Maximalwerte von $52\mu\text{g}/\text{m}^3$ zurückgegangen, die Dicke der belasteten Schicht hat aber weiter zugenommen und reicht bis auf ca. 70m.

Aufstieg um 10:00MEZ (Anhang 12)

Bis in 220m dominieren neutrale bis labile Ausbreitungsbedingungen, darüber noch eine stabile Schichtung von den Resten der freien Inversion.

Die Schicht mit Anströmungen aus dem Südsektor (taleinwärtsgerichtete Strömung) hat sich auf ca. 150m ausgedehnt, danach dreht die Strömung bis ca. 220m über Südost auf Ost, darüber sind noch Reste der Talauswindströmung zu erkennen.

Die Dicke der PM10-belasteten Luftschicht ist weiter auf 220m angestiegen, wobei in dieser Höhe jetzt die Maximalkonzentration von $87\mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen wird. Aber auch am Boden beträgt der PM10-Anteil $85\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Aufstieg um 11:00MEZ (Anhang 13)

Die Temperaturinversion hat sich weitgehend aufgelöst, bis etwa 150m herrschen leicht labile Ausbreitungsbedingungen.

Die taleinwärtsgerichtete Strömung aus dem Südsektor ist etwas stärker geworden und reicht jetzt bis über 250m.

Die PM10- Konzentration ist gegenüber dem vorangegangenen Aufstieg zurückgegangen, auch die Schichtdicke des belasteten Luftkörpers hat abgenommen, reicht aber immer noch bis auf etwa 150m ü. Gr.

Weitere stündliche Aufstiege von 12:00MEZ bis 17:00MEZ (Anhang 14-19)

Die in allen Höhen einheitliche Anströmung bewirkt eine verstärkte Abdrift der Ballonschnur und eine damit verbundene verminderte Zugkraft. Aus diesem Grund wird bei den Nachmittagsaufstiegen nur eine Höhe von etwa 300-350m erreicht.

Bezüglich der vertikalen Temperaturverteilung herrschen am Nachmittag im wesentlichen neutrale Ausbreitungsbedingungen. Der Taleinwind aus dem Südsektor ist voll entwickelt und weist in Bodennähe einen etwas böigen Charakter auf, zwischen 150- und 200m werden Geschwindigkeiten bis 4m/s erreicht.

Die PM10- Maximalkonzentrationen gehen weiter zurück (der Maximalwert liegt bei $35\mu\text{g}/\text{m}^3$), allerdings liegt der Feinstaubgehalt innerhalb der gesamten erfassten Luftschicht deutlich höher als bei den Morgenaufstiegen.

Aufstieg um 18:00MEZ (Anhang 20)

Zum Zeitpunkt des Sonnenunterganges (um 18:07MEZ) baut sich bereits wieder bis in eine Höhe von ca. 50m eine leichte Bodeninversion mit 2K Stärke auf.

Der Wind hat innerhalb der Temperaturinversion auf West- bis Südwest gedreht, in der Höhe herrscht weiterhin der Taleinwind aus einheitlich südlicher Richtung vor.

Innerhalb der Bodeninversion steigt die PM10-Konzentration in Bodennähe auf $113\mu\text{g}/\text{m}^3$ an und nimmt nach oben rasch auf $31\mu\text{g}/\text{m}^3$ ab. Außerhalb der Temperaturinversion nimmt die Konzentration mit zunehmender Messhöhe allerdings nur mehr langsam ab.

Aufstieg um 18:30MEZ (Anhang 21)

Die leichte Bodeninversion ist gegenüber dem vorangegangenen Aufstieg etwas angewachsen und reicht jetzt bis auf knapp über 100m, ihre Stärke beträgt 2,5K.

Bis in 50m setzen sich mit bis zu 3,5m/s bereits überraschend früh nordwestliche Windkomponenten durch. Dabei dürfte es sich nicht um den sog. Murtalauswind handeln, welcher in Graz erst einige Stunden nach Sonnenuntergang einsetzt (Lazar, R. , Podesser, A. 1999), sondern möglicherweise um einen nicht dynamischen Effekt, der auf stärkere Temperaturunterschiede zurückzuführen sein dürfte (Anm.: es handelt sich dabei möglicherweise um eine Ausgleichsströmung, hervorgerufen durch die gesammelte Kaltluft aus den Seitentälern des Murtals nördlich von Graz, welche im Unterschied zum Südöstlichen Alpenvorland zu diesem Zeitpunkt noch eine Schneedecke aufweisen).

Darüber herrschen bei abnehmenden Windgeschwindigkeiten bis etwa 150m Windscherungen von West über Süd bis Ost vor. Es folgt die in der Höhe noch wirksame Taleinwärtsströmung mit wärmerer Luft aus Süden.

Die PM10-Konzentration erreicht zu diesem Zeitpunkt in Bodennähe mit $126\mu\text{g}/\text{m}^3$ den höchsten gemessenen Tageswert, wiederum erfolgt innerhalb der ersten 50m eine rasche Abnahme auf $55\mu\text{g}/\text{m}^3$. Die weitere Abnahme erfolgt bis 200m weniger steil, darüber bleibt die Konzentration mit etwa $15\text{-}20\mu\text{g}/\text{m}^3$ konstant.

Aufstieg um 19:00MEZ (Anhang 22)

Die Bodeninversion hat sowohl an Mächtigkeit (ca. 180m) als auch an Stärke (3,3K) noch etwas zugenommen, wobei die stärkste Temperaturabnahme etwa in den ersten 80m erfolgt.

Der Wind kommt bis in eine Höhe von etwa 170m aus Nordwest bis Nord, der Bereich mit den höchsten Geschwindigkeiten liegt mit 3,5m/s bei etwa 70m, darüber machen sich noch Reste der taleinwärtsgerichteten Strömung bemerkbar.

Die höchsten bodennahen PM10- Konzentrationen sind gegenüber der vorangegangenen Messung auf $86\mu\text{g}/\text{m}^3$ zurückgegangen, wieder erfolgt die stärkste Abnahme innerhalb der ersten 50m. Darüber bleiben die Konzentrationen ($30\text{-}34\mu\text{g}/\text{m}^3$) bis in eine Höhe von ca. 200m nahezu konstant, weiter oben erfolgt eine Abnahme auf etwa $15\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Aufstieg um 19:30MEZ (Anhang 23)

Die Temperaturinversion reicht mit einer Stärke von 4K bis etwa 200m, die stärkste Temperaturzunahme wird dabei in den ersten 80m mit 3K erreicht.

Die talauswärtsgerichtete Strömung hat sich bis in die Höhe der Inversionsobergrenze in ca. 200m durchgesetzt, die höchsten Windgeschwindigkeiten werden dabei mit über 4m/s knapp über 50m registriert.

Die vertikale Feinstaubverteilung hat sich gegenüber dem vorangegangenen Aufstieg kaum verändert, eine rasche Abnahme erfolgt im Höhenbereich der stärksten Temperaturabnahme, danach pendeln die Werte zwischen 16 und $31\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Aufstieg um 20:15MEZ (Anhang 24)

Die Temperaturinversion ist mit einer Stärke von 5K weiter bis auf ca. 250m angewachsen, die stärkste Abnahme wird dabei in den ersten 130m mit 4K beobachtet.

Auch die Mächtigkeit der talauswärtsgerichteten Strömung hat weiter zugenommen und reicht jetzt bis in eine Höhe von ca. 250m. Auch die Windgeschwindigkeiten sind stärker geworden, die höchsten Werte werden in 75m mit 5,5m/s erzielt.

Zusammenfassende Beurteilung

Morgensituation (6:10 bis 08:30MEZ)

Am Morgen herrschen stabile Ausbreitungsbedingungen, wobei die Bodeninversion etwa eineinhalb Stunden nach Sonnenaufgang von unten her aufgelöst und in eine freie Inversion umgewandelt wird.

Die bodennahe Strömung (die ersten 50m) ist durch schwache Winde aus uneinheitlichen Richtungen gekennzeichnet, die darüber wirksame, talauswärtsgerichtete Strömung aus dem Murtal mit nordwestlichen bis nördlichen Windkomponenten ist gut entwickelt.

Die PM10- Konzentration nimmt mit fortlaufender Zeit bis in eine Höhe von etwa 200m ständig zu, wobei in Bodennähe ein Maximalwert von $110\mu\text{g}/\text{m}^3$ erreicht wird.

An der verkehrsnahen Station Don Bosco, etwa 500m südlich des Sondierungsstandortes, bleiben die 3-Minutenmittelwerte der PM10- Konzentrationen bis etwa 06:00MEZ unter $100\mu\text{g}/\text{m}^3$, danach gibt es einen steilen Anstieg bis auf $242\mu\text{g}/\text{m}^3$ um 7:45MEZ. Dieser Wert stellt gleichzeitig die Maximalkonzentration an diesem Tag dar (Anhang 26).

Vormittagssituation (09:00 bis 11:00MEZ)

Einstrahlungsbedingt löst sich die Temperaturinversion auf, es herrschen neutrale bis leicht labile Ausbreitungsbedingungen.

Die talauswärtsgerichtete Strömung wird immer mehr vom bodennahen Windfeld verdrängt, welches gegenüber der Morgensituation jetzt eindeutig durch Winde aus südlichen Richtungen repräsentiert ist. Diese taleinwärtsgerichtete Strömung reicht anfangs bis 100m, später bis 150m über Grund, die Windgeschwindigkeiten nehmen zu.

Bezüglich der vertikalen PM10-Konzentrationsverteilung kommt es mit der Höhe nicht mehr zu einer Abnahme sondern teilweise sogar zu einem Anstieg. Die Dicke der belasteten Luftschicht nimmt dabei ständig zu und reicht um 10:00MEZ bis 220m.

An der verkehrsnahen Station Don Bosco wird um 9:12MEZ ein sekundäres Maximum mit $205\mu\text{g}/\text{m}^3$, danach sinken die Werte auf etwa $130\mu\text{g}/\text{m}^3$ ab (Anhang 26).

Mittag- und Nachmittagsituation (12:00 bis 17:00MEZ)

Bei neutralen bis labilen Ausbreitungsbedingungen ist der Taleinwind aus vorwiegend südlicher Richtung voll entwickelt.

Die vertikale PM10- Konzentration ist auf die ersten 200m gleichmäßig verteilt und liegen unter $35\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Die verkehrsnahen Station Don Bosco verzeichnet bis etwa 14:00MEZ ein weiteres Absinken der Konzentrationswerte auf $6\mu\text{g}/\text{m}^3$, danach erfolgt ein langsamer Anstieg, um 17:00MEZ liegen die Werte bei $58\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Anhang 26).

Abendsituation (18:00-20:15MEZ)

Nach Sonnenuntergang baut sich eine Bodeninversion auf, es herrschen zunehmend stabile Ausbreitungsbedingungen.

Auch das Windsystem stellt sich vom Boden her um und dreht auf Nordwest. Dieser „low level jet“ ist am Boden schwach, in 50 bis 80m jedoch markant mit Windgeschwindigkeiten bis über 5m/s ausgeprägt.

Im Zuge der Sondierungen werden um 18:30MEZ in Bodennähe mit $126\mu\text{g}/\text{m}^3$ die höchsten PM10-Konzentrationen des Tages gemessen. Außerdem erfolgt eine rasche Abnahme der Konzentration innerhalb der untersten 50m. Mit dem Anwachsen der Bodeninversion im Laufe des Abends vergrößert sich auch die Höhe der Mischungsschicht, innerhalb der die Konzentration nun langsamer abnimmt, auf ca. 100m.

An der verkehrsnahen Station Don Bosco steigt die PM10- Konzentration am Abend stark an, um 18:48MEZ wird eine Maximalkonzentration von $202\mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen; bis Ende der Messkampagne sinken die Werte dann relativ rasch auf etwa $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ ab (Anhang 26).

Resumee

Die Verteilung der PM10-Konzentrationen am 17.03.2004 innerhalb der bei den Sondierungen erfassten Luftschicht (bis 400m über Grund) wird im wesentlichen von den immissionsklimatologischen Bedingungen bestimmt. Verantwortlich dafür zeichnet einerseits der Auf- und Abbau einer Temperaturinversion am Abend bzw. Morgen, andererseits das Vorhandensein eines tagesperiodischen Windsystemes mit talaus- und taleinwärtsgerichteten Windrichtungen am Abend/Nacht bzw. tagsüber.

Am Morgen steigen am Messstandort am Boden (2m über Grund) die Konzentrationen sukzessive an. Im Zusammenhang mit der morgendlichen Verkehrszunahme (ca. 6:30 Uhr-9:00 Uhr) erfolgt der Anstieg allerdings etwas verzögert. Eine Konzentrationsabnahme erfolgt dabei rasch innerhalb der ersten 50m (Abbildung 10).

Zu diesem Zeitpunkt herrschen stabile Ausbreitungsbedingungen, die gering mächtige Mischungsschicht mit der Temperaturinversion zeichnet sich durch schwache Winde aus uneinheitlichen Richtungen oder Calmen aus. In größerer Höhe existiert hingegen ein gut ausgeprägter „low level-jet“ aus vorwiegend nordwestlicher Richtung mit auffällig niedrigen PM10-Konzentrationen. Eine Fernverfrachtung von Feinstaub in dieser Höhe aus den nördlichen Bereichen von Graz oder dem Murtal zwischen Bruck und Graz kann aus diesem Grund ausgeschlossen werden. Der bodennahe Konzentrationsanstieg ist hingegen im Zusammenhang mit standortnahen Emittenten, etwa dem stärker werdenden Verkehrsaufkommen zu sehen.

Eine bemerkenswerte Situation ergibt sich am Vormittag, wenn die Feinstaubkonzentration nicht mehr nur am Boden, sondern auch mit der Höhe ansteigt. Dies betrifft anfangs nur etwa die ersten 50m, weitet sich aber in Folge bis auf über 200m aus (Abbildung 10).

Während dieser Phase hat sich die Temperaturinversion aufgelöst, es herrschen bei anwachsender Mischungsschichthöhe neutrale oder sogar leicht labile Ausbreitungsbedingungen. Der Wind ist dabei in Umstellung begriffen und dreht unter geringen Geschwindigkeiten von Nordwest auf Süd, wobei sich die taleinwärtsgerichtete Strömung zuerst in Bodennähe durchsetzt. Es kann davon ausgegangen werden, dass es zu einem „Hinaufmischen“ in situ gebildeter, feinstaubbelasteter Luft kommt. Mit der stärker werdenden südlichen Anströmung ist auch eine Verfrachtung von Emissionen bzw. Immissionen aus weiter entfernten Stadtbereichen südlich des Messstandortes denkbar.

Der Zeitpunkt der höchsten Konzentrationen am Boden und der Anstieg in der Höhe erfolgt am Sondierungsstandort gegenüber der verkehrsnahen Messstation Don Bosco mit etwa einstündiger Verspätung. Allerdings weisen die anderen Grazer Messtellen mit PM10-Registrierung, etwa Graz-Süd oder Graz Ost einen annähernd synchronen Konzentrationsverlauf mit dem Sondierungsstandort auf (Anhang 27). Noch später als am Sondierungsstandort (ca. 1 Stunde) tritt das Konzentrationsmaximum an der Station Graz-Platte, einer verkehrsfernen Station im Norden von Graz auf. Die „Höhenstation“, welche etwa 300m über dem Stadtgebiet liegt, dürfte dann in den Einflussbereich feinstaubbelasteter Luft aus dem Stadtgebiet kommen, welche hinaufgemischt und nach Norden verfrachtet wurde.

Der Zeitraum vom späten Vormittag bis zu den späten Nachmittagsstunden ist immissionsklimatologisch durch günstige Ausbreitungsbedingungen geprägt, welche im wesentlichen durch eine neutrale bis leicht labile Temperaturschichtung und einem gut entwickelten Taleinwind bestimmt wird. Dies bestätigen auch die Windverhältnisse an den Grazer Stadtstationen mit Anströmungen aus südlicher bis südöstlicher Richtung.

Die PM10-Konzentration am Messstandort bleibt im wesentlichen bis in 300m über Grund unter $25\mu\text{g}/\text{m}^3$, darüber erfolgt ein weiteres Absinken auf unter $5\mu\text{g}/\text{m}^3$.

An der verkehrsnahen Messstelle in Don Bosco sinkt um 13:45MEZ die PM10-Konzentration auf $6\mu\text{g}/\text{m}^3$. Auch die übrigen Stadtstationen mit PM10-Registrierung weisen um 14:00MEZ ihr Minimum auf, welches mit Ausnahme von Graz Ost unter dem Grenzwert von $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ liegt (Anhang 27).

Am Abend steigt die Feinstaubkonzentration am Sondierungsstandort wieder stark an, um 18:30MEZ wird ein Spitzenwert von $126\mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen. Zwar erfolgt innerhalb der ersten 50m eine rasche Verdünnung, gegenüber der Nachmittagsituation bleiben die Werte aber auch noch in der darüberliegenden Luftschicht deutlich erhöht (Abbildung 10).

Mit Beginn der 2.Verkehrsspitze, welche ab etwa 16 Uhr einsetzt und bis etwa 19 Uhr andauert, steigen an der verkehrsnahen Messstelle in Don Bosco die PM10- Werte an, wobei ein starker Anstieg erst ab etwa 17:30MEZ mit einem Maximum um 18:45MEZ von $204\mu\text{g}/\text{m}^3$ auftritt. Auch die übrigen Grazer Messstellen machen diesen Konzentrationsgang mit, in Graz-Nord tritt die Spitze dabei am frühesten (18:00MEZ), in Graz Süd am spätesten (20:00MEZ) ein (Anhang 27).

Die immissionsklimatologische Situation zeichnet sich durch eine zunehmend stabile Schichtung aus, welche langsam nach oben anwächst; der Wind dreht dabei rasch von Südwest auf Nordwest und legt in den ersten 50-70m deutlich an Geschwindigkeit zu. Es ist somit davon auszugehen, dass die feinstaubbelastete Luft des abendlichen Verkehrsaufkommens innerhalb einer gering mächtigen Mischungsschicht über das Stadtgebiet hinweg wieder nach Süden transportiert wird.

PM10 Konzentration [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] am 17.03.2004
in Graz-Gries, Firma Roche

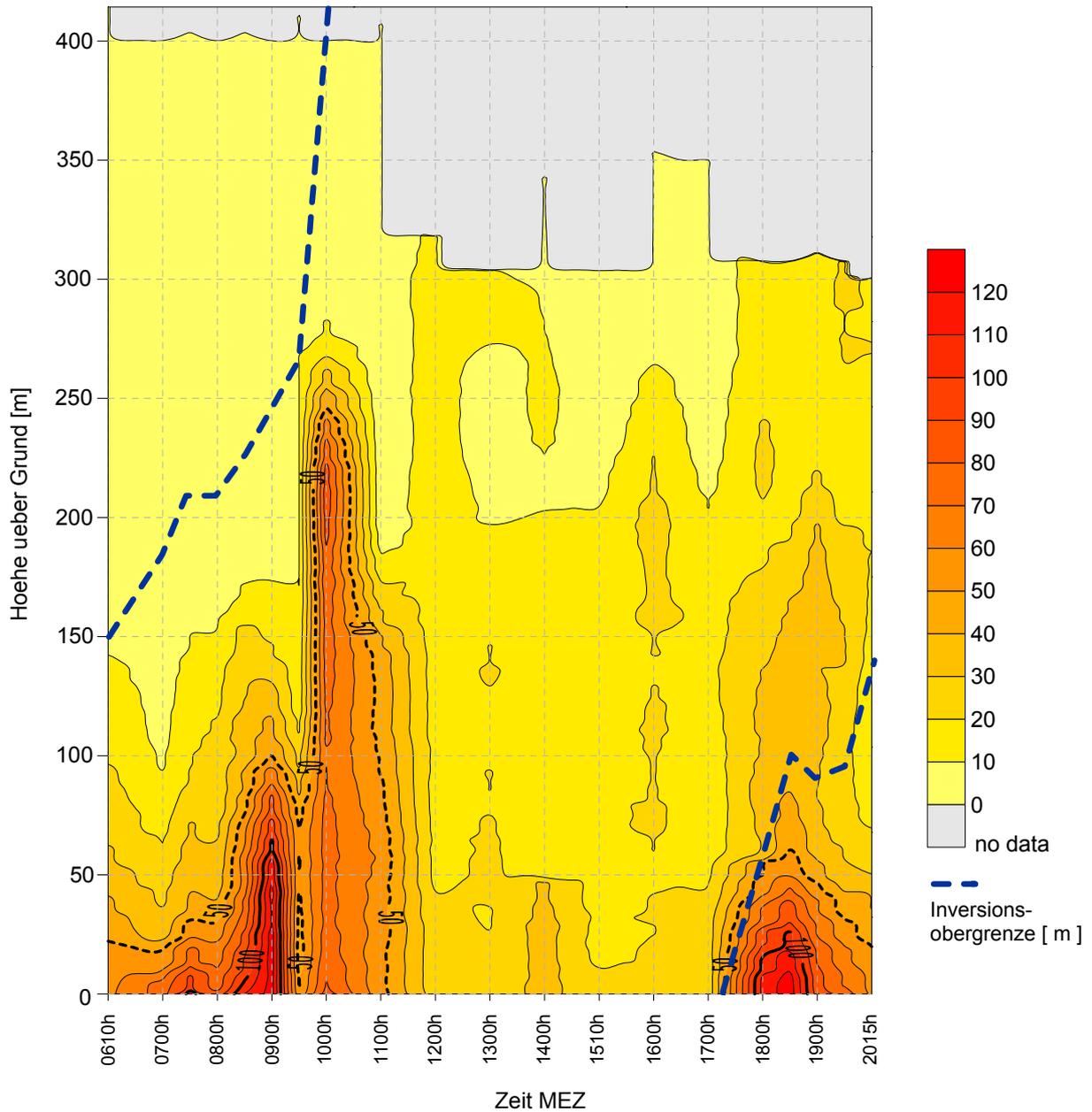


Abb.10: Ergebnisse der vertikalen PM10- Konzentrationen im Tagesverlauf

Ausblick

Mit der EU-Luftqualitätsrahmenrichtlinie 96/62/EG und den Tochterrichtlinien 1999/30EG, 2000/69/EG und 2002/3/EG liegen europaweit einheitliche Anforderungen an die Luftqualität vor, in der die Erstellung von Programmen zur Immissionsreduktion vorgeschrieben sind. In Österreich wurden die EU-rechtlichen Vorgaben zur Festlegung von Grenzwerten mit der ersten Novelle zum Immissionsschutzgesetz-Luft (IG-L), BGBl. I Nr. 62/2001 übernommen. Allerdings sind für eine tatsächliche und nachhaltige Senkung der PM10- Immissionen die im IG-L vorgesehenen rechtlichen Rahmenbedingungen für entsprechende Maßnahmen nicht wirklich ausreichend!

So ist man auch in Graz von der Einhaltung der PM10- Grenzwerte noch weit entfernt. Neben der Erforschung der primären Ursachen (Emission), welche gerade bei uns noch großen Nachholbedarf hat, wären gerade in Kombination mit der Kenntnis der meteorologischen Ausbreitungsbedingungen neue, sinnvolle Strategien zur Feinstaubreduktion abzuleiten!

Die durchgeführte Untersuchung, bei der erstmals Vertikalprofile von PM10-Immissionen und meteorologischen Parametern in großer zeitlicher Auflösung genommen wurden, ist ein erster Schritt in diese Richtung. Eine Ausweitung der Forschung auf diesem Gebiet scheint nicht nur aufgrund der prekären Feinstaubsituation in Graz sinnvoll, es würde der steirischen Landeshauptstadt auch eine Art Vorreiterrolle in dieser Problematik einräumen.

Aus diesem Grund werden weitere Untersuchungen vorgeschlagen:

- Kombinierte Feinstaub- Meteorologiesondierungen parallel an unterschiedlichen Standorten im Sommer- und Winterhalbjahr
- Laufende Registrierung der Ausbreitungsbedingungen über kombinierte Wind-Strahlungsbilanzmessung
- Modellierung der gewonnenen Daten in einem mesoskaligen Modell

Literatur

Lazar, R., Podesser, A. 1999: An urban climate analysis of Graz and its significance for urban planning in the tributary valleys east of Graz. Atmospheric Environment 33, S.4195-4209.

Dieser Bericht darf nur voll inhaltlich, ohne Weglassen und Hinzufügen, veröffentlicht werden! Sollte er auszugsweise abgedruckt oder vervielfältigt werden, so ist vorher die schriftliche Genehmigung der Ersteller einzuholen!

Anhangsverzeichnis

Seite

- 27 Anhang 1: Reduzierter Bodendruck Österreich Süd 2004031706
Anhang 2: Reduzierter Bodendruck Österreich Süd 2004031713
- 28 Anhang 3: Reduzierter Bodendruck Österreich Süd 2004031719
- 29 Anhang 4: 11240 LOWG Graz – Thalerhof – Flughafen 17.03.2004 03Z u. 12Z
- 30 Anhang 5: Feinstaub Fesselballonsondierung Graz 17.03.2004 06:10
- 31 Anhang 6: Feinstaub Fesselballonsondierung Graz 17.03.2004 07:00
- 32 Anhang 7: Feinstaub Fesselballonsondierung Graz 17.03.2004 07:30
- 33 Anhang 8: Feinstaub Fesselballonsondierung Graz 17.03.2004 08:00
- 34 Anhang 9: Feinstaub Fesselballonsondierung Graz 17.03.2004 08:30
- 35 Anhang 10: Feinstaub Fesselballonsondierung Graz 17.03.2004 09:00
- 36 Anhang 11: Feinstaub Fesselballonsondierung Graz 17.03.2004 09:30
- 37 Anhang 12: Feinstaub Fesselballonsondierung Graz 17.03.2004 10:00
- 38 Anhang 13: Feinstaub Fesselballonsondierung Graz 17.03.2004 11:00
- 39 Anhang 14: Feinstaub Fesselballonsondierung Graz 17.03.2004 12:00
- 40 Anhang 15: Feinstaub Fesselballonsondierung Graz 17.03.2004 13:00
- 41 Anhang 16: Feinstaub Fesselballonsondierung Graz 17.03.2004 14:00
- 42 Anhang 17: Feinstaub Fesselballonsondierung Graz 17.03.2004 15:10
- 43 Anhang 18: Feinstaub Fesselballonsondierung Graz 17.03.2004 16:00
- 44 Anhang 19: Feinstaub Fesselballonsondierung Graz 17.03.2004 17:00
- 45 Anhang 20: Feinstaub Fesselballonsondierung Graz 17.03.2004 18:00
- 46 Anhang 21: Feinstaub Fesselballonsondierung Graz 17.03.2004 18:30
- 47 Anhang 22: Feinstaub Fesselballonsondierung Graz 17.03.2004 19:00
- 48 Anhang 23: Feinstaub Fesselballonsondierung Graz 17.03.2004 19:30
- 49 Anhang 24: Feinstaub Fesselballonsondierung Graz 17.03.2004 20:15
- 50 Anhang 25, 26: PM10 Konzentrationen v.15.3.-17.3.2004 an den Grazer
Luftgütemessstellen und Don Bosco 17.3.2004
- 51 Anhang 27, 28: PM10 Konzentrationen 17.3.2004 an den Grazer
Luftgütemessstellen; Windverhältnisse 17.03.2004 an den Stationen Schlossberg,
Kalkleiten, Plabutsch, Schöckl
- 52 Anhang 29, 30: Windverhältnisse an den Stationen Puchstrasse, Weinzöttl,
Kärntnerstrasse und den Stationen Eurostar, Eurostar Kamin, Oeversee
- 53 Anhang 31: Temperatur am 17.03.2004 in Graz Gries, Firma Roche