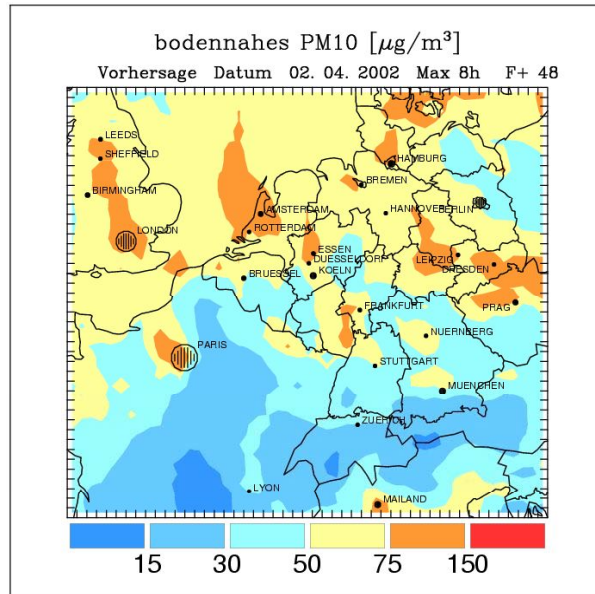


# Nachhaltiges Niedersachsen

Dauerhaft umweltgerechte Entwicklung

Niedersächsisches  
Landesamt für  
Ökologie



2. Materialienband für Maßnahmenpläne  
nach der EU-Richtlinie zur Luftqualität

## MODMESS

Modellgestützte Analyse der  
PM- und Ozonmessungen an den Stationen  
Bösel und Hannover



Herausgeber  
Niedersächsisches Landesamt für Ökologie  
An der Scharlake 39  
31135 Hildesheim

Auftraggeber  
Niedersächsisches Landesamt für Ökologie (NLÖ)  
Göttinger Straße 14, 30449 Hannover

In Zusammenarbeit  
Förderverein des Rheinischen Instituts für  
Umweltforschung an der Universität zu Köln  
H.J. Jakobs  
E. Friese  
M. Memmesheimer  
A. Ebel

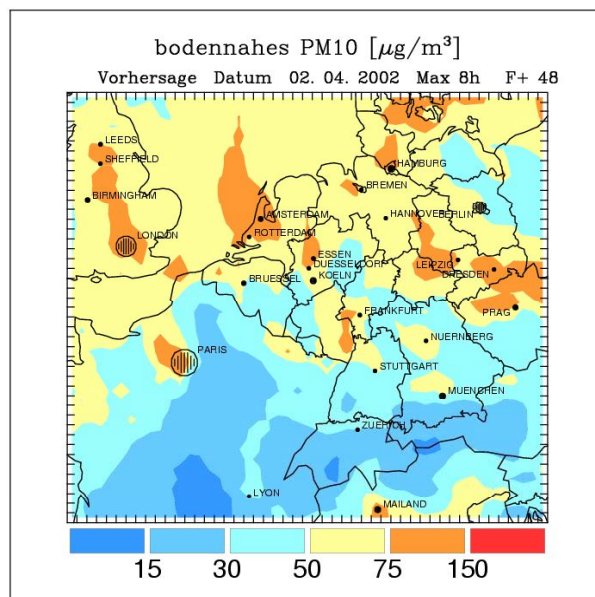
Niedersächsisches Landesamt für Ökologie (NLÖ), Hannover  
W.J. Müller  
B. Heits

1. Auflage\_16\_02\_2004  
ISSN 0949-8265

# Nachhaltiges Niedersachsen

Dauerhaft umweltgerechte Entwicklung

Niedersächsisches  
Landesamt für  
Ökologie



2. Materialienband für Maßnahmenpläne  
nach der EU-Richtlinie zur Luftqualität

## MODMESS

Modellgestützte Analyse der  
PM- und Ozonmessungen an den Stationen  
Bösel und Hannover

**INHALT**

<b>Danksagung.....</b>	<b>3</b>
<b>1. Ziele.....</b>	<b>4</b>
<b>2. Methoden.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 Das EURAD-Modellsystem.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2 Modell-Design und Auswertekonzept.....</b>	<b>12</b>
<b>2.2.1 Modell-Design für die Prognose.....</b>	<b>12</b>
<b>2.2.2 Auswertekonzept MODMESS.....</b>	<b>13</b>
<b>3. Ergebnisse.....</b>	<b>18</b>
<b>3.1 Vergleiche von Modellergebnissen und Messungen.....</b>	<b>18</b>
<b>3.2 Modellgestützte Analyse einzelner Episoden.....</b>	<b>38</b>
<b>3.2.1 Ozon-Episode im September 2002.....</b>	<b>38</b>
<b>3.2.2 Winterliche Hochdrucklage im Dezember 2002.....</b>	<b>47</b>
<b>3.2.3 Winterliche Hochdrucklagen im Februar und März 2003.....</b>	<b>58</b>
<b>4. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen.....</b>	<b>75</b>
<b>5. Literatur .....</b>	<b>78</b>



## Danksagung

Die spezielle Anwendung des EURAD-Modellsystems im Rahmen des FuE-Vorhabens MODMESS („*Modellgestützte Analyse der PM- und ozonmessungen an den Stationen Bösel und Hannover-Linden*“) wurde durch die Förderung des Niedersächsischen Landesamtes für Ökologie (NLÖ) ermöglicht.

Die wissenschaftlichen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im Rahmen des EURAD-Projektes werden generell vom BMBF im Rahmen seiner Atmosphärenforschungsprogramme gefördert (AFO2000, AFS, TFS). Besonders die im Rahmen des AFO2000-Vorhabens IDEC („*Ein integriertes Datenarchiv luftchemischer Standardszenarien für die Evaluierung von Chemie-Transport-Modellen*“, Förderkennzeichen 07ATF02) zusammen mit dem Institut für Chemie und Dynamik der Geosphäre Institut II: Troposphäre (ICG II) des Forschungszentrums Jülich und dem Deutschen Wetterdienst (DWD) durchgeführten Arbeiten haben wesentliche Voraussetzungen für die Durchführung des MODMESS-Vorhabens geschaffen und damit ganz besonders zu seinem Gelingen beigetragen. Sehr hilfreich war auch die Unterstützung der Arbeiten am Prognosesystem und hinsichtlich von Langzeitrechnungen durch das Landesamt für Umweltschutz Nordrhein-Westfalen (LUA-NRW) in den Vorhaben PROSYS, ANABEL und ARAMIS.

Die Simulationsrechnungen wurden durch das RRZK der Universität zu Köln, das Institut für Geophysik und Meteorologie der Universität zu Köln sowie das Forschungszentrum Jülich (ICG-II, ZAM, NIC) unterstützt. Dem Ford Forschungszentrum Aachen danken wir für Unterstützung bei den Arbeiten an den Aerosolmodulen SORGAM und MADE. Emissionsdaten wurden von der TNO, dem Umweltbundesamt und EMEP zur Verfügung gestellt. Meteorologische Daten wurden vom ECMWF und NCEP bereitgestellt. Das Niedersächsische Landesamt für Ökologie stellte die Daten seiner Stationen Bösel (BLWW) und Hannover-Linden (HRSW) zur Verfügung.

Für hilfreiche Anregungen und Unterstützung bei der Durchführung des Vorhabens danken wir Herrn Prof. W. Müller, NLÖ. Weiterhin gilt unser Dank den Kollegen des ICG II des Forschungszentrums Jülich, deren Kenntnisse der atmosphärischen Chemie bei der Entwicklung des EURAD-Modells und der wissenschaftlichen Analyse der Ergebnisse der Modellrechnungen stets hilfreich waren.

Ferner gilt unser Dank allen Kollegen, die im Rahmen von EUROTRAC zur Entwicklung und Anwendung des EURAD-Modells beigetragen haben. Die Kooperationen im internationalen Rahmen innerhalb der EUROTRAC-Teilprojekte GLOREAM, AEROSOL, TOR, CMD und GENEMIS waren sehr fruchtbar und hilfreich. Sie wurden neben der Förderung durch das BMBF auch durch die EU unterstützt.

Besonders gedankt sei Herrn Dipl.-Geophysiker Hendrik Feldmann, Herrn Dipl.-Met. Georg Piekorz und Herrn Lars Nieradzik für Unterstützung bei der Datenaufbereitung, -archivierung und EDV-Problemen sowie Frau Jutta Reusch für den stets reibungslosen Ablauf aller Sekretariats- und Verwaltungsarbeiten, sowie allen Studenten, Doktoranden und Mitarbeitern, die mit ihrer Arbeit zu EURAD beigetragen haben.

## 1. Ziele

Ziel des Vorhabens ist die modellgestützte ergänzende Analyse der PM- und Ozonmessungen an den NLÖ-Stationen Bösel und Hannover-Linden für den Zeitraum der dort in den Jahren 2002 und 2003 bisher durchgeführten Messungen. Die Untersuchungen tragen zu einem besseren Verständnis meteorologischer und luftchemischer Situationen bei, die in Niedersachsen zu hohen Konzentrationen von Luftschadstoffen führen können. Im Mittelpunkt der Untersuchung stehen die für eine Beurteilung der Luftqualität im Sinne der EU-Rahmenrichtlinie 96/62 und ihrer Tochterrichtlinien maßgeblichen Stoffe PM<sub>10</sub> und Ozon. Daneben werden jedoch auch NO<sub>2</sub> und andere überwiegend anthropogen emittierte Schadstoffe betrachtet. Bei den gewählten Verfahren ist eine Beurteilung luftchemischer und meteorologischer Situationen zunächst auf die regionale Skala (Europa, Mitteleuropa) beschränkt. Die urbane Skala oder die Behandlung von Straßenschluchten erfolgt in diesem Vorhaben zunächst nicht. Die durch Modellrechnungen ermittelten Konzentrationswerte auf der regionalen Skala stellen jedoch für räumlich hochaufgelöste Skalen (urban, Straßenschluchten) Randwerte oder Hintergrundwerte dar. Es hat sich in den vergangenen Jahren immer wieder gezeigt, dass sowohl bei PM<sub>10</sub> wie bei Ozon der großräumige Transport über mehrere tausend Kilometer einen wesentlichen Beitrag zur lokalen Belastung durch Luftschadstoffe liefert. Grundsätzlich ist eine Erweiterung auf urbane oder auch lokale Skalen beispielsweise durch eine erweiterte Anwendung oder durch Kopplung des EURAD-Systems mit geeigneten Modellsystemen für die kleinere Skala möglich. Es sei noch darauf hingewiesen, dass sich in dem Bericht „Feinstaub und Schadgasbelastungen in der Göttinger Strasse Hannover“ zum NLÖ-Projekt 1847 eine detaillierte Übersicht zu den Regelungen der EU-Rahmenrichtlinien, zur Lage der NLÖ-Station Hannover-Linden (HRSW), zu Messverfahren für PM und zur Ausbreitungsrechnung in Straßenschluchten findet (NLÖ-Bericht, April 2003).

Zur Durchführung der Untersuchungen für MODMESS werden Modellrechnungen des EURAD-Prognosesystems benutzt, die im Rahmen der täglichen Vorhersage der Luftqualität am Rheinischen Institut für Umweltforschung an der Universität zu Köln erstellt werden. Die Durchführung dieser täglichen Vorhersagen wird im Rahmen des Atmosphärenforschungsprogramms 2000 (AFO 2000) des BMBF (insbesondere durch das Vorhaben IDEC-SENEVA) und das Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (LUA-NRW) gefördert. Sie beinhalten neben der Prognose der Luftqualität auch die Vorhersage meteorologischer Felder (Temperatur, Wind, Feuchte, Niederschlag), deren Kenntnis die Voraussetzung für die Berechnung von atmosphärischen Spurenstofffeldern darstellt. Die erzeugten Daten werden dauerhaft auf Datenträgern gehalten und können damit nachträglich zur Planung von Luftreinhaltemaßnahmen und wissenschaftliche Analysen genutzt werden. Die Durchführung neuer Rechnungen mit dem EURAD-Modell war deshalb für dieses Vorhaben nicht notwendig. Die Ergebnisse der Modellrechnungen erlauben eine bessere Einschätzung meteorologischer und luftchemischer Situationen, die regional zu einer besonderen Belastung der Luft durch schädliche Spurenstoffe führen können. Sie können als Rand- oder Hintergrundwerte für die urbane oder lokale Skala (Straßenschluchten) genutzt werden.

Die modellgestützte Analyse der Mess-Reihen für Bösel (BLWW) und Hannover-Linden (HRSW) erfolgt zunächst über Trajektorienberechnungen und eine synoptische Darstellung der meteorologischen Felder. Die Trajektorien liefern Informationen über die Herkunft der Luftmassen, die synoptischen Felder erlauben eine erste Charakterisierung der

meteorologischen Situationen für Episoden mit besonderer Belastung der Luft durch schädliche Spurenstoffe wie Ozon oder atmosphärische Partikel.

Über die Trajektorienberechnung hinaus werden Vergleiche der Ergebnisse der Chemie-Transportrechnungen mit den Messungen an den NLÖ-Stationen Bösel (BLWW) und Hannover-Linden (HRSW) durchgeführt. Diese erfolgen auf der Grundlage der Berechnungen mit dem komplexen Chemie-Transport-Modell des EURAD-Systems, das photochemische Prozesse ebenso beinhaltet wie die Bildung sekundärer Partikel aus gasförmigen Vorläufersubstanzen (Ammonium-Nitrat-Sulfat-Wasser Gleichgewichtssystem). Die grossräumigen Felder der Spurenstoff-Konzentrationen werden in ihrer zeitlichen Entwicklung ebenfalls durch synoptische Karten grafisch dargestellt und als Hilfsmittel bei der Interpretation der berechneten und gemessenen Konzentrationen an den NLÖ-Stationen Bösel und Hannover-Linden benutzt. Die in dem Datenarchiv derzeit vorhandenen Daten liegen erst ab dem 26.07.2002 vor. Vergleiche mit Messungen an den NLÖ-Stationen Bösel und Hannover-Linden sind deshalb nur vom 26.07.2002 – 31.03.2003 möglich. Graphische Darstellungen liegen jedoch noch für das gesamte Jahr 2002 vor. Sie wurden dem NLÖ bereits im Dezember 2002 im Rahmen der Berichterstattung zu MODMESS auf CD geliefert.

## 2. Methoden

In diesem Abschnitt wird zunächst eine kurze Beschreibung des EURAD-Modellsystems mit Literaturhinweisen gegeben. Danach schließt sich eine Darstellung des Modell-Designs für die Spurenstoffprognose und eine Erläuterung des Auswertekonzepts an.

### 2.1 Das EURAD-Modellsystem

Das EURAD-Modellsystem beschreibt die physikalischen, chemischen und dynamischen Prozesse (chemische Umwandlung, Transport, Deposition), die die räumliche Verteilung und die zeitliche Entwicklung atmosphärischer Konzentrationsfelder steuern. Kern des EURAD-System bildet das mesoskalige meteorologische Modell MM5 und das EURAD-Chemie-Transport-Modell (EURAD-CTM). Ergänzt werden beide Komponenten durch das EURAD-Emissionsmodell EEM, das vorhandene Emissionsdaten in einer geeigneten Form für Rechnungen mit dem EURAD-CTM aufbereitet. Als Ergebnis liefert das Modell die zeitliche Variation und die räumliche Verteilung atmosphärischer Spurenstoffe sowohl in der Gas- wie in der Partikelphase. Das EURAD-Modellsystem wurde im Rahmen des europäischen Forschungsverbunds EUROTRAC (*“European Experiment on Transport and Transformation of Environmentally Relevant Trace Constituents in the Troposphere over Europe”*) im Teilprojekt EUMAC entwickelt (Ebel et al., 1997a,b; Memmesheimer et al., 2003; Builtjes et al., 2003). Im Rahmen von Forschungsprogrammen des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) wurde EURAD insbesondere im Hinblick auf die Anwendung der Nestung-Option optimiert und angewendet (Jakobs et al., 1995; Kessler et al., 2001), im Aerosolbereich verbessert (Ackermann et al., 1998; Friese et al., 2000; Schell et al., 2001) und seine Ergebnisse im Vergleich zu Messungen bewertet (Ebel et al., 2000; Schaller, 2003; Builtjes et al., 2003).

Es wurde auch als Instrument zur Ozonvorhersage beim Deutschen Wetterdienst implementiert und eingesetzt (Jakobs et al., 2002; Tilmes et al., 2002). Im Rahmen des Troposphärenforschungsschwerpunktes (TFS) des BMBF (1996 – 2000) wurde EURAD anhand von Daten aus Feldexperimenten evaluiert (Schaller, 2003). Auch dabei kam die Nestung-Option zum Einsatz, die es ermöglicht, die chemischen und dynamischen Prozesse auf der europäischen Skala mit denjenigen auf der urbanen Skala zu verbinden. Angewendet

wurde dies vor allem im Raum Berlin (FLUMOB und BERLIOZ; Becker et al., 2002; Corsmeier et al., 2002; Memmesheimer et al., 2002) und in Nordrhein-Westfalen (COSIMA, ANABEL; Memmesheimer et al., 2000, 2001; Friese et al., 2002; Memmesheimer et al., 2003). Im Atmosphärenforschungsprogramm 2000 (AFO2000) wird das EURAD-System im Hinblick auf die Behandlung des interkontinentalen Transports auf eine hemisphärische Version erweitert. Der Gasphasenchemiemechanismus wird in Zusammenarbeit mit dem ICG II des Forschungszentrums Jülich auf der Basis von dort vorgenommenen Laborexperimenten validiert und verbessert (Atmosphärenkammer SAPHIR). Auch dies wird, ebenso wie die täglich durchgeführten Vorhersagen, im Rahmen der vom BMBF geförderten AFO2000-Vorhaben, insbesondere IDEC-SENEVA, unterstützt. Die täglichen Vorhersagen über einen Zeitraum von zwei Tagen stehen im Internet unter [www.eurad.uni-koeln.de](http://www.eurad.uni-koeln.de) für externe Nutzer zur Verfügung. Die Konzentration ausgewählter Spurenstoffe und meteorologische Feldern sind dort als Grafiken täglich im Rahmen einer 2-Tages-Vorhersage seit dem 1.11.2001 verfügbar. Sie umfassen Europa und mit den entsprechenden Nest-Gebieten derzeit Mitteleuropa und Nordrhein-Westfalen. Die umfangreichen Datensätze selbst liegen seit dem 26.07.2002 kontinuierlich für jeden Tag vor.

Eine schematische Darstellung des EURAD-Systems ist in Abbildung 2.1 gezeigt. Neben der bereits erwähnten Behandlung der dynamischen und chemisch-physikalischen Prozesse in der Atmosphäre im EURAD-CTM enthält das EURAD-System auch Module zur Behandlung der Eingabedaten wie Topographie und Landnutzung, sowie der anthropogenen und biogenen Emissionen. Die Nutzung vorhandener Emissionsdatenbasen und deren Anpassung an die im Modell verwendete Behandlung chemischer Prozesse können sehr aufwändig sein und erfordern auch meist ein spezielles Vorgehen im Hinblick auf die Ziele des Vorhabens.

Die Gasphasenchemie wird mit dem für die besonderen Bedürfnisse von Chemie-Transport-Modellen entwickelten Gasphasenchemiemechanismus RACM oder RADM2 behandelt. Für das Vorhersage-Modell wird im Hinblick auf die benötigte Rechenzeit derzeit noch der schnellere RADM2-Mechanismus verwendet. Neben den primär emittierten gasförmigen anorganischen Verbindungen ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{CO}$ ) und 16 organischen Verbindungen werden auch photochemisch produzierte Folgeprodukte erfasst ( $\text{O}_3$ , PAN,  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}_5$ , HONO,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HNO}_4$ ).

Zur dynamischen mikrophysikalischen Behandlung der atmosphärischen Partikel wird die neueste Version des Aerosolmodells MADE ("Modales Aerosol-Dynamik Modell für Europa) verwendet. Das Aerosoldynamik-Modul MADE ist in Abbildung 2.2 dargestellt, die in EURAD in Verbindung mit Aerosolen parametrisierte Chemie ist in Abbildung 2.3 gezeigt (Ackermann et al., 1998; Friese et al., 2000; Schell et al., 2001). Die Entwicklung und Anwendung dieser Module erfolgte in den letzten Jahren in enger Kooperation mit dem Ford Forschungszentrum und der EPA (Environmental Protection Agency, North Carolina, USA) sowie im Rahmen von Vorhaben des Aerosolforschungsschwerpunkts des BMBF. Im Rahmen der modalen Struktur von MADE wird angenommen, dass das atmosphärische Aerosol durch mehrere Populationen dargestellt werden kann, deren Größenverteilung durch eine Log-Normalverteilung, einen so genannten Mode, angenähert werden kann. Es werden drei verschiedene Moden zur Beschreibung atmosphärischer Partikel verwendet (Aitken-, Akkumulations- und Grobpartikelmode; siehe Abbildung 2.2). Das Modell liefert damit für jeden Gitterpunkt die Aerosolanzahl-Konzentration für jeden Mode und die Partikelmasse (PM) für verschiedene Aerosolpezies:

- 1) primäre Aerosolkomponenten in MADE: elementarer Kohlenstoff und organische Aerosole im Aitken- und Akkumulationsmode. Anthropogene Partikel im Grobpartikelmode.
- 2) sekundäre Aerosolkomponenten in MADE: Sulfat, Ammonium, Nitrat sowohl im Aitken- wie im Akkumulationsmode.

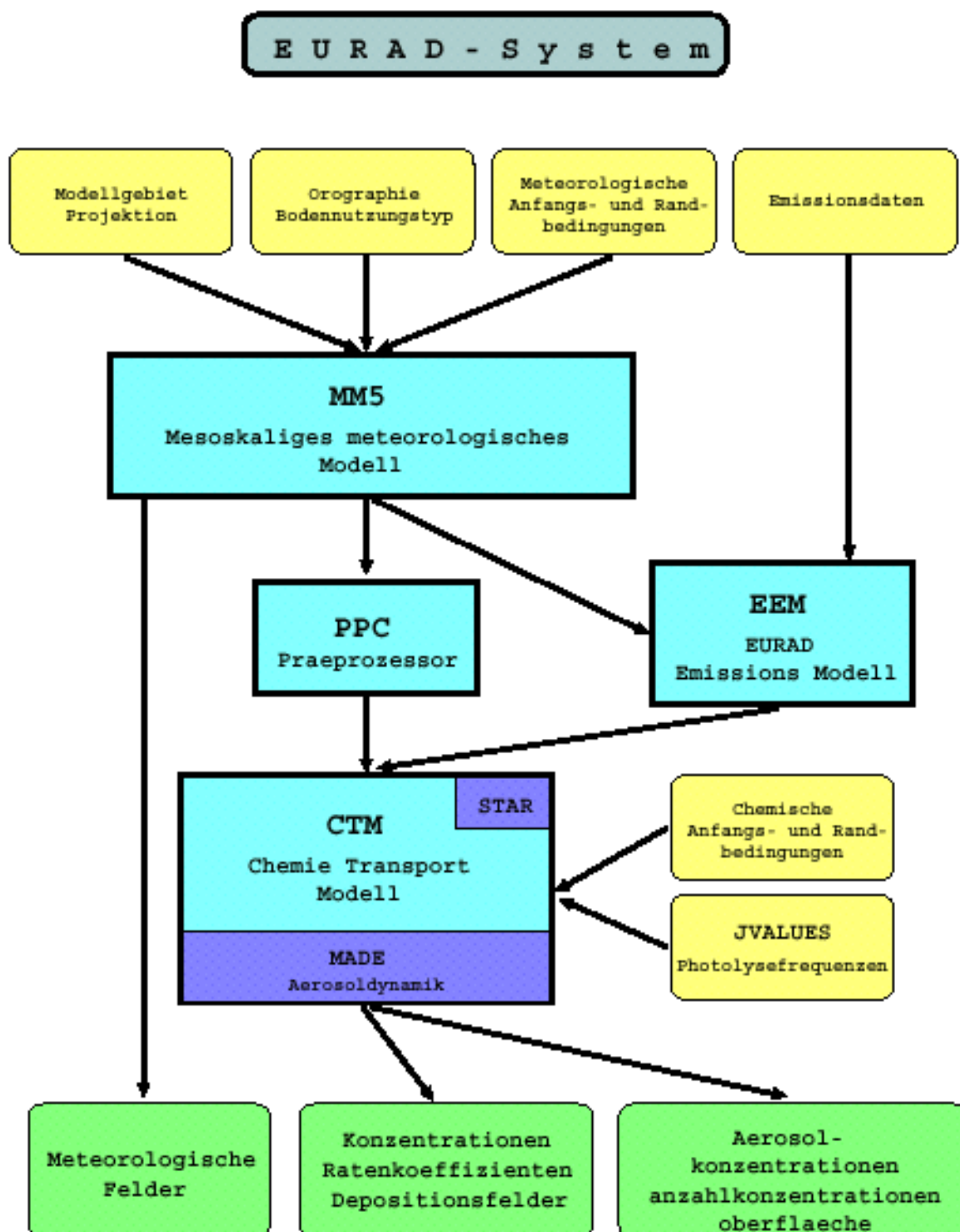
Die chemische Zusammensetzung der Aerosole wird im Gleichgewichtssystem aus Sulfat, Nitrat, Ammonium und Wasser behandelt. Auch die Bildung sekundärer organischer Aerosole (SOA; Schell et al., 2001) wird im Gleichgewichtssystem behandelt (Kondensation übersättigter Dämpfe organischer Substanzen auf vorhandenen Partikeln). Aerosoldynamische Prozesse erfassen die Nukleation im Schwefelsäure/Wasser System, Kondensationswachstum, Koagulation, größenabhängige trockene und nasse Deposition und Sedimentation für Grobpartikel. Ein wesentliches Problem bei der Anwendung von CTM's stellt auch bei den Aerosolen die Verfügbarkeit geeigneter Emissionsdaten dar.

Die Bildung sekundärer organischer Aerosole (Schell et al., 2001) wird derzeit in der Vorhersageversion von EURAD, ebenfalls aus Rechenzeitgründen, noch nicht berücksichtigt. Sie ist jedoch auch im Rahmen von Langzeitrechnungen bereits getestet und erfolgreich eingesetzt worden (NRW-Projekt ANABEL, Friese et al., 2002; Memmesheimer et al., 2003).

Die chemischen Prozesse in Wolkentropfen sind in Abbildung 2.4 dargestellt. Sie umfassen insbesondere die Bildung von Sulfat und Nitrat (Friese et al., 2000).

Die Ausgabefelder der EURAD-CTM Rechnungen umfassen neben den Konzentrationen atmosphärischer Spurenstoffe auch deren trockene und nasse Deposition. Bei der vorgegebenen Modellkonfiguration kann damit die trockene und nasse Deposition von Sulfat und Nitrat sowohl europaweit wie auch lokal erfasst werden. Die Deposition gasförmiger Substanzen wird über die Depositionsgeschwindigkeit mit Hilfe eines Widerstandsmodells erfasst, in das die Bodenbeschaffenheit (Landnutzung; nasse oder trockene Oberflächen) sowie molekularer und turbulenter Transport einfließen. Die nasse Deposition wird über die Zusammensetzung der Wolkentropfen und der Niederschlagsrate berechnet („Auswaschen“).

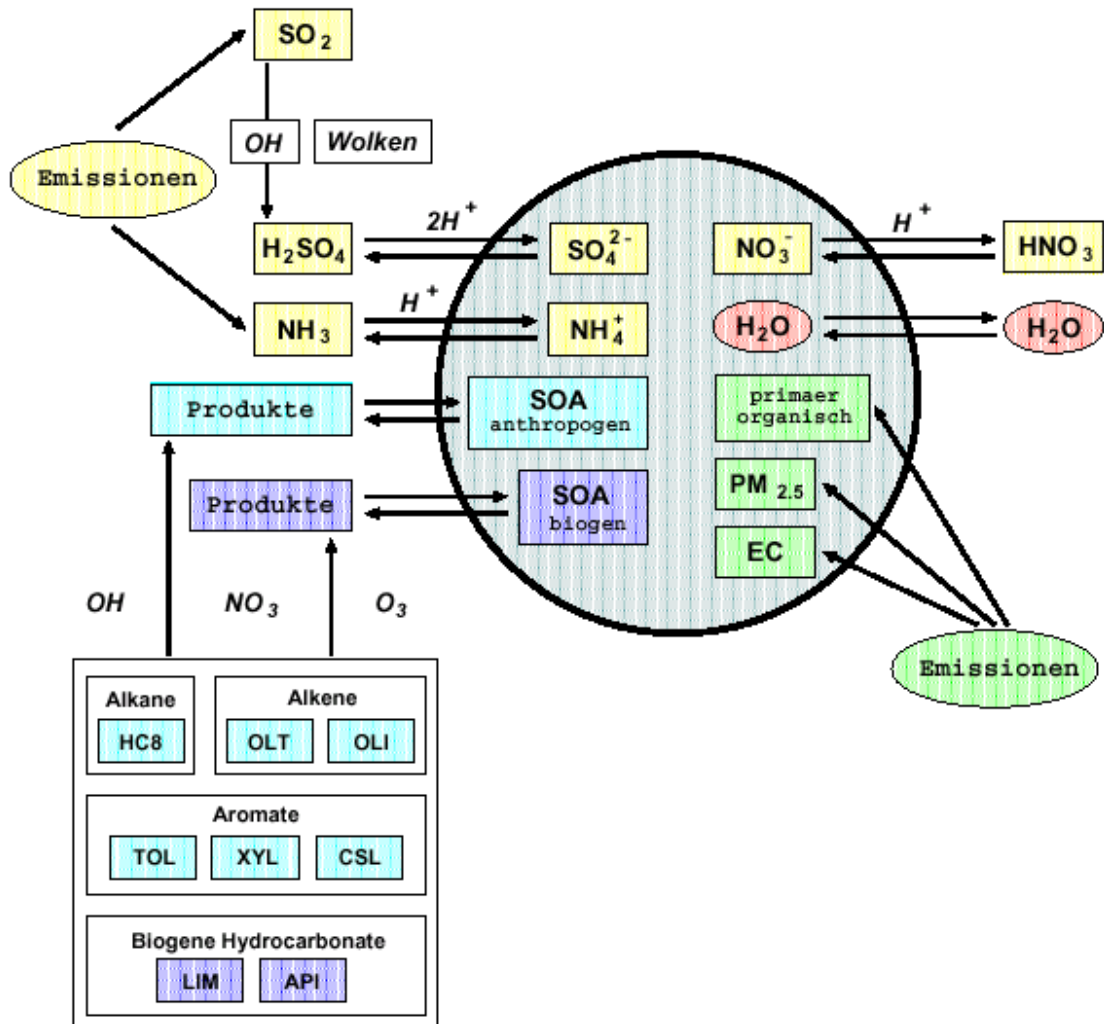
Im Rahmen von Langzeitrechnungen und der täglichen Prognose wird mit einem Muttergitter, das ganz Europa umfasst (N0, horizontale Gitterweite 125 km), und zwei Nestebenen mit horizontalen Gitterweiten von 25 (1. Nestebene, N1) bzw. 5 km (2. Nestebene, N2) gerechnet (siehe auch Abschnitt 2.2). Eine Gitterweite von 5 km ist derzeit für die Größe eines Bundeslandes wie Nordrhein-Westfalen oder Niedersachsen durchaus machbar, sofern geeignete Emissionsdaten vorliegen und die entsprechende Rechenkapazität vorhanden ist. Für ausgewählte Episoden und begrenzte kleinere Gebiete (ca. 50 x 50 km) kann auch mit einer Maschenweite von 1 km gerechnet werden. Dies wurde im LUA-NRW Vorhaben ANABEL bereits erfolgreich erprobt (Friese et al., 2002).



**Abbildung 2.1:** Schematische Darstellung des EURAD-Modellsystems und seiner Komponenten. Kern des EURAD-Modellsystems bilden das mesoskalige meteorologische Modell MM5 (Grell et al., 1994) und das EURAD-Chemie-Transportmodell CTM (Jakobs et al., 2002). Das Modell ermöglicht die Berechnung des Transports, der Bildung und der Deposition von Luftschadstoffen in der Gas- und Aerosolphase (siehe Abbildungen 2.2 und 2.3). Prozesse in Wolken werden ebenfalls erfasst (Abbildung 2.5). Sofern geeignete Eingabedaten vorliegen, insbesondere Emissionen, kann das EURAD-Modell weltweit mit beliebiger räumlicher Auflösung von der hemisphärischen bis zur urbanen Skala angewendet werden.



Aerosol Chemie in MADE



**Abbildung 2.3:** Das chemische System im Aerosolmodul des EURAD-Systems Einzelheiten siehe im Text und bei Ackermann et al., 1998; Schell et al., 2001.



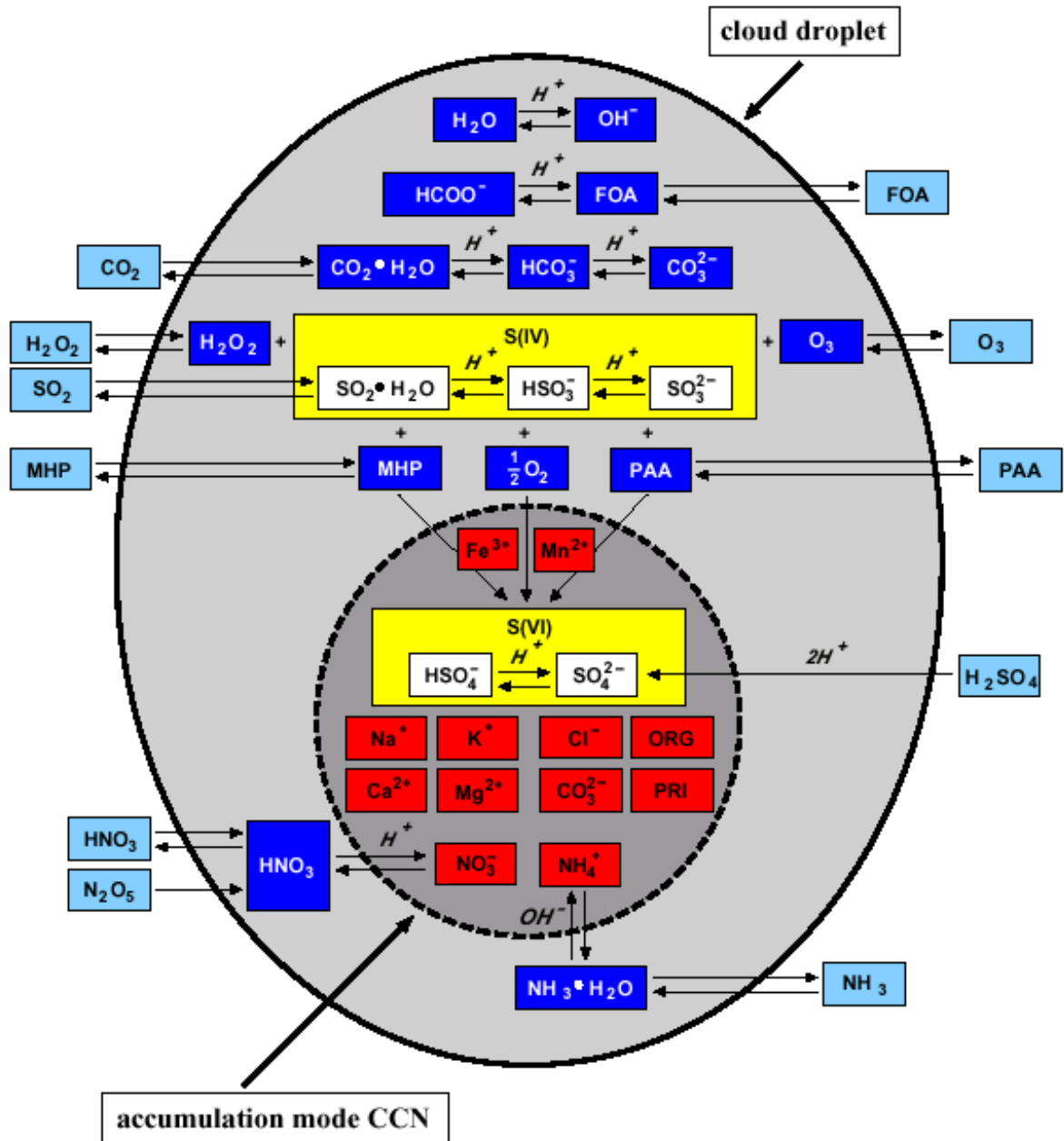


Abbildung 2.4: Chemische Prozesse im “EURAD-Wolkentropfen” (siehe auch Friese et al., 2000).

## 2.2 Modell-Design und Auswertekonzept

### 2.2.1 Modell-Design für die Prognose

Die Grundlage für die in dem FuE-Vorhaben MODMESS durchgeführten Arbeiten liefern die Ergebnisse des EURAD-Prognose-Systems. Dieses System wird seit Anfang des Jahres 2001 am Rheinischen Institut für Umweltforschung an der Universität zu Köln zur Vorhersage der Schadstoffkomponenten in der Atmosphäre getestet. Seit 1. Juni 2001 läuft dieses Vorhersagesystem täglich in einer quasi-operationellen Form. Das Vorhersagesystem basiert auf dem EURAD Modellsystem. Lediglich die meteorologischen Anfangs- und Randgrößen werden von einer globalen numerischen Wettervorhersage vorgegeben. Die Prognose gliedert sich wie folgt:

Zur Initialisierung des mesoskaligen meteorologischen Modells MM5 werden aktuelle vorhergesagte Felder der meteorologischen Größen benötigt. Dazu wird täglich die globale 00 UTC Vorhersage des AVN des National Center for Environmental Protection (NCEP) von einem anonymen ftp Server auf den lokalen Rechner übertragen. Die globale AVN Vorhersage steht in der Regel um 03:30 UTC auf dem ftp Server bereit. Diese Anfangs- und Randfelder, die auf Standarddruckflächen mit einer horizontalen Auflösung von 1 Grad vorliegen, werden dann auf das regionale Gebiet des Vorhersagesystems übertragen. Danach erfolgt die Berechnung der meteorologischen Felder und die Vorhersage der Spurenstoffe für einen Zeitraum von zwei Tagen auf den in den Abbildungen 2.5a, b dargestellten Gebieten. In der Vertikalen erstreckt sich das Modellgebiet vom Boden bis etwa 15 km. Es werden 23 Schichten in der Vertikalen benutzt, davon liegen 15 unterhalb von 3000 m, die unterste Schicht ist 35 bis 40 m dick.

Horizontale Maschenweiten und Gitterpunkte sind wie folgt:

PROSYS_EURAD_N0:	Europa (Muttergitter; coarse grid (CG), siehe Abbildung 2.5a) Gitterweite: 125 km Gitterzellen: 34 x 32 Fläche: 4250 x 4000 km <sup>2</sup>
PROSYS_EURAD_N1:	Zentraleuropa/Deutschland (Nest1, siehe Abbildung 2.5b) Gitterweite: 25 km Gitterzellen: 55 x 50 Fläche: 1375 x 1250 km <sup>2</sup>

Bei der täglichen Vorhersage wird derzeit auch die Luftqualität für das Bundesland Nordrhein-Westfalen mit 5 km Maschenweite (2. Nestebene, N2) berechnet. Bei Vorliegen geeigneter Emissionsdaten und entsprechender Rechenkapazität sind Rechnungen dieser Art mit einer horizontalen Gitterweite von 5 km für jedes Gebiet weltweit möglich, insbesondere für jedes Bundesland und damit auch Niedersachsen. Für NRW existiert allerdings auch ein geeignetes Emissionskataster mit 1 km Maschenweite, das bereits an das EURAD-CTM angepasst und im Rahmen des LUA-NRW FuE-Vorhabens ANABEL (Friese et al., 2002) benutzt wurde.

### 2.2.2 Auswertekonzept MODMESS

Die Arbeiten für MODMESS stützen sich sowohl auf die Ergebnisse der N1-Rechnung (25 km Gitterweite, Mitteleuropa) wie auf die Resultate für das N0-Gebiet (125 km Maschenweite, Europa). Bei der Trajektorienberechnung wurden die Ergebnisse der meteorologischen Rechnung für das N0-Gebiet verwendet, da das N1-Gebiet für Rechnungen über einen Zeitraum von zwei Tagen häufig zu klein ist, um den gesamten Verlauf einer Trajektorie über einen Zeitraum von zwei Tagen zu erfassen.

Die Auswertungen wurden wie folgt durchgeführt:

1) Vergleich der berechneten Zeitreihen für Ozon und  $PM_{10}$  mit den Messungen an den NLÖ-Stationen Bösel (BLWW) und Hannover-Linden (HRSW) für den Zeitraum vom 26. Juli 2002 bis zum 31. März 2003. Dabei werden die Tagesmaxima der stündlichen Werte und die Tagesmittelwerte als Zeitreihen dargestellt. Dies ermöglicht einen schnellen Überblick hinsichtlich besonderer Belastungsepisoden sowie einen direkten Vergleich zwischen Modellergebnissen und Messungen. Diese Darstellung dient lediglich einem ersten Überblick. Einzelheiten, die in der Problematik der angewandten Messverfahren bestehen und durch die grundsätzlichen Probleme, die bei einem Vergleich von Modellwerten mit einer horizontalen Maschenweite von 25 km und einem durch lokale Gegebenheiten geprägten Messpunkt liegen, würden eine ausführliche Diskussion und ggf. weitere Untersuchungen erfordern. Diese können im Rahmen des FuE-Vorhabens MODMESS nicht durchgeführt werden. Für einen ersten Überblick sind die Zeitreihenvergleiche jedoch sehr hilfreich. Bisherige Untersuchungen haben überdies gezeigt (Memmesheimer et al., 2000; Friese et al., 2002), dass die Ergebnisse der Modellrechnungen auf der regionalen Skala wertvolle Hinweise auf großräumige Schadstofftransporte und typische Wetterlagen gestatten, die es erlauben die lokal gemessenen Konzentrationen besser zu interpretieren. Die Hintergrundbelastung, die durch die regionale Skala geprägt wird, spielt bei vielen lokal gemessenen Werten eine große, gelegentlich sogar, je nach Wetterlage, die dominante Rolle. Dies gilt besonders für Ozon, jedoch auch für  $PM_{10}$ , da sowohl Ozon wie Partikel dieser Größenfraktion über weite Entfernungen transportiert werden können.

Neben Ozon und  $PM_{10}$  werden, sofern es notwendig sein sollte, auch andere Spurenstoffe in die Analyse mit einbezogen. Insgesamt werden modellseitig berechnete Werte von  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ , Ozon, NO,  $NO_2$ ,  $NO_x$ ,  $SO_2$ , CO,  $NH_3$  und die Partikelmassen von Sulfat (SO4A), Nitrat (NO3A) und Ammonium (NH4A) in stündlicher Auflösung und als ascii-Datei für den Ort der Stationen Bösel und Hannover-Linden (N1-Gebiet) auf Datenträgern (CD) geliefert und stehen dem NLÖ zur Verfügung. Bei Hannover-Linden wurde in den Zeitreihen auf den Modellwert in der 2. Modellschicht zugegriffen, da die Mess-Station HRSW in 95 m Höhe (NN) und damit 35 m über Grund liegt (60 m NN). Der dort ermittelte Messwert wird teilweise auch als Hintergrundwert interpretiert (NLÖ, 2003). Es scheint somit angemessen, ihn mit dem berechneten Wert der 2. Modellschicht zu vergleichen, die in ca. 35 – 80 m Höhe liegt.

2) Die Zeitreihen werden benutzt, um Episoden mit besonderer Belastung der Luft durch Spurenstoffe zu ermitteln. Für diese Episoden werden die berechneten meteorologischen Felder (N0 und N1), 48h-Rückwärtstrajektorien und Felder der Spurenstoffkonzentrationen (N0, N1) zur Analyse allgemeinen meteorologisch-chemischen Situation und der möglichen Herkunft der Luftmassen herangezogen. Der entsprechende grafische Output des Modells wird ebenfalls für jeden Tag des Jahres auf CD an das NLÖ geliefert. Die CD liegt diesem

Bericht bei. Die 48h-Rückwärtstrajektorien werden auf der Basis der dreidimensionalen Windfelder der MM5-Simulation für das N0-Gebiet berechnet. Bei einem „Start“ der Rückwärtstrajektorie, beispielsweise am 8.9.2002, 00 UTC in Hannover, lässt sich so der Weg der Luftmasse, die am 8.9.2002, 00 UTC in Hannover ankommt über zwei Tage, also bis zum 6.9., 00 UTC zurückverfolgen. Man erkennt also den Weg, den die Luftmasse am 6. und 7.9. genommen hat, bevor sie am 8.9. um 00 UTC Hannover erreicht. Da es sich um eine Trajektorie handelt, die das dreidimensionale Windfeld einbezieht, kann man auch ersehen, aus welchem Höhenbereich die Luftmasse stammt.

Neben den in dem Bericht vorgestellten Analysen wurde eine spezielle, auf die Anforderungen Niedersachsens ausgerichtete Vorhersageseite auf der EURAD web site eingerichtet, die ein zusätzliches Chemogramm für Bösel, sowie tägliche Vorhersagen für Niedersachsen enthält (gezoomt aus N1). Der Betrieb dieser Seite wird derzeit noch aufrecht erhalten ([www.eurad.uni-koeln.de](http://www.eurad.uni-koeln.de)). Abbildung 2.6b zeigt ein Beispiel dazu aus jüngerer Zeit.

## MODELL-DESIGN FÜR SPURENSTOFF-VORHERSAGE

PROSYS\_EURAD\_N0

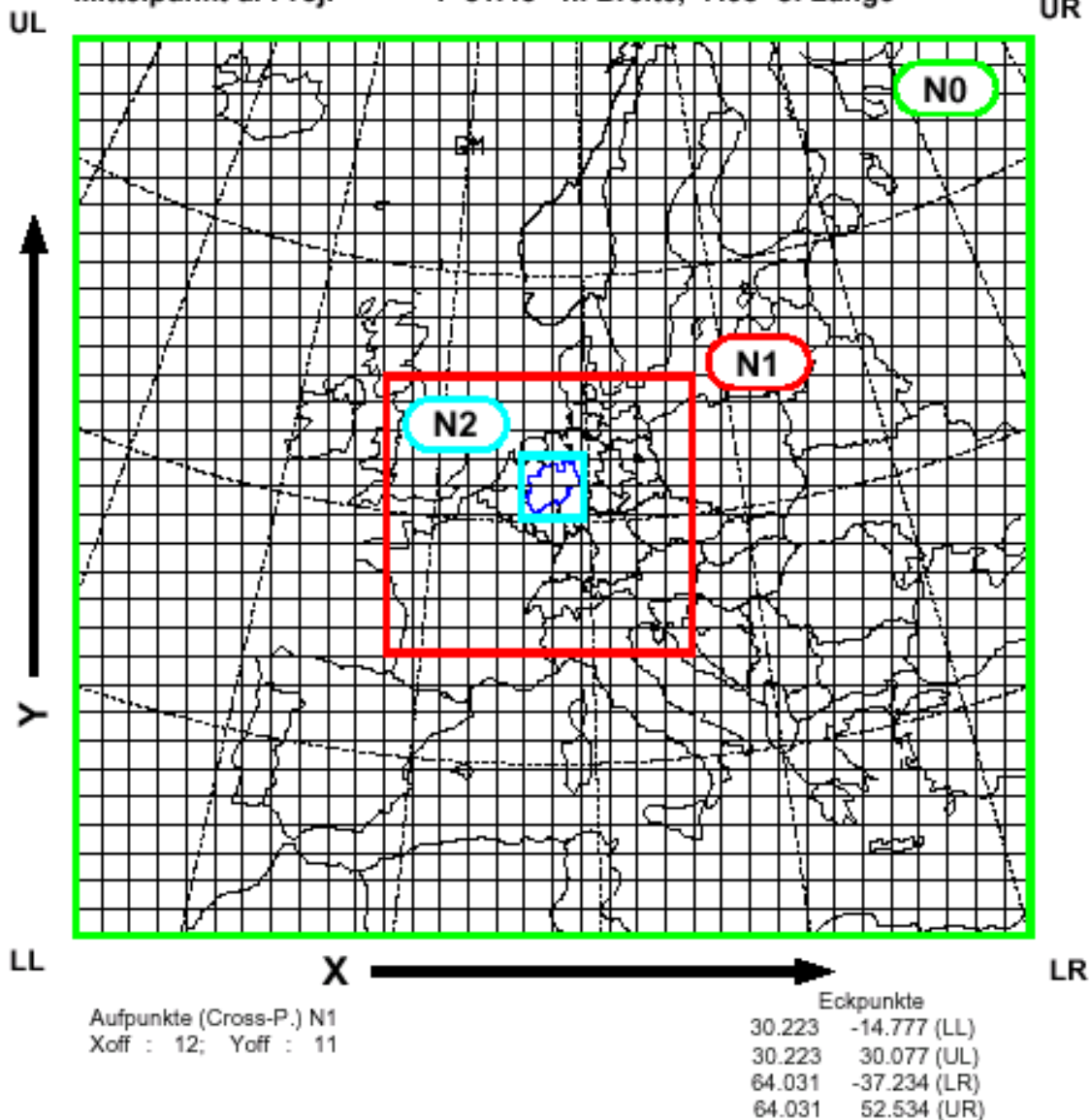
horizontale Gitterweite : ds = 125 km

Anzahl der Gitterpunkte : 34 x 32 (Cross-Punkte)

Fläche : 4250 x 4000 km\*\*2

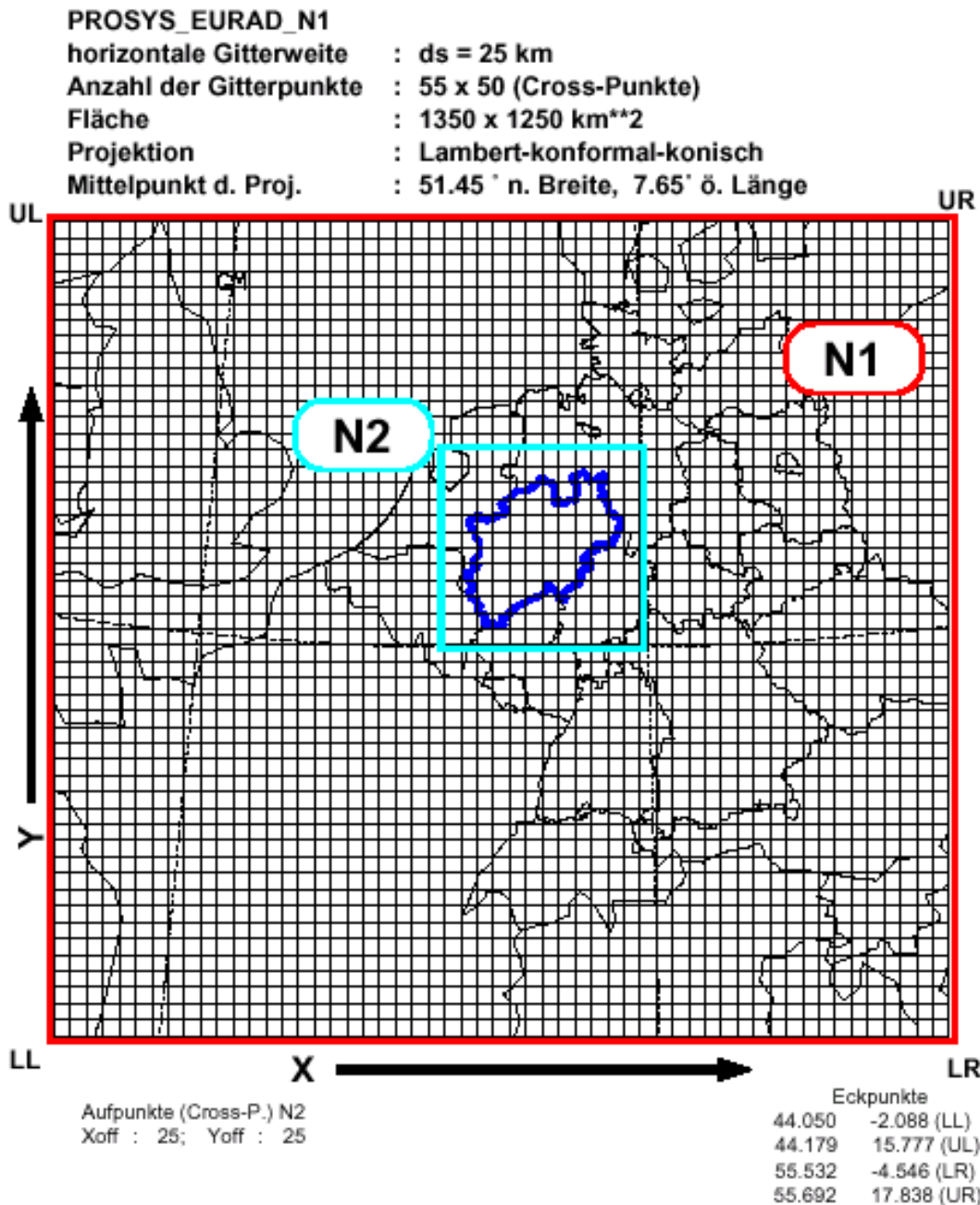
Projektion : Lambert-konformal-konisch

Mittelpunkt d. Proj. : 51.45 ° n. Breite, 7.65° ö. Länge

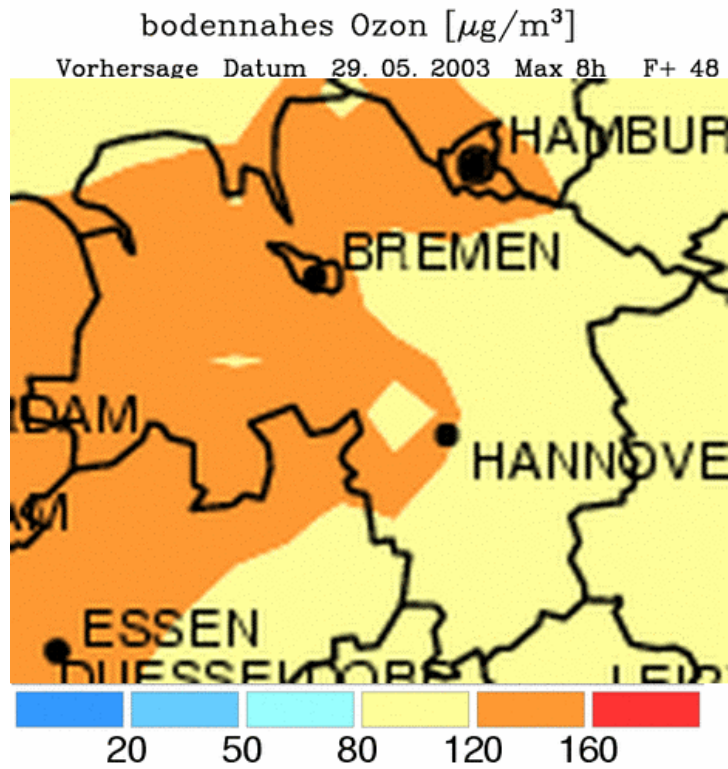


**Abbildung 2.5a:** Modellgebiete für die CT-Modellierung mit dem EURAD-Modellsystem bei der Spurenstoffvorhersage. Dargestellt ist das Modellgebiet für die europäische Skala (Gitterweite ds=125 km). Zusätzlich sind die Bereiche des Nest1 (Zentraleuropa/Deutschland, ds=25 km) und des Nest 2 (Nordrhein-Westfalen, ds=5 km) dargestellt. Nest N1 ist in der Abbildung 2.5b genauer gezeigt. Für die Arbeiten am FuE-Vorhaben MODMESS wurden Ergebnisse der Modellrechnung für N0 und vor allem N1 benutzt.

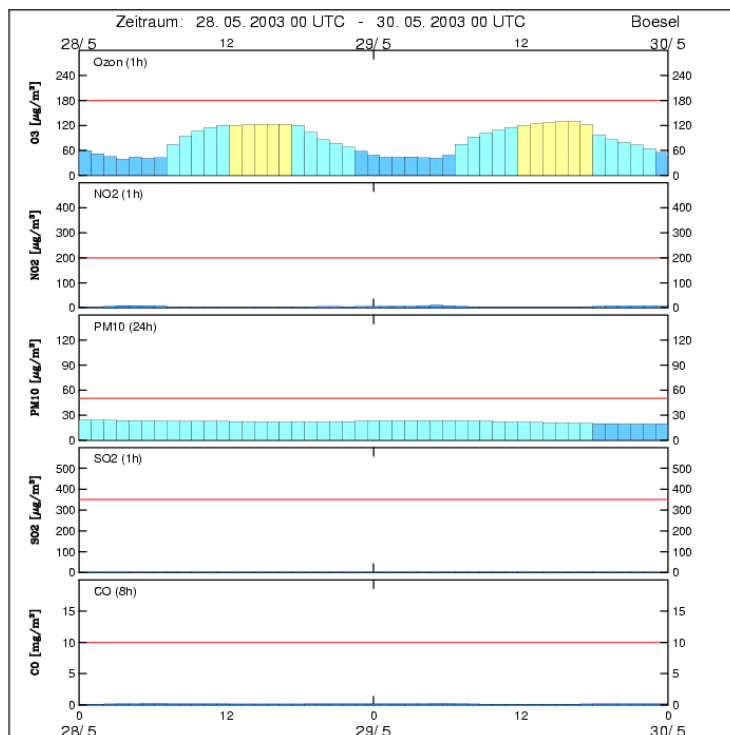
## MODELL-DESIGN FÜR SPURENSTOFF-VORHERSAGE



**Abbildung 2.5b:** N1-Gebiet für die CT-Modellierung mit dem EURAD-Modellsystem bei der Spurenstoffvorhersage (Gitterweite 25 km). Nest 1 stellt den ersten Zwischenschritt auf dem Weg zu noch höher aufgelösten Modellrechnungen dar. Im dem hier beschriebenen Vorhaben wurden jedoch die Ergebnisse für N1 verwendet, um die Messungen an den NLÖ-Stationen Bösel (BLWW) und Hannover-Linden (HLSW) modellgestützt zu analysieren. Auf der web-Seite von EURAD, [www.eurad.uni-koeln.de](http://www.eurad.uni-koeln.de), wurde eine spezielle NLÖ-Seite eingerichtet. Die dort gezeigten Ergebnisse basieren auf der N1-Rechnung. Siehe auch Abbildung 2.6a, b.



**Abbildung 2.6a:** Beispiel für die tägliche Vorhersage von Luftschadstoffen für Niedersachsen auf der Basis der N1-Rechnung mit dem EURAD-CTM. Die EURAD-web-Seite ist unter [www.eurad.uni-koeln.de](http://www.eurad.uni-koeln.de) verfügbar.



**Abbildung 2.6b:** Chemogramm für die NLO-Station Bösel für den 28.05.2003. Zweitagesprognose mit dem EURAD-CTM. Grundlage sind die Rechnungen für das N1-Gebiet. Die EURAD-web-Seite ist unter [www.eurad.uni-koeln.de](http://www.eurad.uni-koeln.de) verfügbar.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Vergleiche von Modellergebnissen und Messungen

Um sich einen ersten Überblick über den zeitlichen Verlauf der gemessenen und modellierten Spurenstoffkonzentrationen zu verschaffen, wird der zeitliche Verlauf der Konzentrationen von PM<sub>10</sub> und Ozon an den beiden Messstationen Bösel und Hannover-Linden grafisch dargestellt. Um die Darstellung übersichtlich zu halten werden die Tagesmittelwerte und –maxima gezeigt. Für ausgewählte Episoden mit hoher Schadstoffbelastung wird der zeitliche Verlauf auch mit einer Auflösung von 1 Stunde wochenweise dargestellt. Neben den hier gezeigten Grafiken finden sich alle berechneten Spurenstoffwerte in stündlicher Auflösung für CO, SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, NH<sub>3</sub> und Ozon sowie die Aerosolbestandteile NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> und SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> grafisch und als Zahlenwerte auf der diesem Bericht beiliegenden CD. Der Schwerpunkt der Diskussion wird auf die Partikelkonzentration gelegt, da der Grenzwert der EU-Rahmenrichtlinie 99/30 von 50 µg/m<sup>3</sup> als Tagesmittelwert bei PM<sub>10</sub> in dem betrachteten Zeitraum häufiger überschritten wird, während Überschreitungen eines Stundenwertes von 180 µg/m<sup>3</sup> bei Ozon im Zeitraum vom 26.07.2002 – 31.03.2003 nicht vorkamen.

##### PM<sub>10</sub>, 2002, Abbildung 3.1.1

Die Zeitreihenvergleiche zeigen im Wesentlichen eine gute Übereinstimmung mit den Messungen an den NLÖ-Stationen Bösel und Hannover-Linden. Auffällig ist allerdings die Unterschätzung von PM<sub>10</sub> im Monat August. Die Unterschätzung von PM<sub>10</sub> in den Sommermonaten zeigte sich schon bei den Rechnungen, die für das Landesumweltamt NRW im Rahmen des FuE-Vorhabens ANABEL für das Jahr 1997 durchgeführt wurden (Friese et al, 2002). Europaweit zeigt sich eine Unterschätzung von berechneten und gemessenen PM<sub>10</sub>-Werten ebenfalls vorwiegend im Sommer, besonders deutlich jedoch in Spanien. Dies gilt nicht nur für das EURAD-Modell, sondern auch für andere regionale Modellsysteme (z. B.: EMEP; Tsyro, 2002). Als mögliche Erklärung bietet sich die fehlende Berücksichtigung der windinduzierten Aufwirbelung von Staub an, die im Sommer besonders bei trockenen Verhältnissen und erhöhter Turbulenz möglicherweise eine wesentliche Rolle spielt. Aufwirbelung von Staub wird derzeit in den meisten regionalen Modellsystemen für Europa, die vor allem auf die Berechnung der anthropogen verursachten Belastung der Luftqualität ausgelegt sind, noch nicht berücksichtigt.

Bei den gemessenen PM<sub>10</sub>-Werten treten im August und September 2002 immer wieder hohe Werte auf (verwendet wurden die mit XPM<sub>10</sub> gekennzeichneten Werte der NLÖ-Stationen Bösel und Hannover-Linden). Die Maxima der stündlichen Werte sind besonders im September hoch, obwohl die Tagesmittel vergleichsweise niedrig liegen. Es handelt sich dabei teilweise um Einzelereignisse mit hohen Konzentrationswerten, die nur kurzfristig für einige Stunden auftreten. Dies legt eine lokale Ursache nahe. Hohe PM<sub>10</sub>-Werte traten weiterhin Ende September/Anfang Oktober, Ende Oktober/Anfang November (Bösel) und Mitte Dezember auf. Die Episode erhöhter PM-Konzentrationen Mitte Dezember 2002 wurde für eine genauere Betrachtung ausgewählt (siehe Abschnitt 3.2.2).

Die relativ hohen gemessenen Werte im August und September, die möglicherweise stark lokal geprägt sind, werden bei den Modellrechnungen weniger gut wiedergegeben. Ab September bessert sich die Übereinstimmung zwischen berechneten und gemessenen Werten deutlich, auch wenn die Tagesmaxima in der Modellrechnung meist niedriger ausfallen als bei



der Messung. Dies ist jedoch bei einem Vergleich von Messungen an Stationen, die durch lokale Gegebenheiten in einer eher urbanen Umgebung geprägt sind, mit Ergebnissen einer Modellrechnung auf einem Gitter mit einer Maschenweite von 25 km auch zu erwarten. Lokale Emissionsquellen sind in einem auf europäische Verhältnisse ausgelegten Emissionskataster in ihrer räumlichen Verteilung und ihrem zeitlichen Verlauf nicht so gut zu erfassen wie bei einer Modellrechnung denen ein lokal verfügbares Emissionskataster mit hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung zu Grunde liegt. Meist sind die lokal verfügbaren Kataster auch aktueller und zeitnäher am Zeitpunkt der Prognose. Berücksichtigt man diese Einschränkungen, die naturgemäß in der relativ groben horizontalen Auflösung und den Lücken des Emissionskatasters liegen, erscheinen die Unterschiede zwischen den Messungen und den Modellrechnungen für  $PM_{10}$  in den Monaten Oktober, November und Dezember erstaunlich gering.

### **Ozon, 2002, Abbildung 3.1.2**

Sowohl in Bösel wie in Hannover-Linden zeigen die berechneten Tagesmittelwerte und –maxima von September bis Dezember 2002 eine gute Übereinstimmung mit den gemessenen Werten. Im August werden vor allem die Werte in Hannover-Linden vom Modell überschätzt. Dies gilt für die Tagesmittelwerte von Ozon auch in Bösel, die Ozonmaxima werden jedoch in Bösel auch im August gut von der Modellrechnung wiedergegeben. Konzentrationen von mehr als  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  werden allerdings weder in der Messung noch in der Modellrechnung überschritten. Als Beispiel für eine Ozonepisode, die im Kapitel 3.2 genauer untersucht werden wird, wurde der 6. – 12. September 2002 ausgewählt (siehe auch Abschnitt 3.2.1). Diese Episode ist die einzige sommerliche Episode, die in diesem Bericht behandelt wird. Die Jahreszeit ist zu diesem Zeitpunkt zwar schon recht weit fortgeschritten, jedenfalls im Hinblick auf Photo-Oxidantien-Bildung, aber es wurden Ozonmaxima von etwa  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  erreicht und damit ähnliche Werte wie im August. Auch die  $PM_{10}$ -Werte lagen Anfang September 2002 relativ hoch.

### **$NO_2$ und $NO$ , 2002; Abbildungen 3.1.3, 3.1.4**

Bei  $NO_2$  ist die Übereinstimmung von Modellrechnung und Messungen auch wieder von Oktober bis Dezember an den NLÖ-Stationen Bösel und Hannover-Linden recht gut mit einer Tendenz zur Überschätzung der gemessenen  $NO_2$ -Konzentrationen in Bösel im Dezember 2002 durch das Modell. Im August und September werden vor allem in Bösel die  $NO_2$ -Werte vom Modell deutlich unterschätzt. Hohe gemessene und berechnete  $NO_2$ -Werte treten, wie bei  $PM_{10}$ , Ende September/Anfang Oktober, Ende Oktober/Anfang November und Mitte Dezember auf. Eine Erklärung für die Unterschiede zwischen Messung und Modellrechnung im August, teilweise auch im September, gibt es zurzeit noch nicht. Allerdings ist auffällig, dass die Unterschätzung von  $NO_2$  durch das Modell mit einer Überschätzung von Ozon einhergeht. Die  $O_x$ -Werte ( $O_x = O_3 + NO_2$ ) des Modells stimmen wesentlich besser mit der Messung überein. Die großen Abweichungen in Bösel im Sommer sind möglicherweise durch die im Vergleich zum Modell relativ hohe Emissionsdichte an der Station bedingt, die in einem 25 km Raster nicht wiedergegeben werden kann. In Hannover gelingt dies wegen der Größe der Stadt möglicherweise besser. (Spekulation: Inwieweit das so genannte  $NO_{\text{what}}$ -Problem bei der Messung eine Rolle spielt, könnte evtl. in die Überlegungen mit einbezogen werden. Statt  $NO_2$  wird  $NO_y$  ( $= HNO_3 + \dots$ ) mit gemessen; davon ist im Sommer mehr vorhanden als im Winter ?).

Zusätzlich ist noch NO in Abbildung 3.1.4 dargestellt. Bei dieser primär emittierten Komponente ist grundsätzlich damit zu rechnen, dass für urbane, verkehrsnahen Stationen die Messungen höher liegen als berechnete Werte an einem 25 km Raster. Dies zeigt Abbildung 3.1.4 deutlich, allerdings sind die berechneten Werte zwar niedriger als die Messungen, aber dennoch sind gemessene und berechnete Konzentrationen relativ gut korreliert.

### **SO<sub>2</sub>, 2002, Abbildung 3.1.5**

Der Vollständigkeit halber sind noch die Ergebnisse der Modellrechnung für SO<sub>2</sub> dargestellt. Messungen lagen zum Zeitpunkt des Berichtes nicht vor. In den Modellrechnungen ergeben sich sehr hohe SO<sub>2</sub>-Werte im Dezember bei einer durch Hochdruckeinfluss dominierten winterlichen Wetterlage mit östlichen Winden. Derart hohe SO<sub>2</sub>-Konzentrationen werden derzeit nicht mehr gemessen (Internet Recherche der Autoren während dieser Episode). Damit erhärtet sich die Vermutung, dass die SO<sub>2</sub>-Emissionen in Osteuropa, die derzeit verwendet werden zu hoch sind und der Korrektur bedürfen. Es fällt allerdings auf, dass die erhöhten berechneten SO<sub>2</sub>-Werte mit den hohen (gemessenen) PM<sub>10</sub>-Werten zusammenfallen. Zur Emissionsproblematik siehe auch SO<sub>2</sub>, 2003 (nächste Seite).

### **PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, 2003; Abbildungen 3.1.6, 3.1.7, 3.1.8**

Für das erste Quartal des Jahres 2003 zeigen sich erhöhte PM<sub>10</sub>-Werte vor allem Mitte Februar, Ende Februar/Anfang März und Ende März. Tendenziell zeigen auch die Modellergebnisse einen Anstieg der PM<sub>10</sub>-Werte während dieser Episoden, erreichen jedoch die gemessenen Werte meist nicht. Allerdings werden Tagesmittelwerte von 50 µg/m<sup>3</sup> auch bei der Modellrechnung während Episoden mit erhöhten PM-Konzentrationen deutlich an mehreren Tagen übertroffen. In der Episode Ende Februar/Anfang März 2003 traten vor allem in Hannover-Linden Anfang März deutliche Unterschiede in der Modellrechnung und der Messung auf. Die Übereinstimmung von berechneten und gemessenen Werten wird bei Verwendung von PM<sub>10</sub> (statt XPM<sub>10</sub>) deutlich besser. Erfreulich gut ist die Übereinstimmung von Modellergebnissen und Messung in Hannover-Linden für PM<sub>2,5</sub>. Erstaunlicherweise treten bei PM<sub>2,5</sub> in Hannover-Linden die großen Differenzen, die sich dort bei PM<sub>10</sub> ergeben hatten, so nicht auf. Eine Erklärung gibt es dafür bisher nicht. Die gute Übereinstimmung der gemessenen und berechneten PM<sub>2,5</sub>-Werte ist insofern erfreulich, da das FuE-Vorhaben MODMESS erstmals die Möglichkeit eröffnete, die berechneten PM<sub>2,5</sub>-Werte des EURAD-Prognosesystems mit gemessenen Konzentrationen zu vergleichen. Außer bei sehr hohen Messwerten Anfang Januar war die Übereinstimmung während der ersten drei Monate des Jahres 2003 sehr gut, wenn man die relativ grobe Auflösung und die Lücken im Emissionskataster gerade bei Partikeln berücksichtigt.

### **O<sub>3</sub>, 2003, Abbildung 3.1.9**

Der Jahreszeit entsprechend lagen die Ozonspitzenwerte niedrig, gegen Ende des Monats kam es allerdings zu einem deutlichen Anstieg im Bereich eines Hochdruckgebietes, das Ende März die meteorologische Situation über Mitteleuropa deutlich beeinflusste. Die bereits deutlich erhöhte Sonnenscheindauer führte zu gemessenen Ozonwerten von fast 150 µg/m<sup>3</sup>. Die berechneten Werte steigen zwar auch deutlich an, blieben jedoch etwas hinter den gemessenen Werten zurück.

### **NO<sub>2</sub>, NO, 2003, Abbildung 3.1.10, 3.1.11**

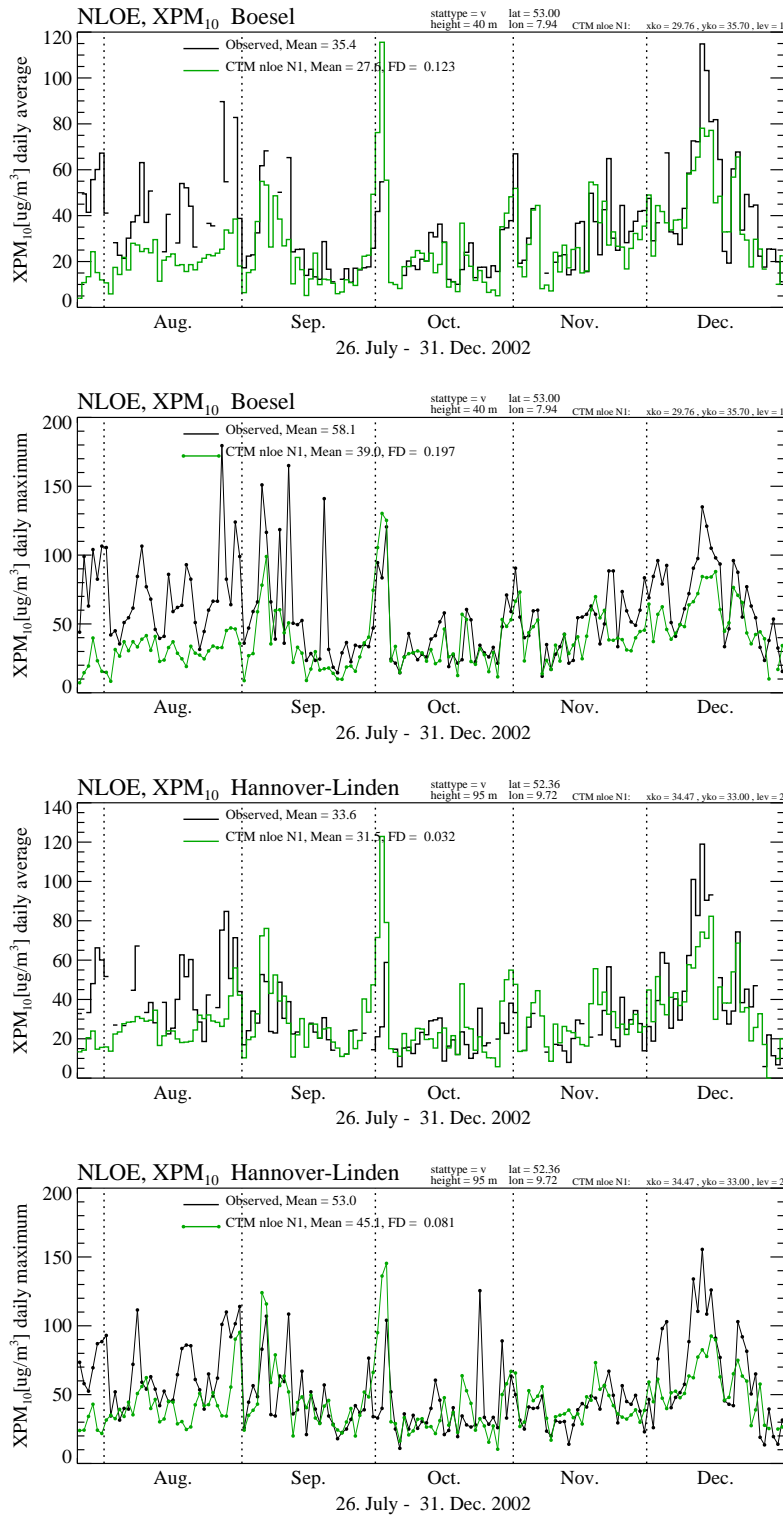
Im Januar und Februar zeigt sich eine gute Übereinstimmung von gemessenen und berechneten NO<sub>2</sub>-Konzentrationen. Im März neigt das Modell dazu, in Hannover-Linden die gemessenen Werte zu unterschätzen. Episoden mit hoher NO<sub>2</sub>-Belastung fallen erwartungsgemäß weitgehend mit Zeiten hoher PM-Belastung zusammen. Anfang März, als hohe PM<sub>10</sub>-Werte in Verbindung mit relativ niedrigen PM<sub>2.5</sub> Konzentrationen gemessen wurden, treten auch keine außergewöhnlich hohen Werte für NO<sub>2</sub> auf. Damit „passt“ der gemessene NO<sub>2</sub>-Verlauf eher zu den gemessenen PM<sub>2.5</sub> Werten und auch eher zu den Ergebnissen der Modellrechnung als PM<sub>10</sub>. Anders als im August 2002 werden sowohl NO<sub>2</sub> wie auch Ozonwerte vom Modell im März unterschätzt, also liegt auch der berechnete O<sub>x</sub>-Wert (NO<sub>2</sub> + O<sub>3</sub>) deutlich niedriger als die Messungen.

### **SO<sub>2</sub>, 2003, Abbildung 3.1.12**

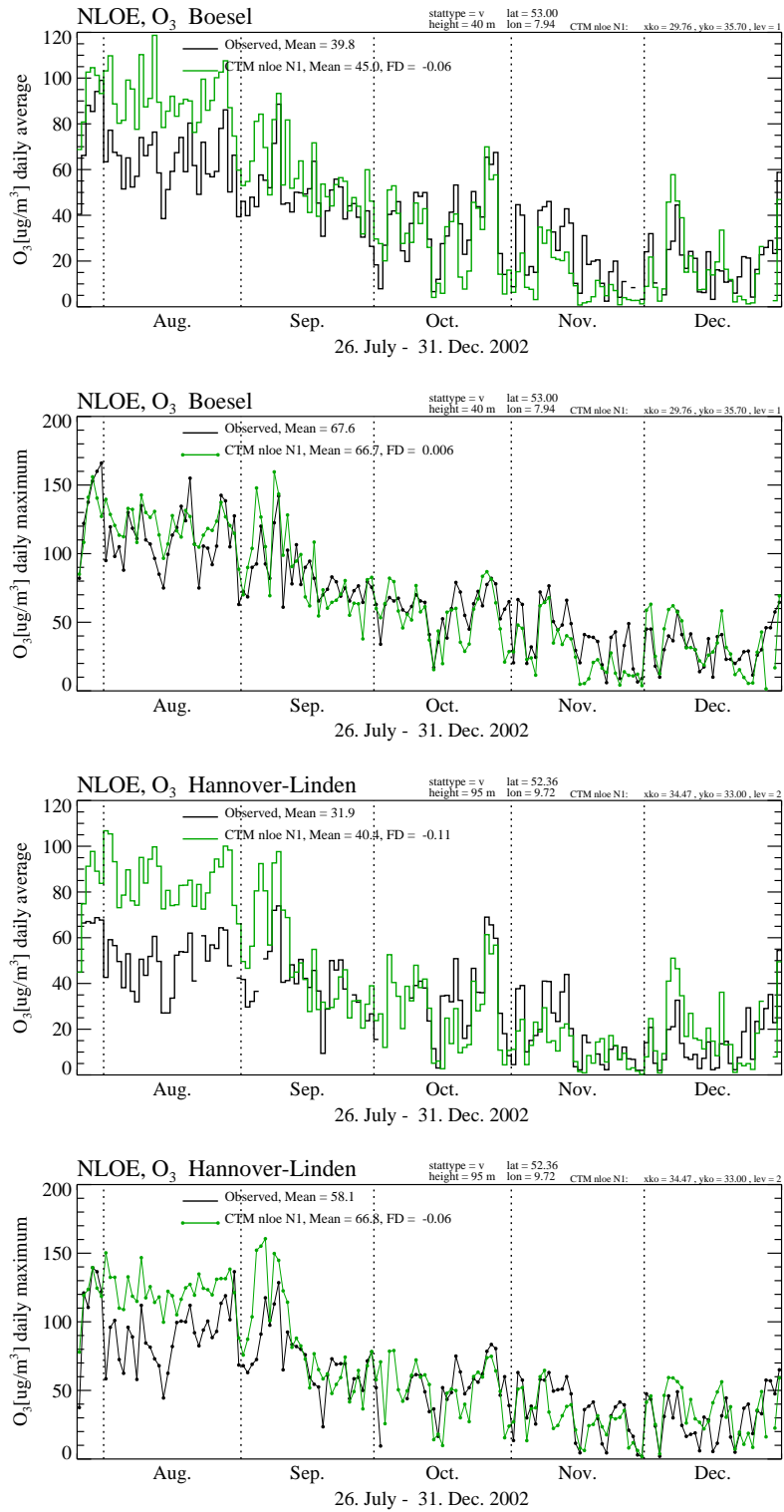
Für das erste Quartal des Jahres 2003 lagen an den NLÖ-Stationen Hannover-Linden und Bösel auch SO<sub>2</sub>-Messungen vor. Der Vergleich mit den vom Modell berechneten Werten zeigt eine deutliche Überschätzung der gemessenen Spitzenkonzentrationen, die vor allem bei Ferntransport aus Osteuropa auftreten. Dies legt den Schluss nahe, dass die SO<sub>2</sub>-Emissionen, die derzeit für die EURAD-Prognose verwendet werden, in Osteuropa überschätzt werden. Dazu noch einige Anmerkungen: Bei der Einbindung von Emissionen, ob europaweit oder lokal, ist das EURAD-Prognosesystem auf den Zugriff verfügbarer Daten angewiesen, die noch in eine Form gebracht werden müssen, die die Verwendung im EURAD-System gestatten. Dies betrifft in der Regel die räumliche und zeitliche Auflösung sowie die chemischen Konstituenten, die für die Behandlung der im EURAD-Modell realisierten chemischen Reaktionssysteme benötigt werden. Bei den Basisdaten wird in der Regel auf EMEP-Daten zugegriffen, die nur als Jahreswerte vorliegen und nicht zeitaktuell sein können. Dies bedeutet, dass die verwendeten E-Kataster häufig auf einem Stand sind, der aus einer Zeit stammt, die einige Jahre zurückliegt. Hinzu kommt, dass selbst E-Daten von EMEP, die sich auf ein bestimmtes Referenzjahr beziehen, auch ältere Daten enthalten können, die sogar aus einer Zeit stammen können, die vor dem Referenzjahr liegt. Die daraus resultierenden Probleme können durch die Betreiber eines Modellsystems wie EURAD nicht ohne weiteres gelöst werden.

### **Zusammensetzung der Partikel: Nitrat (NO<sub>3</sub>A), Ammonium (NH<sub>4</sub>A) und Sulfat (SO<sub>4</sub>A) Abbildungen 3.1.13 – 3.1.16**

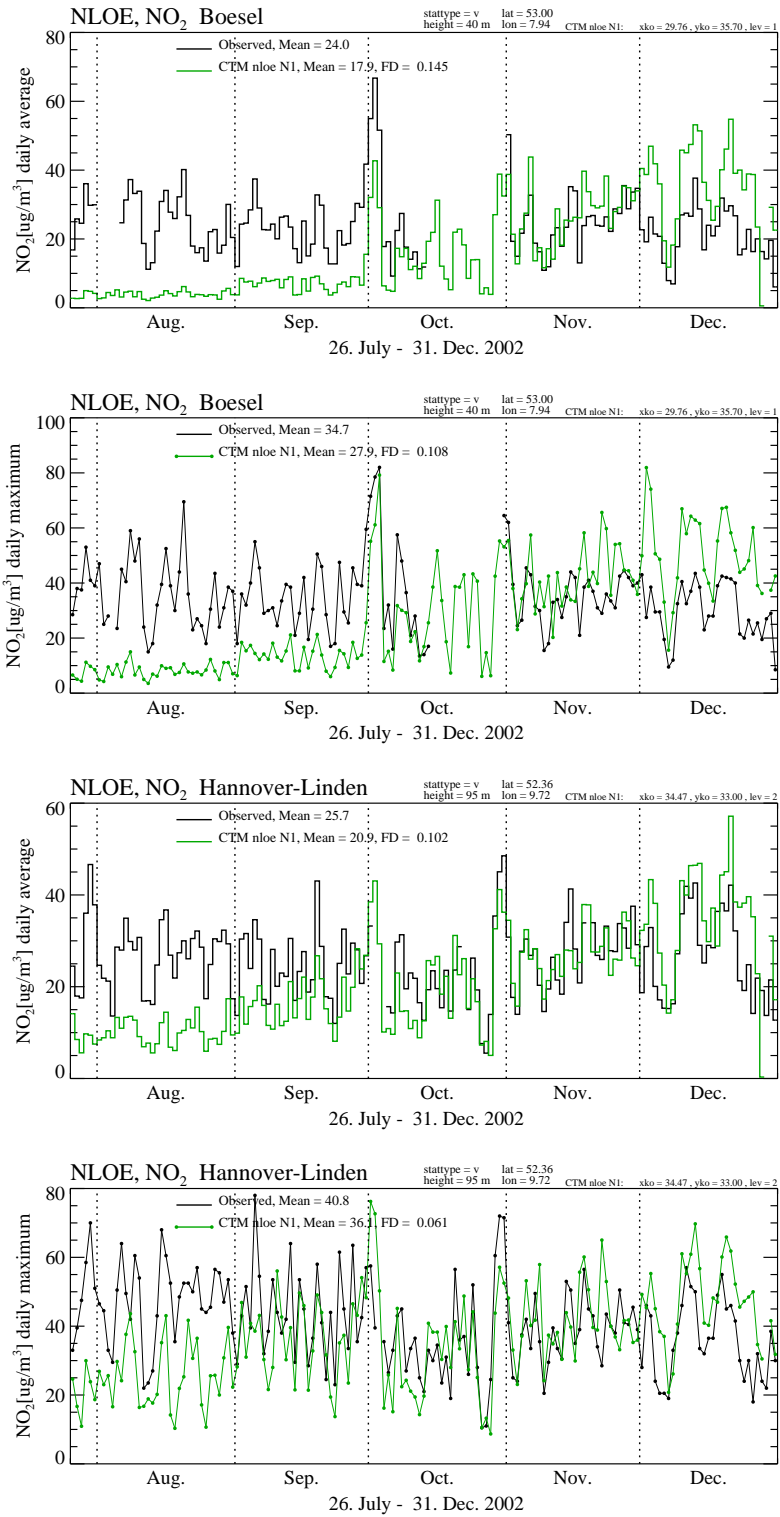
In den Abbildungen 3.1.13 bis 3.1.16 sind, zusammen mit der PM<sub>10</sub>-Konzentration, die Beiträge von Nitrat, Ammonium und Sulfat zur Partikelmasse dargestellt (auf der Basis der Modellrechnungen, Messungen zum Vergleich fehlen hier). Im Winter tragen Nitrat und Ammonium einen wesentlichen Teil zur Partikelmasse bei, offenbar spielt Sulfat im Sommer bei erhöhter photochemischer Aktivität eine größere Rolle – dies zeigt sich auch bereits Ende März 2003 als erstmals im Jahr 2003 wieder eine deutlicher Anstieg der Ozonwerte in Hannover und Bösel zu beobachten war. Die Frage, ob sich die Tendenzen der hier festgestellten Unterschiede zwischen Sommer- und Winterhalbjahr durch längere Zeitreihen bestätigen lassen, muss hier zunächst offen bleiben. Eine entsprechende Auswertung der Zeitreihen für das Jahr 2003 könnte dies zeigen.



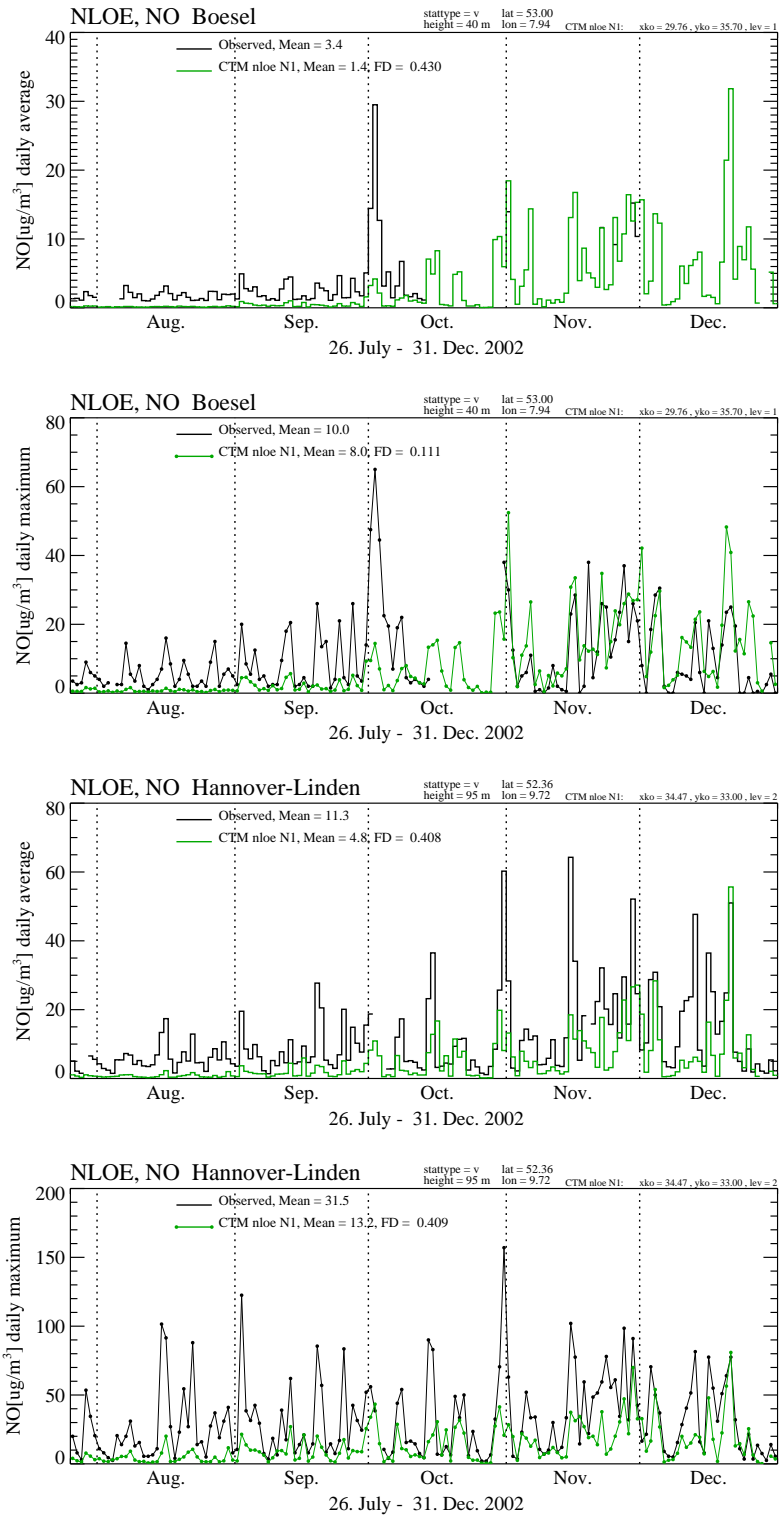
**Abbildung 3.1.1:** Vergleich von gemessenen (schwarz) und berechneten (grün) XPM<sub>10</sub>-Massenkonzentrationen (µg/m<sup>3</sup>) in Bösel und Hannover-Linden. Oberste und dritte Abbildung zeigen die Tagesmittelwerte für Bösel (BLWW) bzw. Hannover-Linden (HRSW), die zweite und unterste Abbildung die Tagesmaxima (auf der Basis stündlicher Werte), ebenfalls für Bösel und Hannover-Linden. Die Bilder umfassen den Zeitraum vom 26.07. – 31.12.2002. Man beachte, dass die y-Achse je nach Kurvenverlauf unterschiedlich skaliert ist.



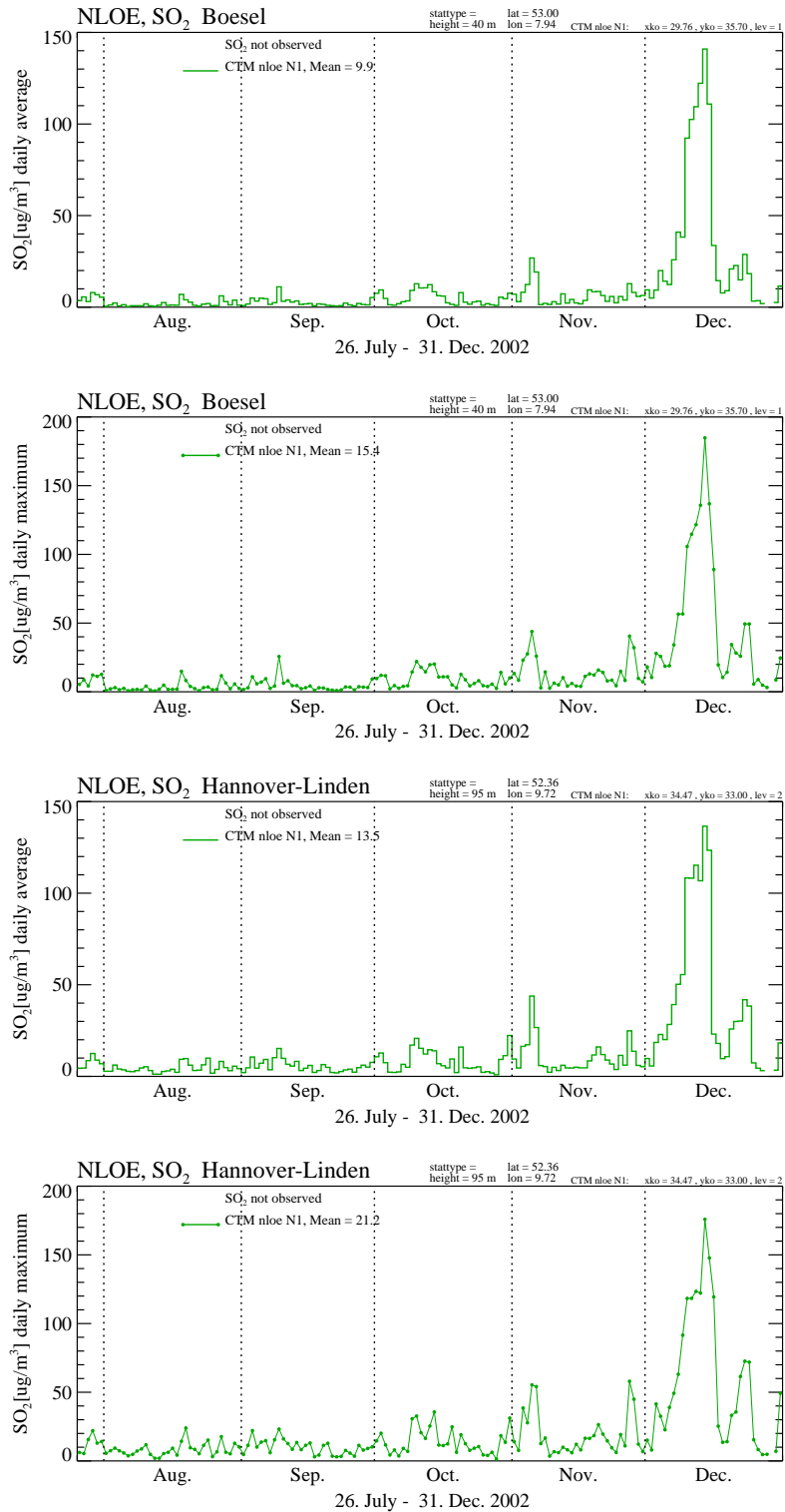
**Abbildung 3.1.2:** Vergleich von gemessenen (schwarz) und berechneten (grün) O<sub>3</sub>-Massenkonzentrationen (µg/m<sup>3</sup>) in Bösel und Hannover-Linden. Oberste und dritte Abbildung zeigen die Tagesmittelwerte für Bösel bzw. Hannover-Linden, die zweite und unterste Abbildung die Tagesmaxima (auf der Basis stündlicher Werte), ebenfalls für Bösel und Hannover-Linden. Die Bilder umfassen den Zeitraum vom 26.07. – 31.12.2002.



**Abbildung 3.1.3:** Vergleich von gemessenen (schwarz) und berechneten (grün) NO<sub>2</sub>-Massenkonzentrationen ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) in Bösel und Hannover-Linden. Oberste und dritte Abbildung zeigen die Tagesmittelwerte für Bösel bzw. Hannover-Linden, die zweite und unterste Abbildung die Tagesmaxima (auf der Basis stündlicher Werte), ebenfalls für Bösel und Hannover-Linden. Die Bilder umfassen den Zeitraum vom 26.07. – 31.12.2002.

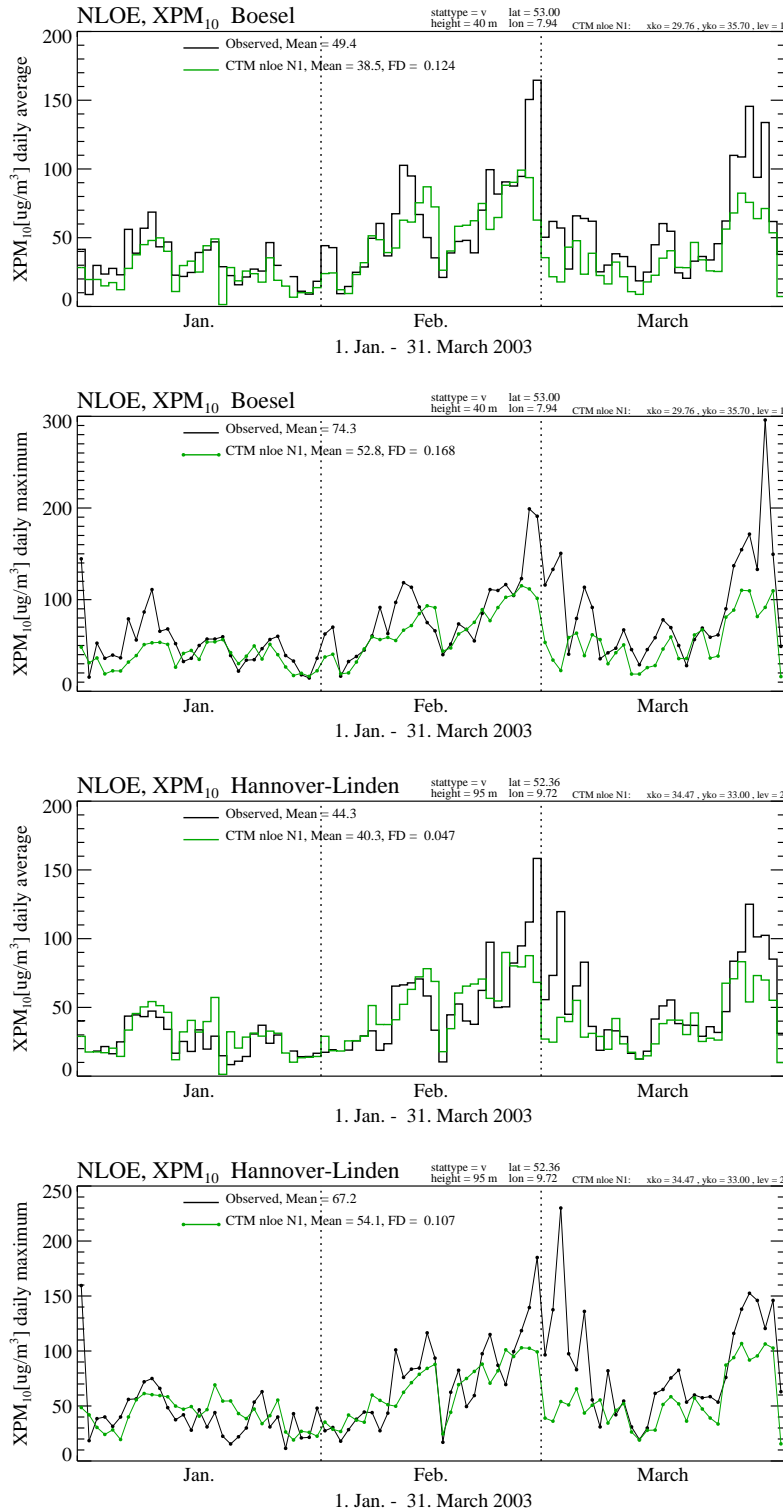


**Abbildung 3.1.4:** Vergleich von gemessenen (schwarz) und berechneten (grün) NO-Massenkonzentrationen ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) in Bösel und Hannover-Linden. Oberste und dritte Abbildung zeigen die Tagesmittelwerte für Bösel bzw. Hannover-Linden, die zweite und unterste Abbildung die Tagesmaxima (auf der Basis stündlicher Werte), ebenfalls für Bösel und Hannover-Linden. Die Bilder umfassen den Zeitraum vom 26.07. – 31.12.2002.

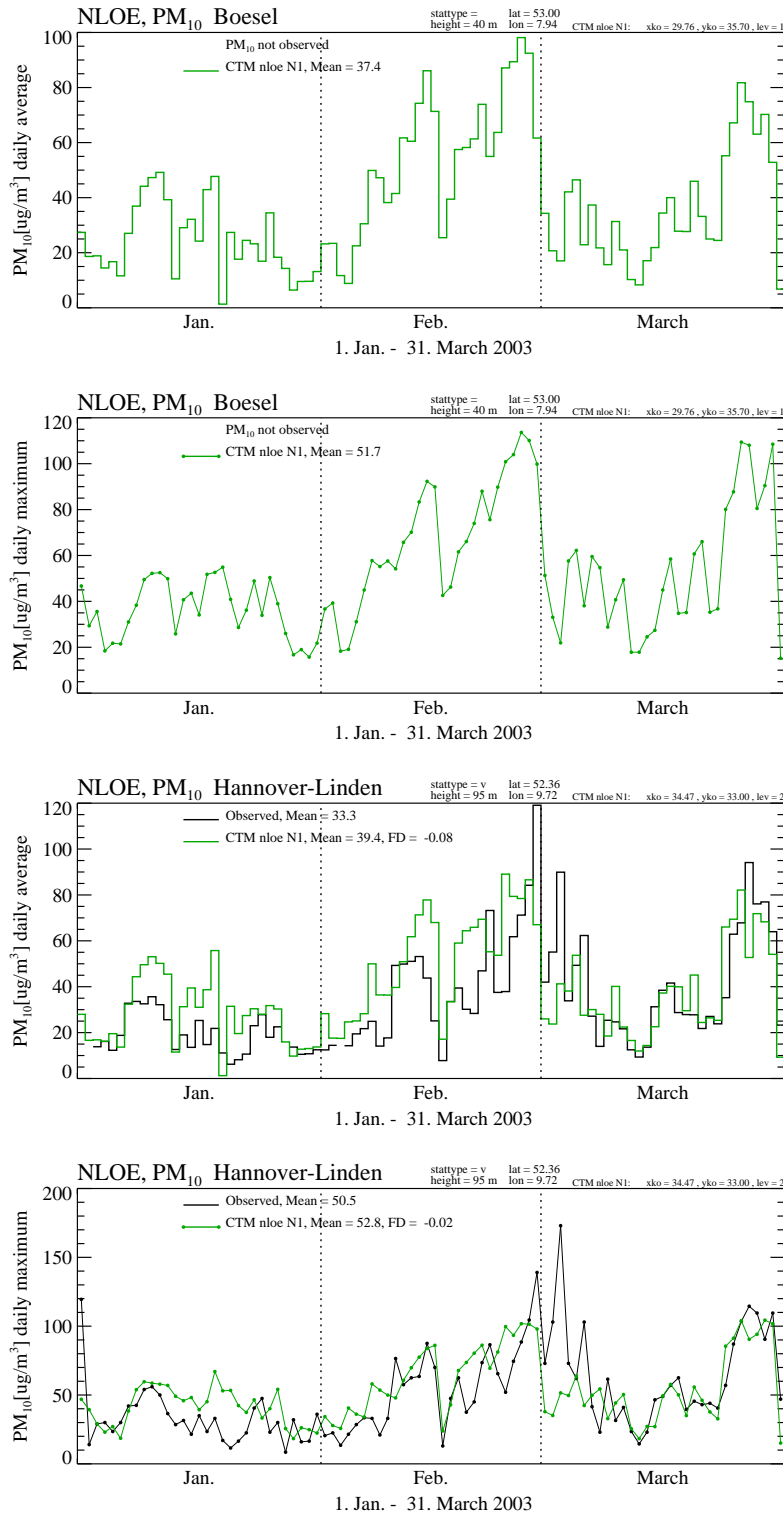


**Abbildung 3.1.5:** Berechnete (grün) SO<sub>2</sub>-Massenkonzentrationen (µg/m<sup>3</sup>) in Bösel und Hannover-Linden. Oberste und dritte Abbildung zeigen die Tagesmittelwerte für Bösel bzw. Hannover-Linden, die zweite und unterste Abbildung die Tagesmaxima (auf der Basis stündlicher Werte), ebenfalls für Bösel und Hannover-Linden. Die Bilder umfassen den Zeitraum vom 26.07. – 31.12.2002. Im Dezember traten bei Ostwind in der Modellrechnung sehr hohe SO<sub>2</sub>-Konzentrationen auf. Messwerte lagen zum Zeitpunkt der Berichterstellung nicht vor. Emissionsproblematik siehe Text und Abbildung 3.1.12 (SO<sub>2</sub> für 2003).

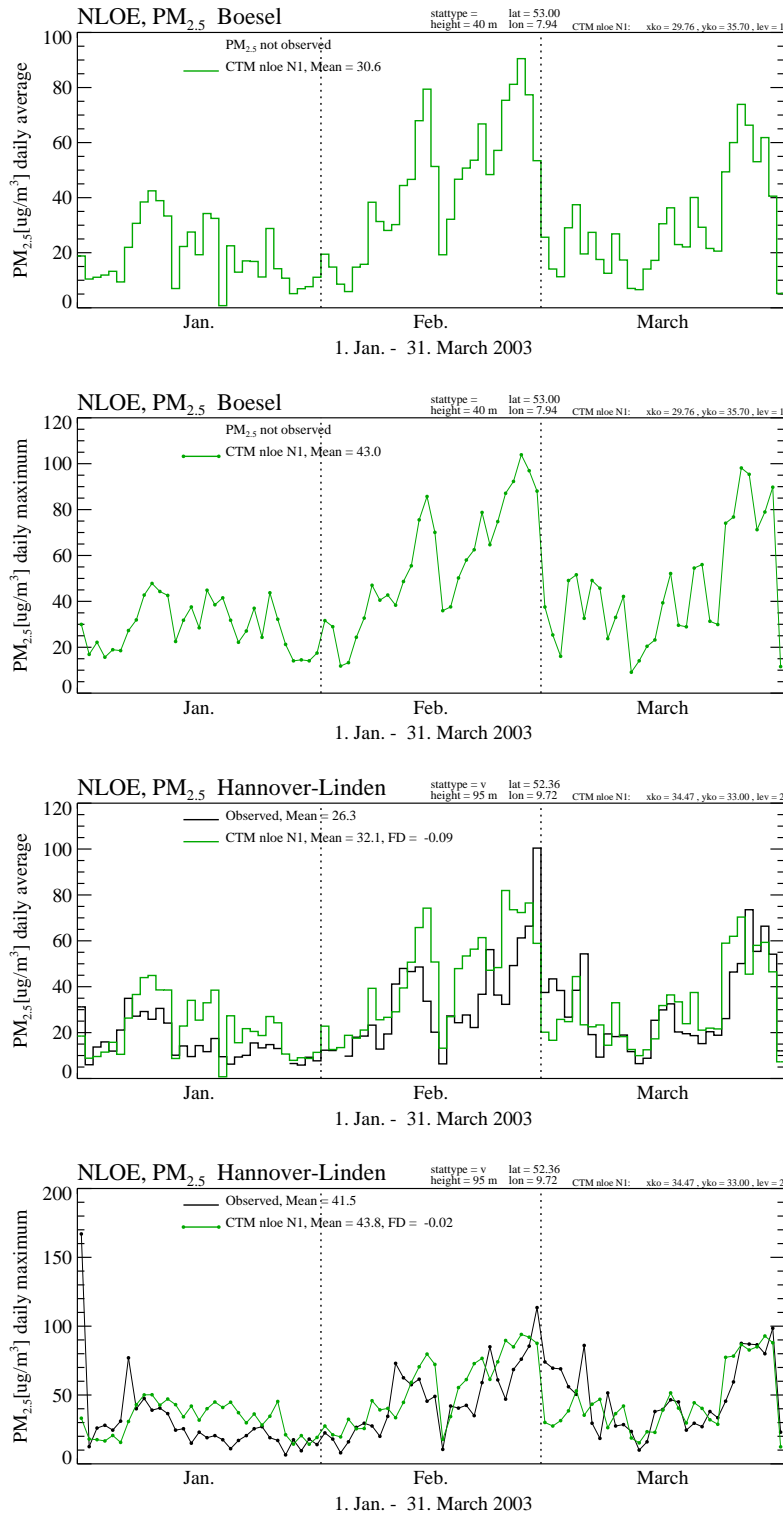




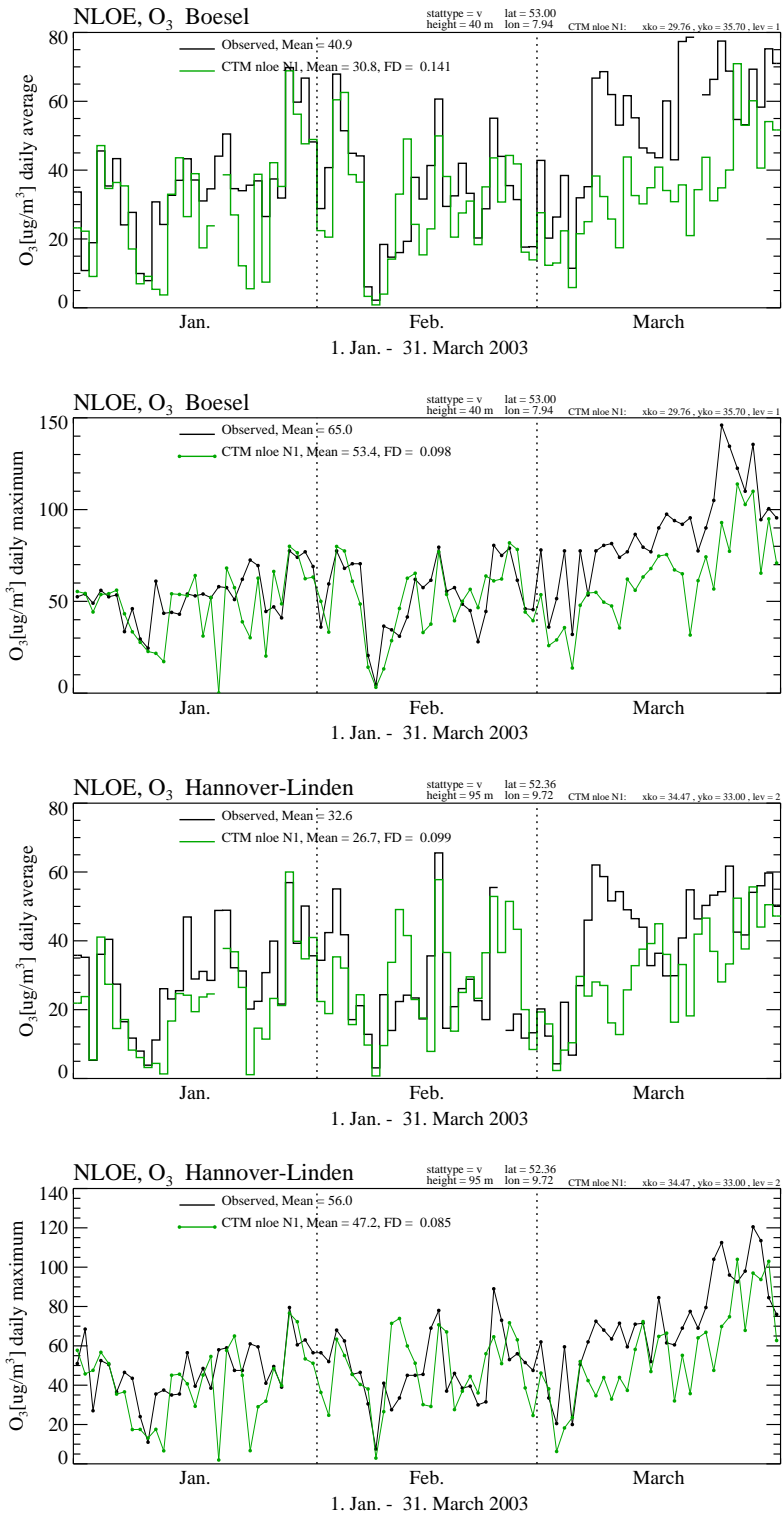
**Abbildung 3.1.6:** Vergleich von gemessenen (schwarz) und berechneten (grün) XPM<sub>10</sub>-Massenkonzentrationen (µg/m<sup>3</sup>) in Bösel und Hannover-Linden. Oberste und dritte Abbildung zeigen die Tagesmittelwerte für Bösel bzw. Hannover-Linden, die zweite und unterste Abbildung die Tagesmaxima (auf der Basis stündlicher Werte), ebenfalls für Bösel und Hannover-Linden. Die Bilder umfassen den Zeitraum vom 01.01. – 31.03.2003. Die Spitzenkonzentration vom PM<sub>10</sub>, die Anfang März in Hannover auftritt, ist in Bösel geringer ausgeprägt und zeigt sich bei PM<sub>2,5</sub> in Hannover kaum.



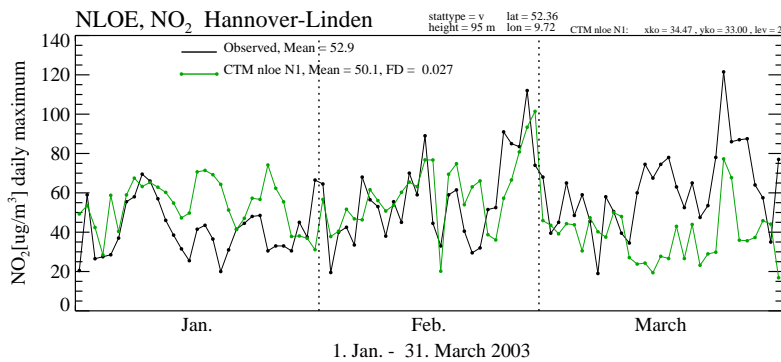
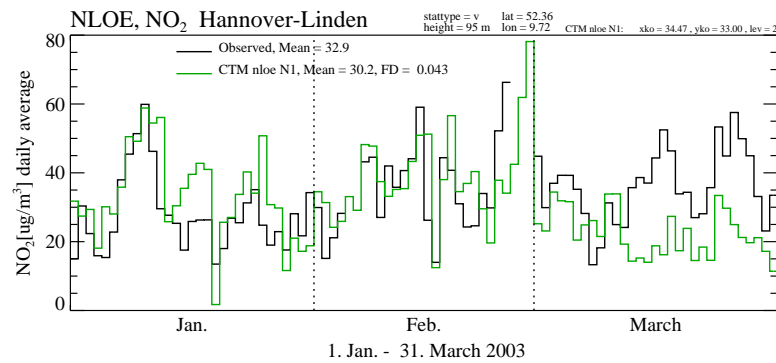
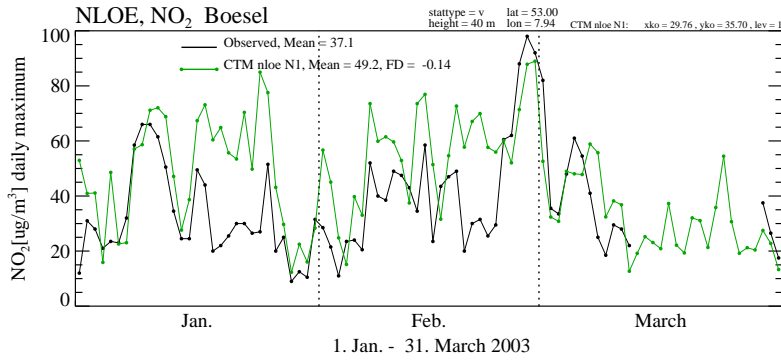
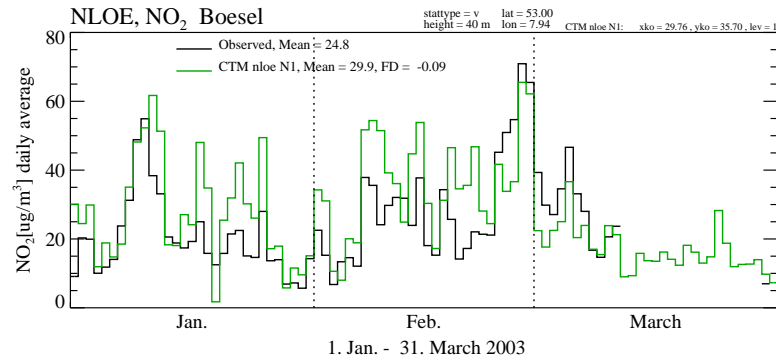
**Abbildung 3.1.7:** Vergleich von gemessenen (schwarz) und berechneten (grün) PM<sub>10</sub>-Massenkonzentrationen (µg/m<sup>3</sup>) in Bösel und Hannover-Linden. Oberste und dritte Abbildung zeigen die Tagesmittelwerte für Bösel bzw. Hannover-Linden, die zweite und unterste Abbildung die Tagesmaxima (auf der Basis stündlicher Werte), ebenfalls für Bösel und Hannover-Linden. Die Bilder umfassen den Zeitraum vom 01.01. – 31.03.2003. Die PM<sub>10</sub>-Werte liegen etwa bei 75% der XPM<sub>10</sub>-Werte und damit auch wesentlich näher an den vom EURAD-Modell berechneten Massenkonzentrationen. Bis auf die sehr hohen Konzentrationen Anfang März 2003 werden die gemessenen PM<sub>10</sub>-Werte von den Modellrechnungen recht gut wiedergegeben.



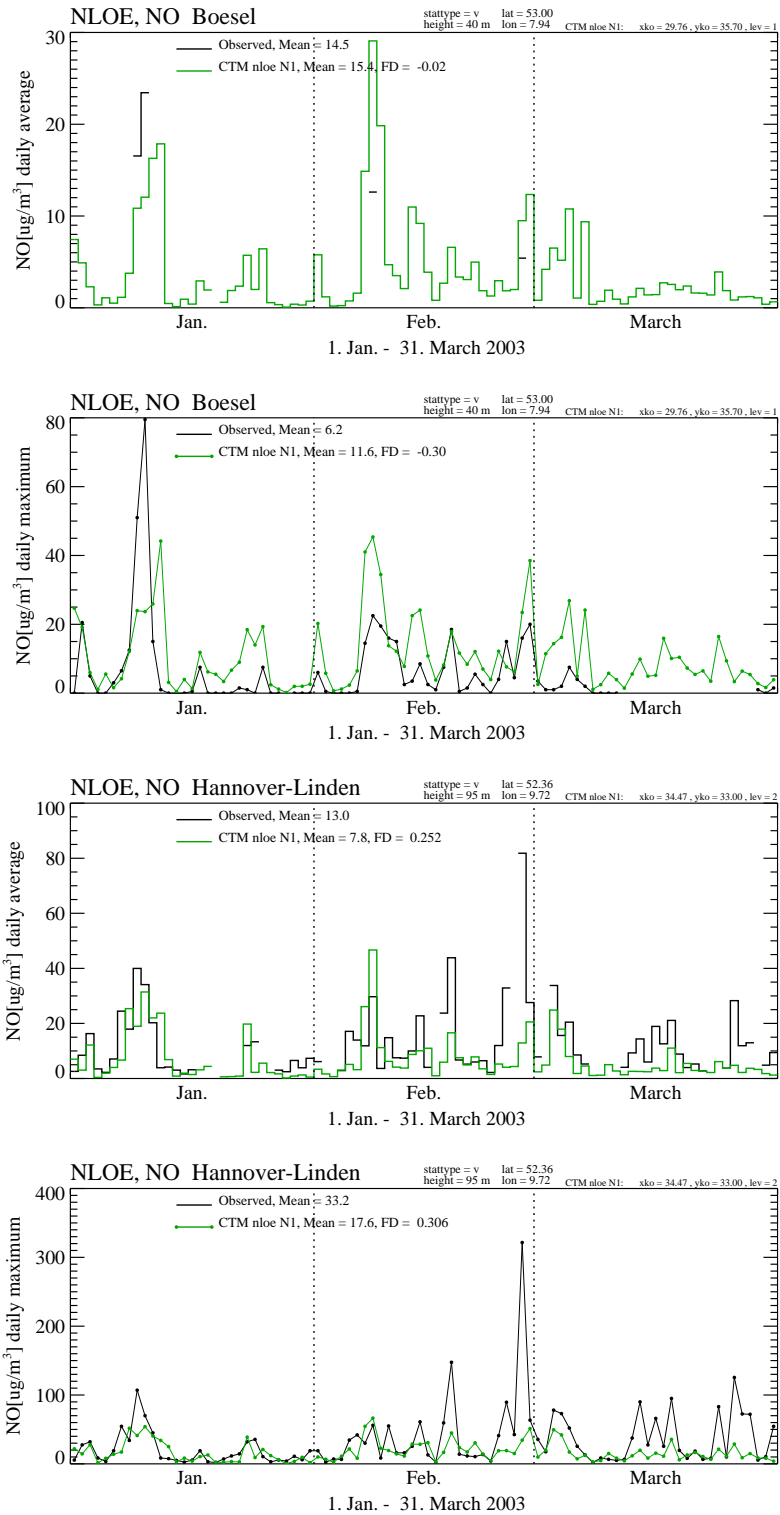
**Abbildung 3.1.8:** Vergleich von gemessenen (schwarz) und berechneten (grün) PM<sub>2.5</sub>-Massenkonzentrationen (µg/m<sup>3</sup>) in Bösel und Hannover-Linden. Oberste und dritte Abbildung zeigen die Tagesmittelwerte für Bösel bzw. Hannover-Linden, die zweite und unterste Abbildung die Tagesmaxima (auf der Basis stündlicher Werte), ebenfalls für Bösel und Hannover-Linden. Die Bilder umfassen den Zeitraum vom 01.01. – 31.03.2003. Die PM<sub>2.5</sub>-Werte stimmen recht gut mit den vom EURAD-Modell berechneten Massenkonzentrationen überein. Die sehr hohen Konzentrationen Anfang März 2003, die bei den gemessenen PM<sub>10</sub>-Werten auftreten, sind bei den PM<sub>2.5</sub>-Werten nicht so ausgeprägt.



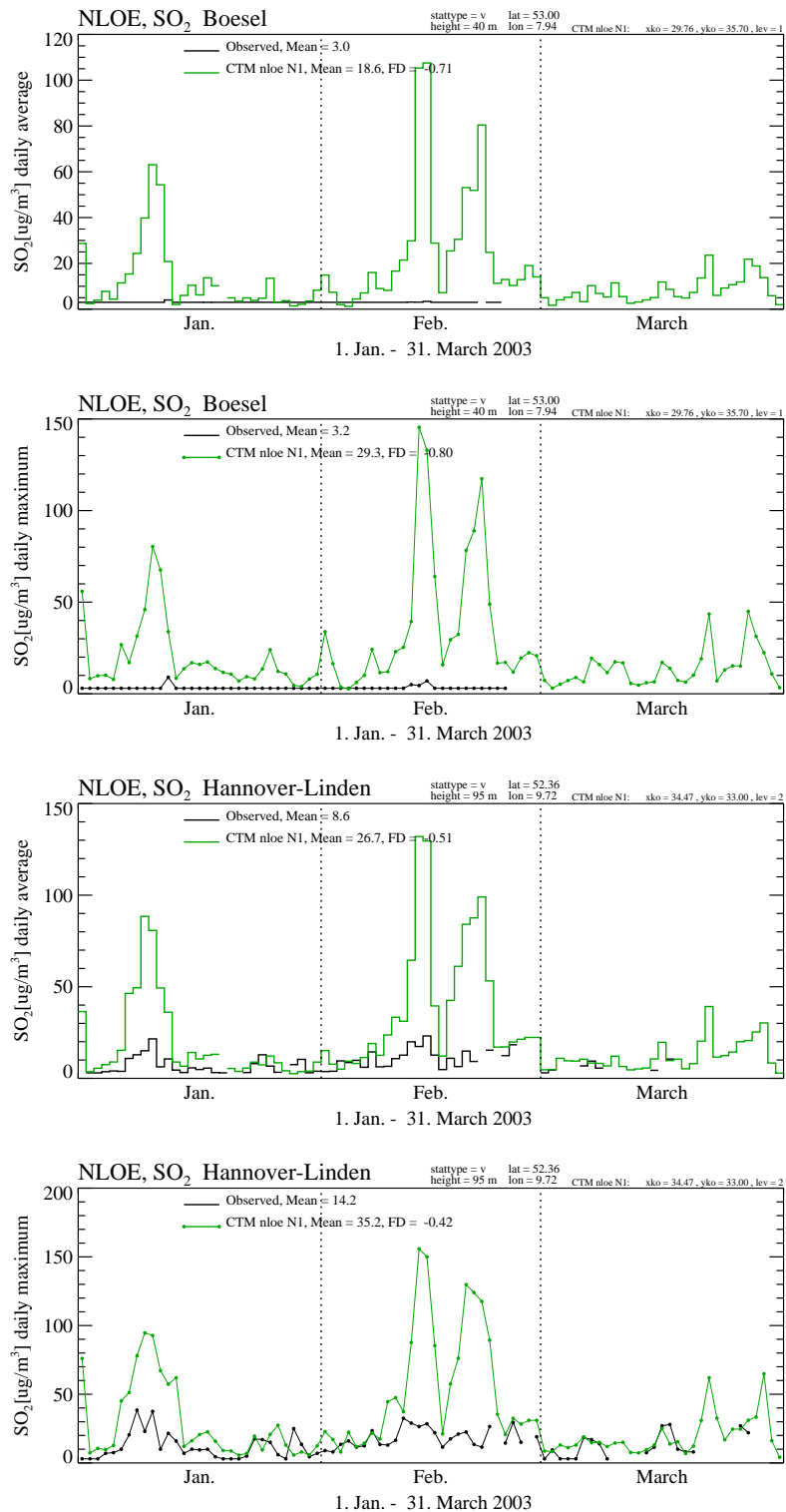
**Abbildung 3.1.9:** Vergleich von gemessenen (schwarz) und berechneten (grün) O<sub>3</sub>-Massenkonzentrationen (µg/m<sup>3</sup>) in Bösel und Hannover-Linden. Oberste und dritte Abbildung zeigen die Tagesmittelwerte für Bösel bzw. Hannover-Linden, die zweite und unterste Abbildung die Tagesmaxima (auf der Basis stündlicher Werte), ebenfalls für Bösel und Hannover-Linden. Die Bilder umfassen den Zeitraum vom 01.01. – 31.03.2003.



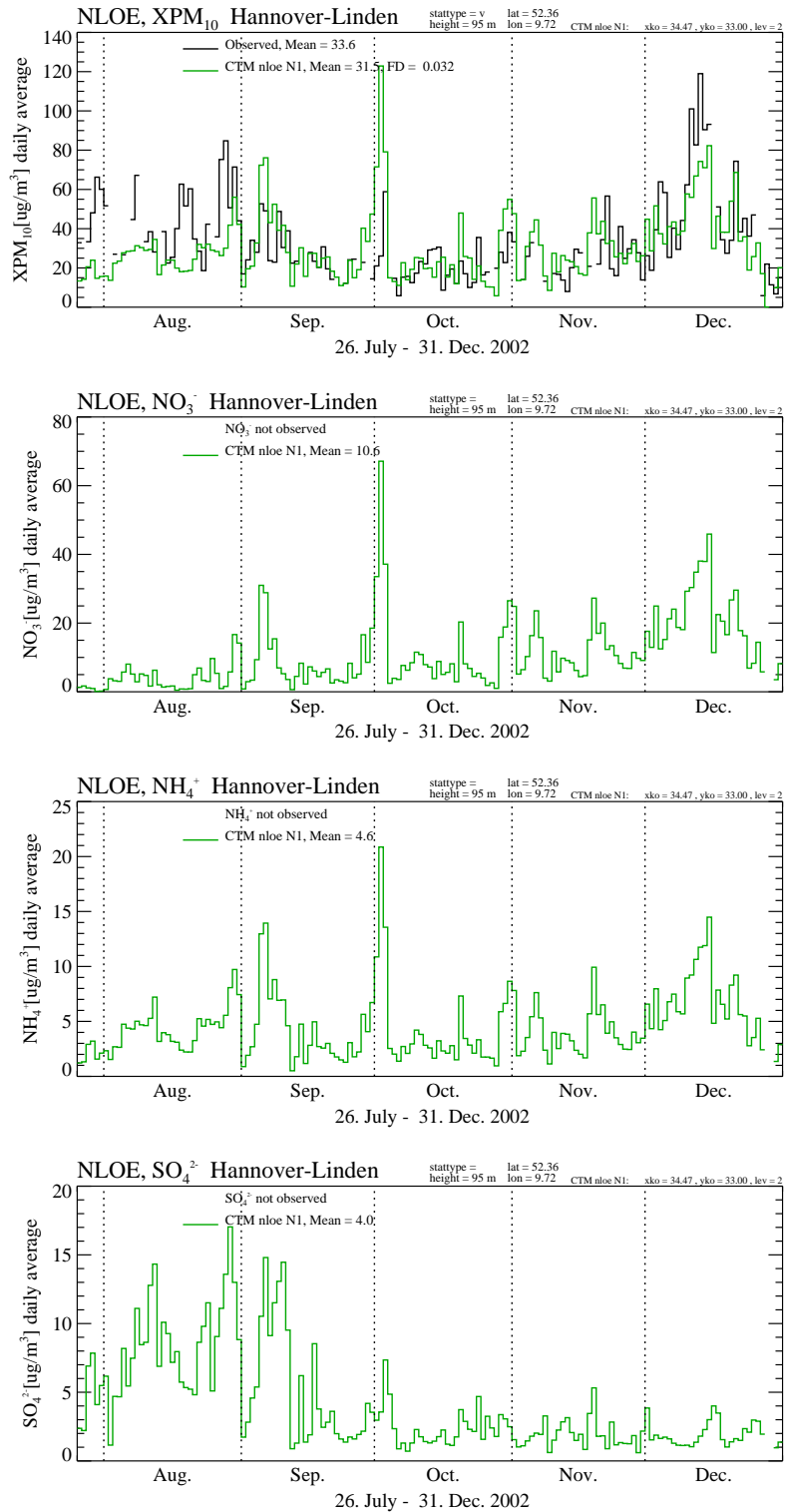
**Abbildung 3.1.10:** Vergleich von gemessenen (schwarz) und berechneten (grün)  $\text{NO}_2$ -Massenkonzentrationen ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) in Bösel und Hannover-Linden. Oberste und dritte Abbildung zeigen die Tagesmittelwerte für Bösel bzw. Hannover-Linden, die zweite und unterste Abbildung die Tagesmaxima (auf der Basis stündlicher Werte), ebenfalls für Bösel und Hannover-Linden. Die Bilder umfassen den Zeitraum vom 01.01. – 31.03.2003. Auch bei  $\text{NO}_2$  fehlen die Spitzenwerte Anfang März 2003, die bei  $\text{PM}_{10}$  auftraten.



**Abbildung 3.1.11:** Vergleich von gemessenen (schwarz) und berechneten (grün) NO-Konzentrationen ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) in Bösel und Hannover-Linden. Oberste und dritte Abbildung zeigen die Tagesmittelwerte für Bösel bzw. Hannover-Linden, die zweite und unterste Abbildung die Tagesmaxima (auf der Basis stündlicher Werte), ebenfalls für Bösel und Hannover-Linden. Die Bilder umfassen den Zeitraum vom 01.01. – 31.03.2003.

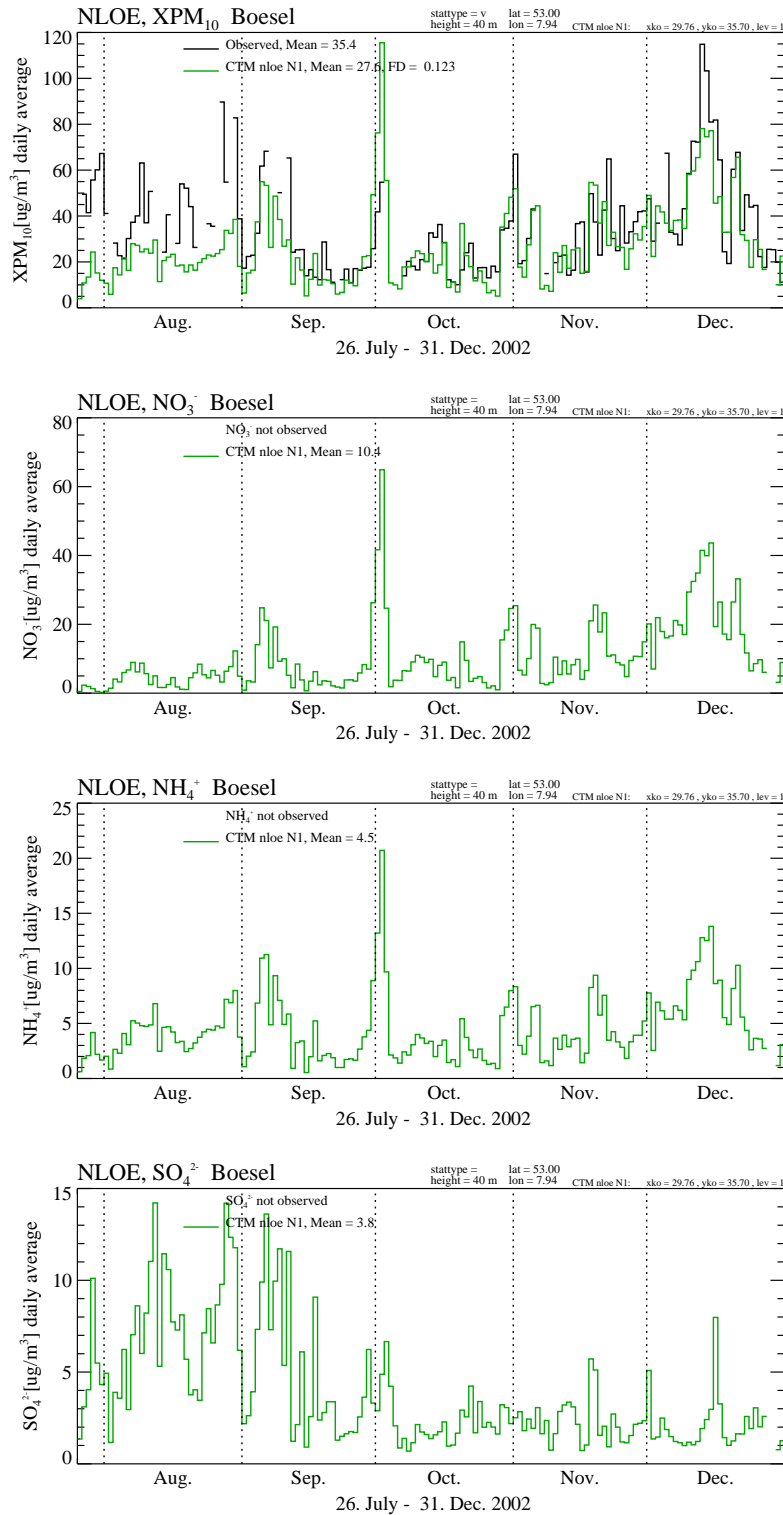


**Abbildung 3.1.12:** Vergleich von gemessenen (schwarz) und berechneten (grün) SO<sub>2</sub>-Konzentrationen (µg/m<sup>3</sup>) in Bösel und Hannover-Linden. Oberste und dritte Abbildung zeigen die Tagesmittelwerte für Bösel bzw. Hannover-Linden, die zweite und unterste Abbildung die Tagesmaxima (auf der Basis stündlicher Werte), ebenfalls für Bösel und Hannover-Linden. Die Bilder umfassen den Zeitraum vom 01.01. – 31.03.2003. Dabei werden die SO<sub>2</sub>-Konzentrationen vom Modell deutlich überschätzt. Die deutet auf deutlich zu hohe Emissionsdaten in Osteuropa hin. Emissionsdaten für Osteuropa enthalten häufig noch ältere Daten als diejenigen, die dem angegebenen Bezugsjahr entsprechen. Überdies sind die nutzbaren Datensätze ohnehin meist einige Jahre älter als das Prognosejahr (siehe auch Diskussion im Text).

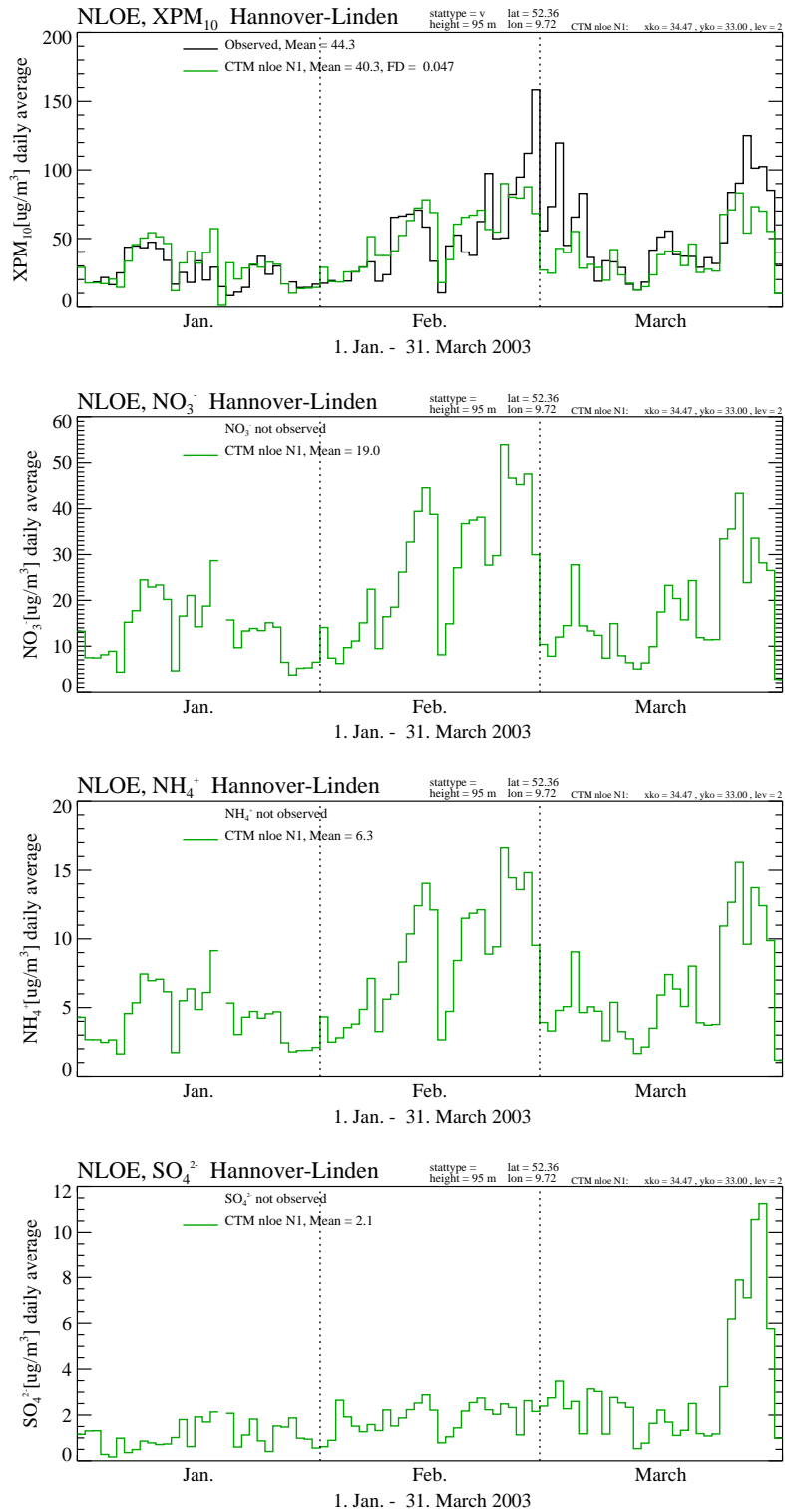


**Abbildung 3.1.13:** Vergleich von gemessenen (schwarz) und berechneten (grün) XPM<sub>10</sub>-Konzentrationen (Tagesmittelwerte) in µg/m<sup>3</sup> in Hannover-Linden (oben) vom 26.07. – 31.12.2002. Zum Vergleich sind die Beiträge von Nitrat, Ammonium und Sulfat, die sich aus der Modellrechnung ergeben, in den drei unteren Bildern gezeigt. Messungen zu diesen Komponenten lagen zum Vergleich nicht vor. Die Spitzen der Partikelbelastung scheinen nach der Modellrechnung zumindest von September – Dezember durch Ammonium und Nitrat beeinflusst zu werden. Der Beitrag organischer Komponenten, der im Modell ebenfalls berechnet wurde, ist hier nicht dargestellt.

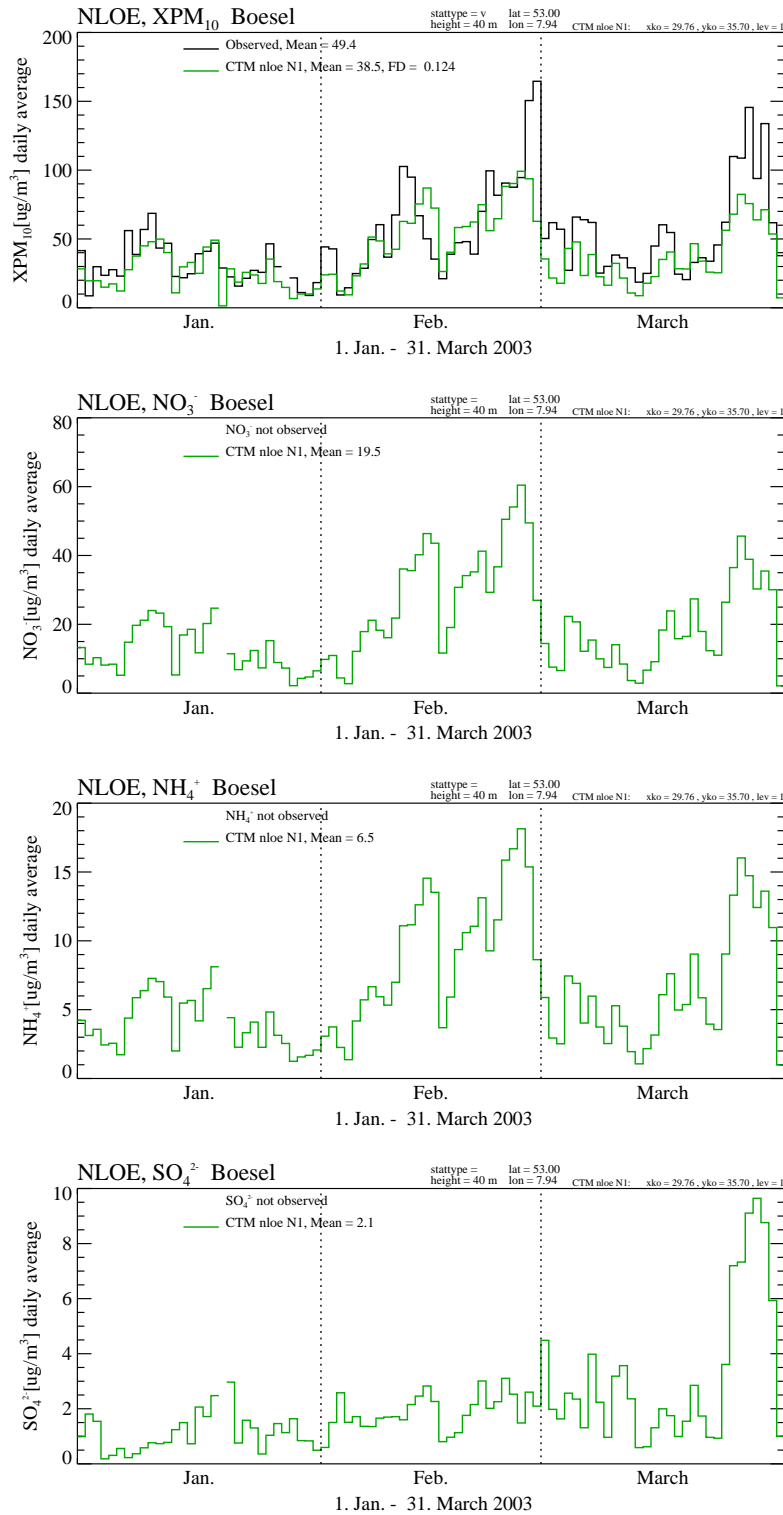




**Abbildung 3.1.14:** Vergleich von gemessenen (schwarz) und berechneten (grün) XPM<sub>10</sub>-Konzentrationen (µg/m<sup>3</sup>) in Bösel (oben) vom 26.07. – 31.12.2002. Zum Vergleich sind die Beiträge von Nitrat, Ammonium und Sulfat, die sich aus der Modellrechnung ergeben, in den drei unteren Bildern gezeigt. Messungen zu diesen Komponenten lagen zum Vergleich nicht vor. Die Spitzen der Partikelbelastung scheinen nach der Modellrechnung zumindest von September – Dezember durch Ammonium und Nitrat beeinflusst zu werden. Der Beitrag organischer Komponenten, der im Modell ebenfalls berechnet wurde, ist hier nicht dargestellt.



**Abbildung 3.1.15:** Vergleich von gemessenen (schwarz) und berechneten (grün) XPM<sub>10</sub>-Konzentrationen (µg/m<sup>3</sup>) in Hannover-Linden (oben) vom 01.01. – 31.03.2003. Zum Vergleich sind die Beiträge von Nitrat, Ammonium und Sulfat, die sich aus der Modellrechnung ergeben, in den drei unteren Bildern gezeigt. Messungen zu diesen Komponenten lagen zum Vergleich nicht vor. Die Spitzen der Partikelbelastung scheinen nach der Modellrechnung zumindest von September – Dezember durch Ammonium und Nitrat beeinflusst zu werden. Der Beitrag organischer Komponenten, der im Modell ebenfalls berechnet wurde, ist hier nicht dargestellt.



**Abbildung 3.1.16:** Vergleich von gemessenen (schwarz) und berechneten (grün) XPM<sub>10</sub>-Konzentrationen ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) in Bösel (oben) vom 01.01. – 31.03.2003. Zum Vergleich sind die Beiträge von Nitrat, Ammonium und Sulfat, die sich aus der Modellrechnung ergeben, in den drei unteren Bildern gezeigt. Messungen zu diesen Komponenten lagen zum Vergleich nicht vor. Die Spitzen der Partikelbelastung scheinen nach der Modellrechnung zumindest von September – Dezember durch Ammonium und Nitrat beeinflusst zu werden. Der Beitrag organischer Komponenten, der im Modell ebenfalls berechnet wurde, ist hier nicht dargestellt.

### 3.2 Modellgestützte Analysen einzelner Episoden

Auf der Grundlage der in Abschnitt 3.1 vorgestellten Zeitreihen der beobachteten und gemessenen Werte, insbesondere von PM<sub>10</sub> und Ozon, wurden einige Episoden mit besonderer Belastung ausgewählt, die detaillierter untersucht werden. Ziel dieser Untersuchung mit Hilfe der durch das EURAD-System berechneten Rückwärts-Trajektorien und Konzentrationen ist es, die Phänomenologie bei Schadstoffepisoden in Niedersachsen besser zu erfassen und damit ihre Ursachen besser zu verstehen.

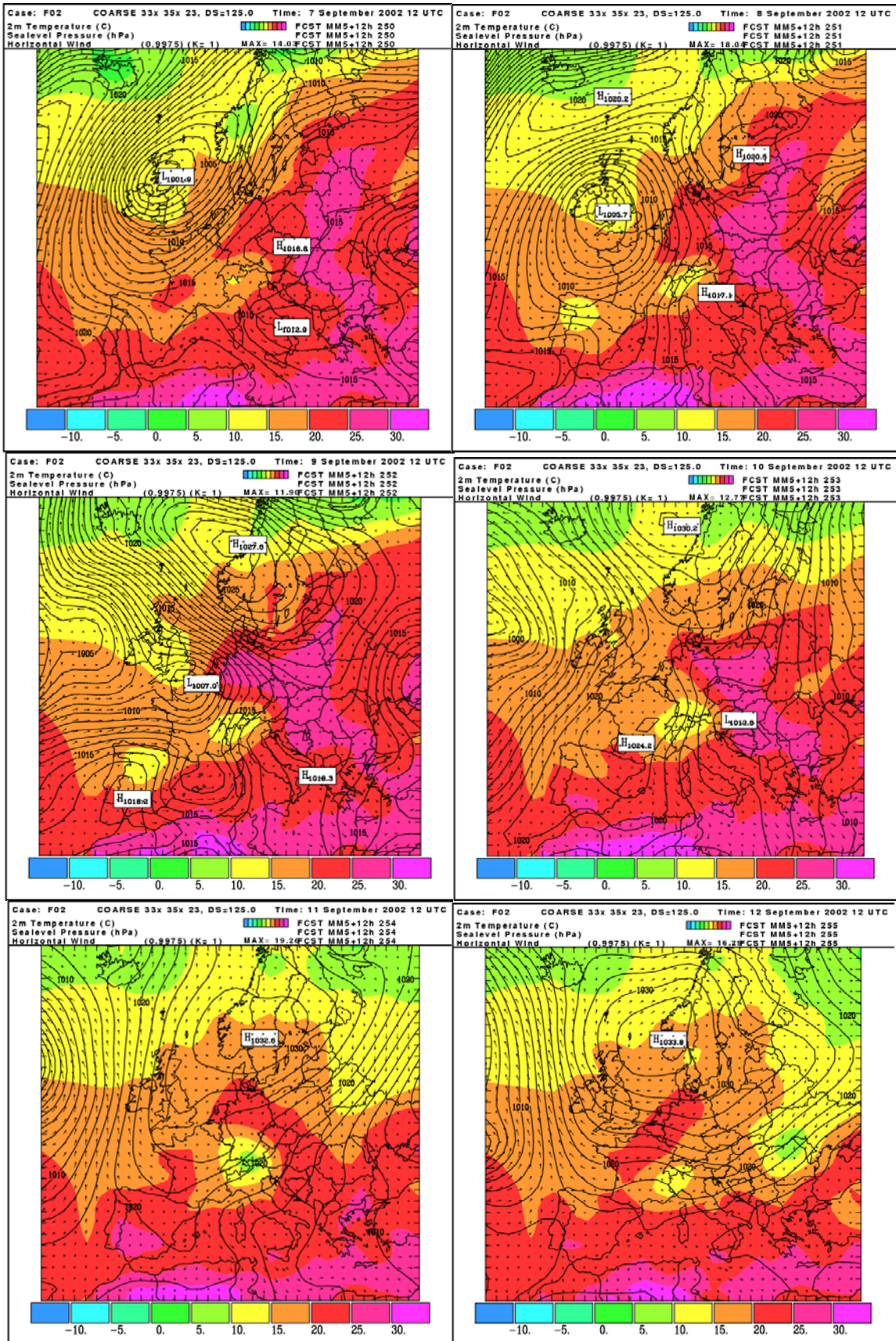
Im Jahr 2002 handelt es sich zunächst um die Episode vom 06. – 12.09., die dadurch gekennzeichnet war, dass hohe Werte von Ozon zusammen mit hohen Werten von PM<sub>10</sub> auftraten. Bei Ozon wurden Warnwerte von 180 µg/m<sup>3</sup> zwar nicht überschritten, dennoch waren die Konzentrationen für Anfang September mit mehr als 150 µg/m<sup>3</sup> recht hoch. Auch im Monat August wurden Werte über 180 µg/m<sup>3</sup> nicht gemessen oder berechnet. Man kann also davon ausgehen, dass es um eine spätsommerliche Episode mit relativ starker Bildung von Photo-Oxidantien handelt, obwohl die Jahreszeit schon relativ weit vorangeschritten war.

Stabile winterliche Hochdrucklagen, die vor allem zu erhöhten Werten primär emittierter Schadstoffe führen, traten im Dezember 2002, Januar bis März 2003, besonders jedoch im Februar 2003, gehäuft auf. Mitte Dezember 2002 wurden sehr hohe PM<sub>10</sub>-Werte gemessen. Im Februar 2003 stellte sich über Mitteleuropa eine sehr stabile Hochdrucklage ein, die fast den ganzen Monat andauerte. Die an den Stationen Hannover-Linden und Bösel gemessenen Partikelkonzentrationen erreichten um den 11./12. Februar und am Ende des Monats sehr hohe Werte. Die Tagesmittel lagen dabei, wie schon im Dezember 2002, an beiden Stationen deutlich über dem Grenzwert der EU-Tochterrichtlinie 99/30 von 50 µg/m<sup>3</sup>. Deshalb wurden Modellergebnisse und Messungen im Dezember 2002 und Februar 2003 ebenfalls für eine ausführlichere Diskussion ausgewählt. Die Episoden im Jahr 2003 sind auch deshalb für eine detailliertere Analyse besonders interessant, weil in 2003 auch zusätzliche Messungen für Partikelkonzentrationen vorlagen, z.B. für PM<sub>2,5</sub>, die es für 2002 noch nicht gab.

#### 3.2.1 Photo-Oxidantien-Episode September 2002

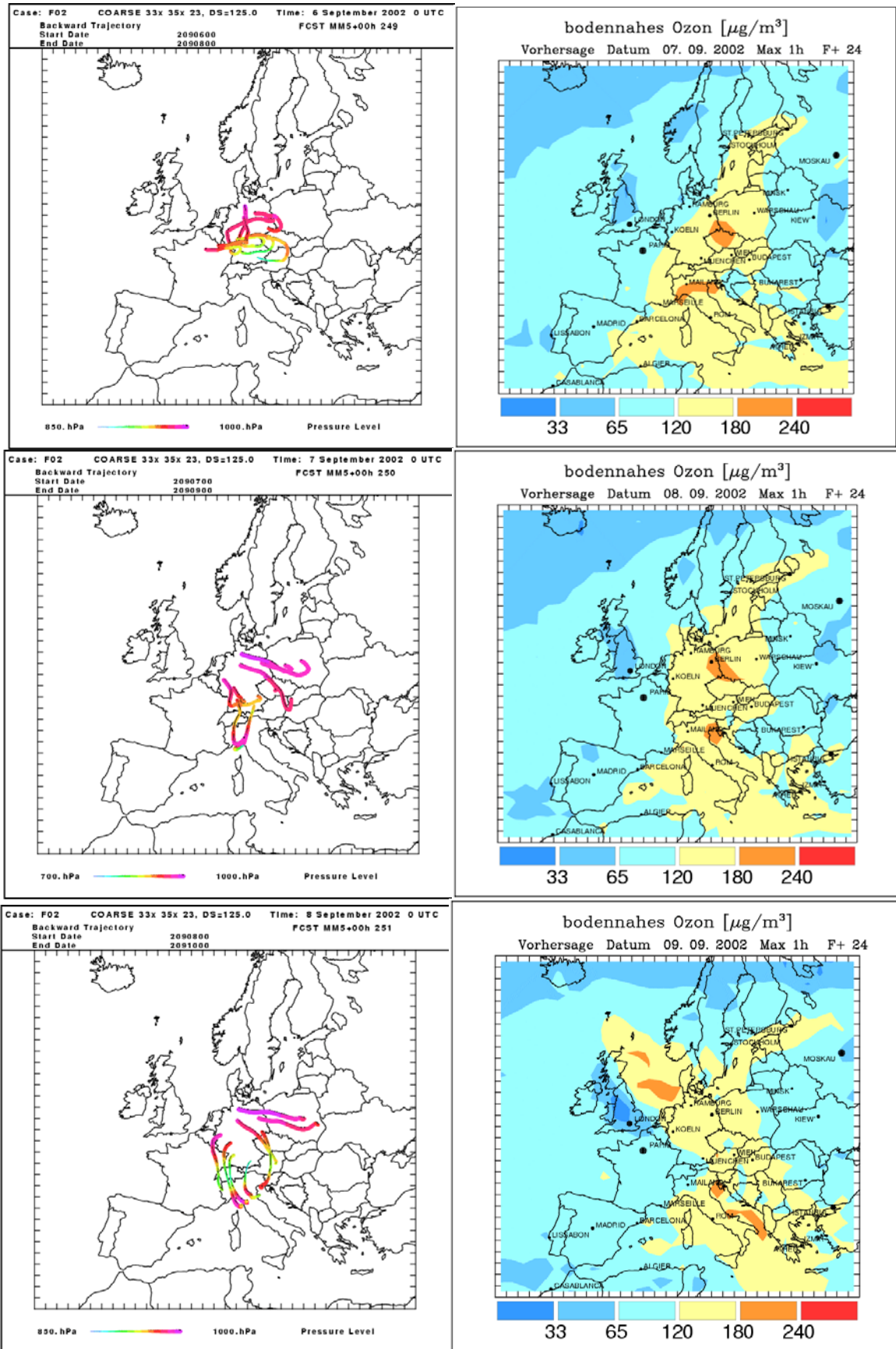
Die Entwicklung der meteorologischen Situation ist in Abbildung 3.2.1.1 dargestellt. Die großräumige meteorologische Situation war durch die Entwicklung eines Hochdruckgebietes über Skandinavien gekennzeichnet. Zu Beginn der Episode gelangte zwischen dem 7. und 9. September auf der Vorderseite eines von Schottland zum Kanal wandernden Tiefdruckgebietes sehr warme Luft aus Süden und Südosten nach Niedersachsen. Die Herkunft der Luftmassen zeigen auch die Trajektorien in Abbildung 3.2.1.2a,b sehr deutlich. Zu Beginn kommt es in der warmen aus Südosten stammenden Luftmasse, die Niedersachsen vom 7. – 9. September beeinflusst, zu relativ hohen Ozonkonzentrationen. In der Modellrechnung werden in Brandenburg und Polen sowie über der Nordsee sogar 180 µg/m<sup>3</sup> überschritten. Im Laufe des 9.9. kommt es in Niedersachsen zu einem Luftmassenwechsel, der Wind dreht von Südost auf Nordwest (siehe Meteogramm für Hannover für die 2-Tages-Vorhersage vom 9./10.09.; Abbildung 3.2.1.3). Am 11.09. dringen von Nordosten trockenere und saubere Luftmassen rasch nach Niedersachsen ein. Damit sinken die Spitzenwerte der Ozonkonzentration ab. Etwas mehr Details zeigt die Darstellung der Ergebnisse der N1-Rechnung in Abbildung 3.2.1.4. Dort kommt die am 10. September auch durch Niedersachsen verlaufende Luftmassengrenze deutlich zum Ausdruck. An diesem Tag bleiben die Ozonwerte niedrig. Abbildung 3.2.1.5 zeigt den zeitlichen Verlauf der berechneten und gemessenen Ozonwerte an den NLÖ-Stationen Bösel und Hannover Linden (stündliche Werte). Die

Spitzenwerte der Ozonkonzentrationen werden teilweise in der Modellrechnung überschätzt, insgesamt stimmt der zeitliche Verlauf jedoch gut mit den gemessenen Werten überein.

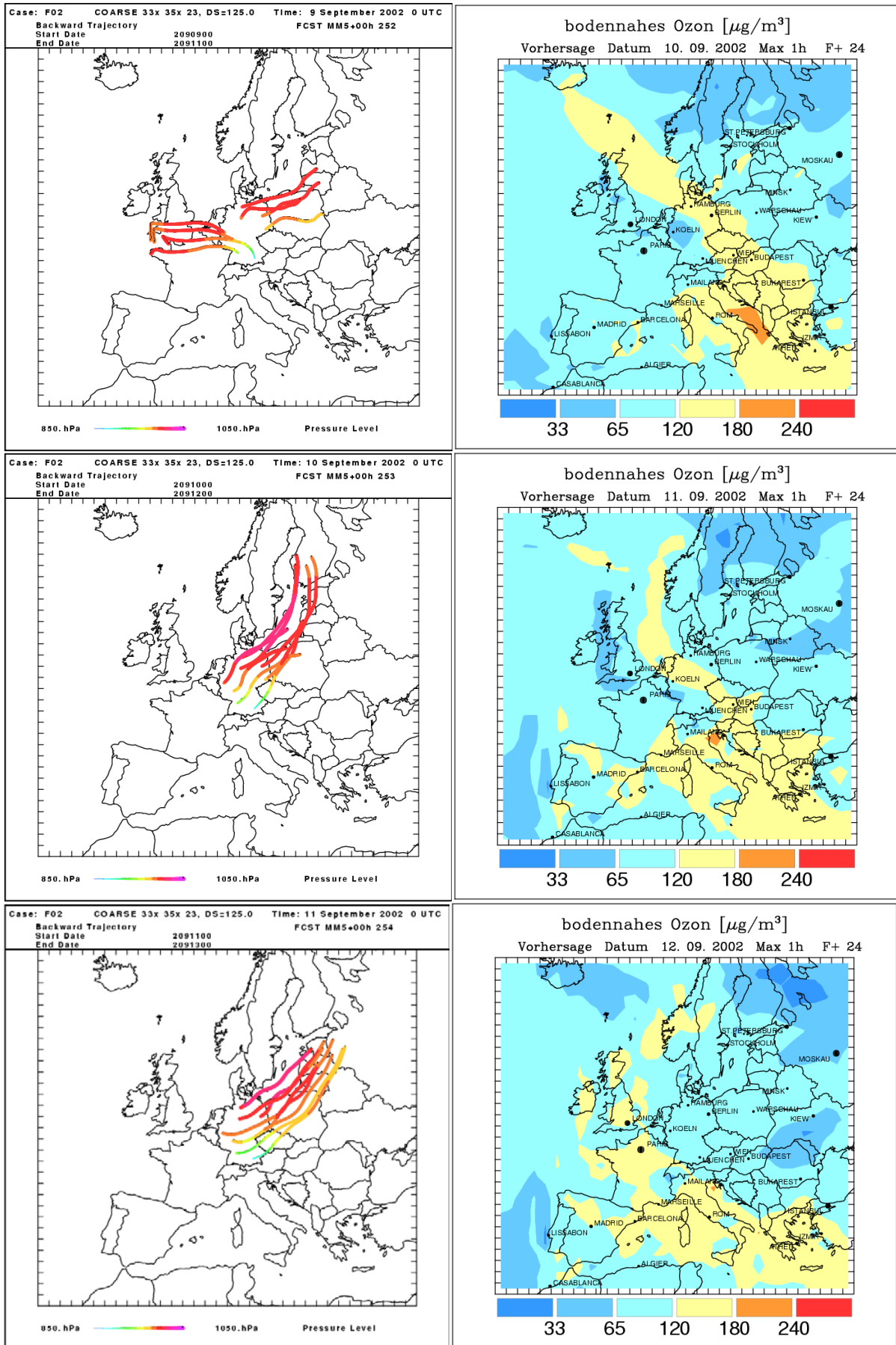


**Abbildung 3.2.1.1:** Meteorologische Situation während der Photo-Oxidantien-Episode im September 2002. Ergebnisse der Modellrechnung mit MM5 für den 7. – 12.9.2002 (N0, 125 km Maschenweite). Dargestellt sind die Temperatur, der auf NN reduzierte Bodendruck und der Horizontalwind.



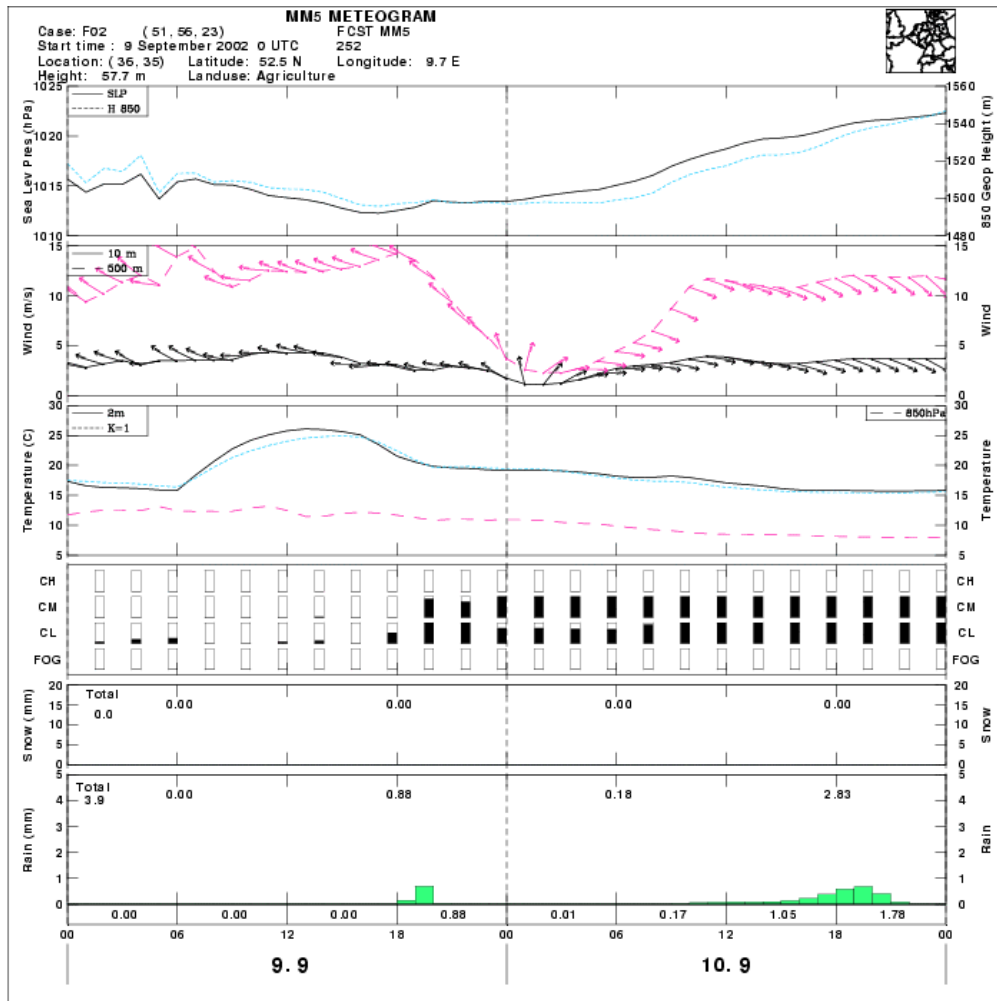


**Abbildung 3.2.1.2a:** 48h-Rückwärts-Trajektorien (links) und tägliche Maxima der Ozonkonzentration während der Photo-Oxidantien-Episode im September 2002. Ergebnisse der Modellrechnung mit dem EURAD-Modell für den 7. – 9.9.2002 (N0, 125 km Maschenweite).



**Abbildung 3.2.1.2b:** 48h-Rückwärts-Trajektorien und tägliche Maxima der Ozonkonzentration während der Photo-Oxidantien-Episode im September 2002. Ergebnisse der Modellrechnung mit dem EURAD-Modell für den 10. – 12.9.2002 (N0, 125 km Maschenweite).





**Abbildung 3.2.1.3:** Meteogramm für Hannover auf der Basis der 2-Tage-Vorhersage für den 9./10. September 2002. Der am 9. September einsetzende Luftmassenwechsel, insbesondere die Winddrehung von Südost auf Nordwest, ist deutlich zu erkennen.

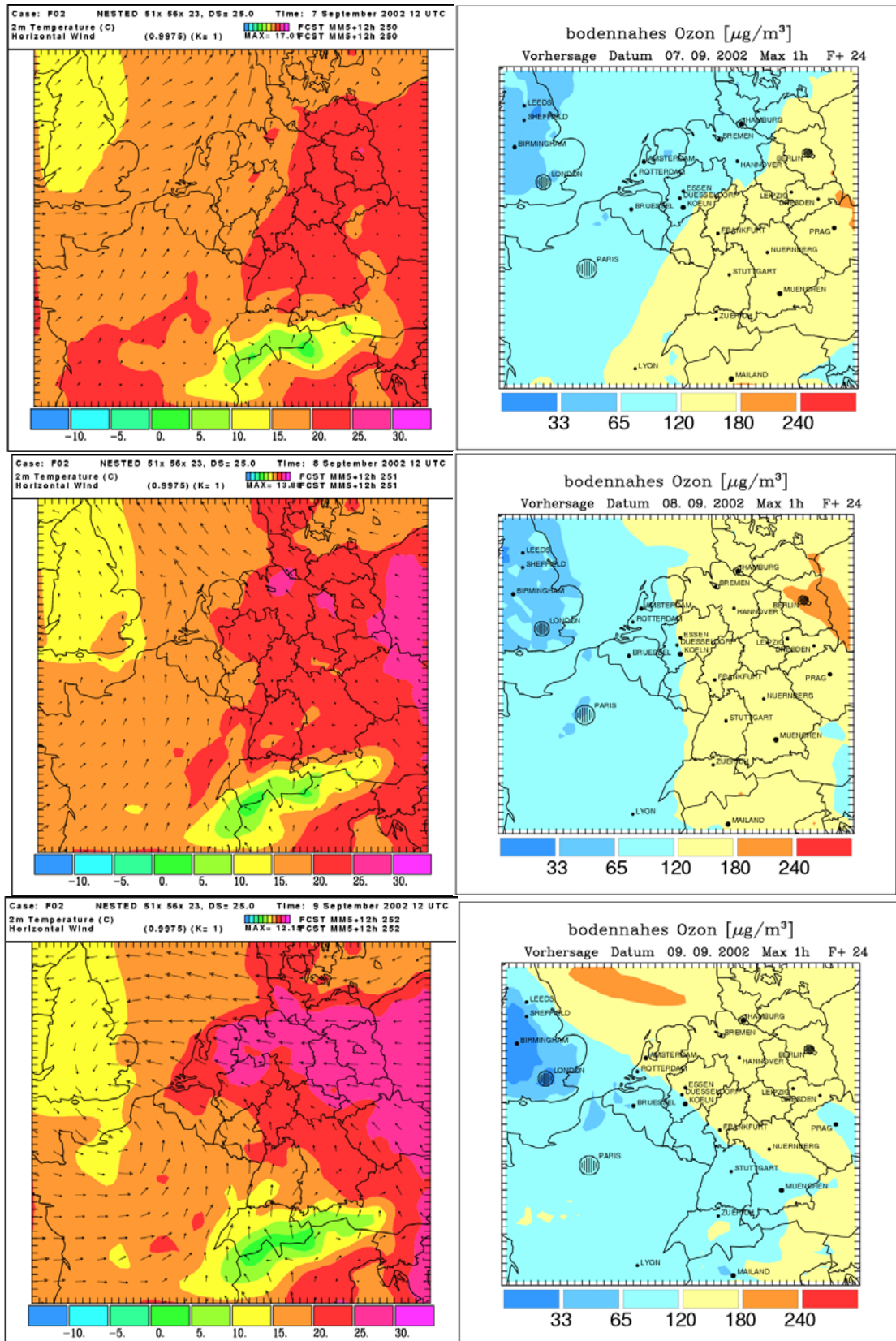


Abbildung 3.2.1.4a: Meteorologische Situation (N1, 25 km; Temperatur, Bodendruck Horizontalwind) und Maxima der täglichen Ozonwerte während der Photo-Oxidantien-Episode im September 2002.

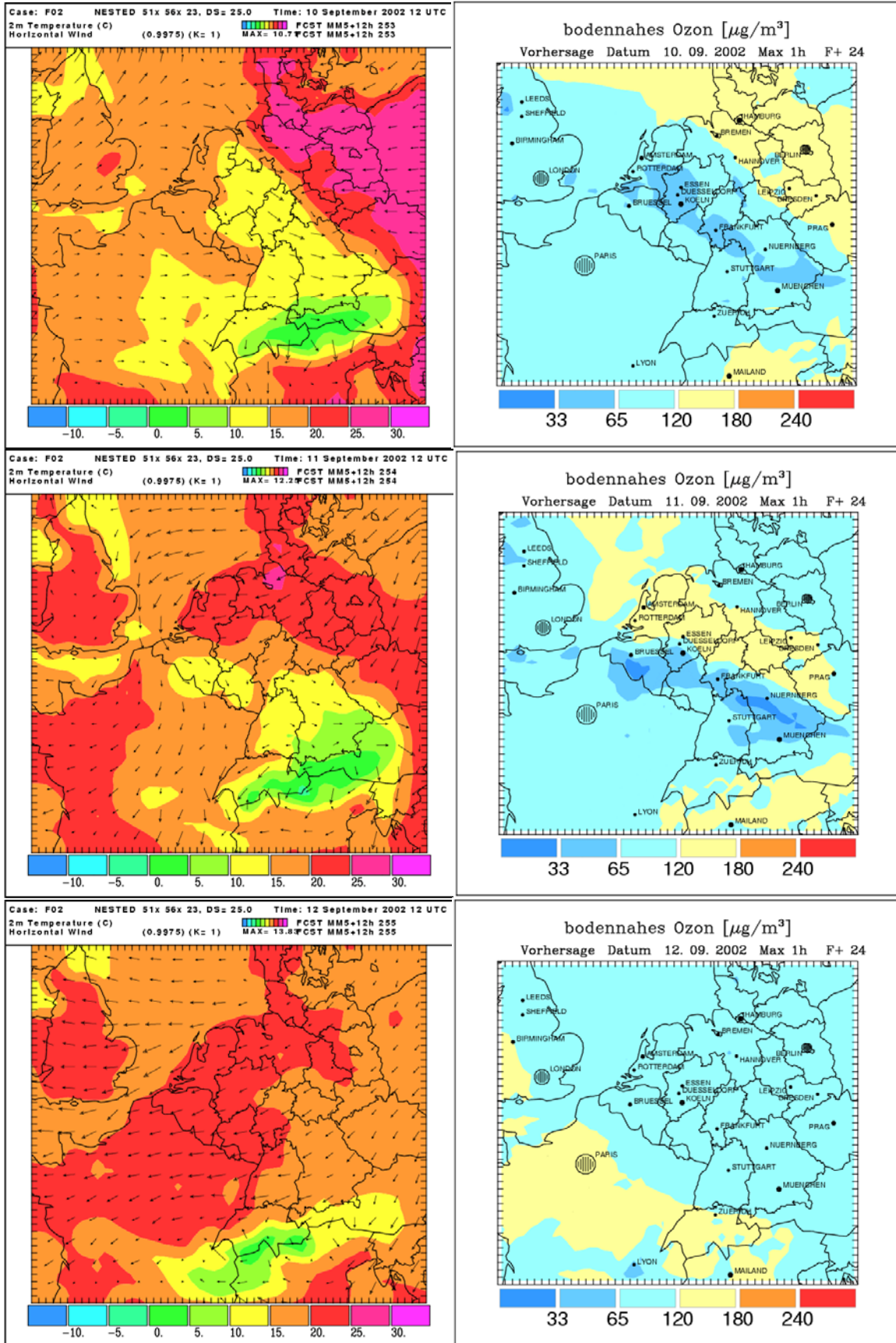
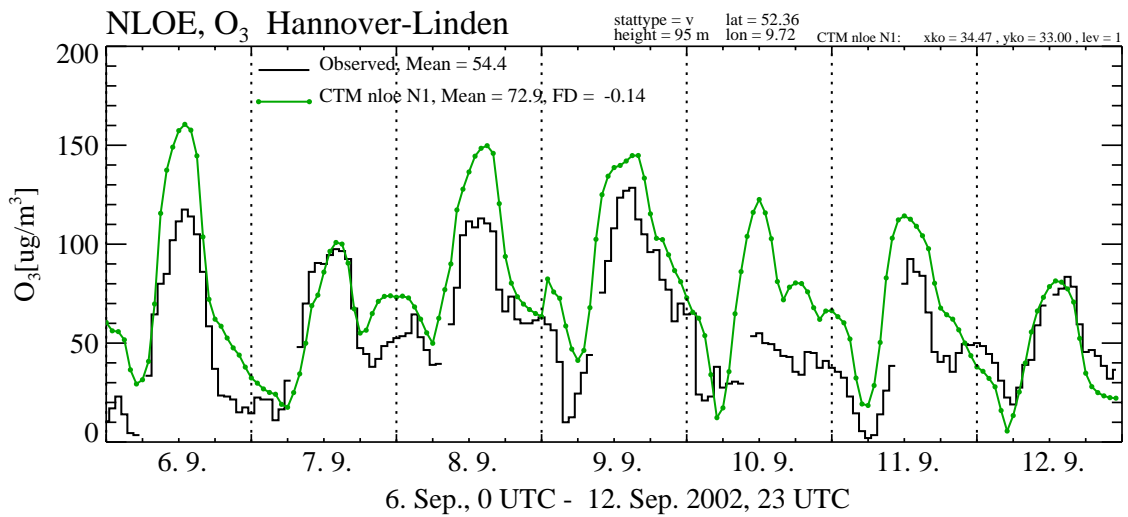
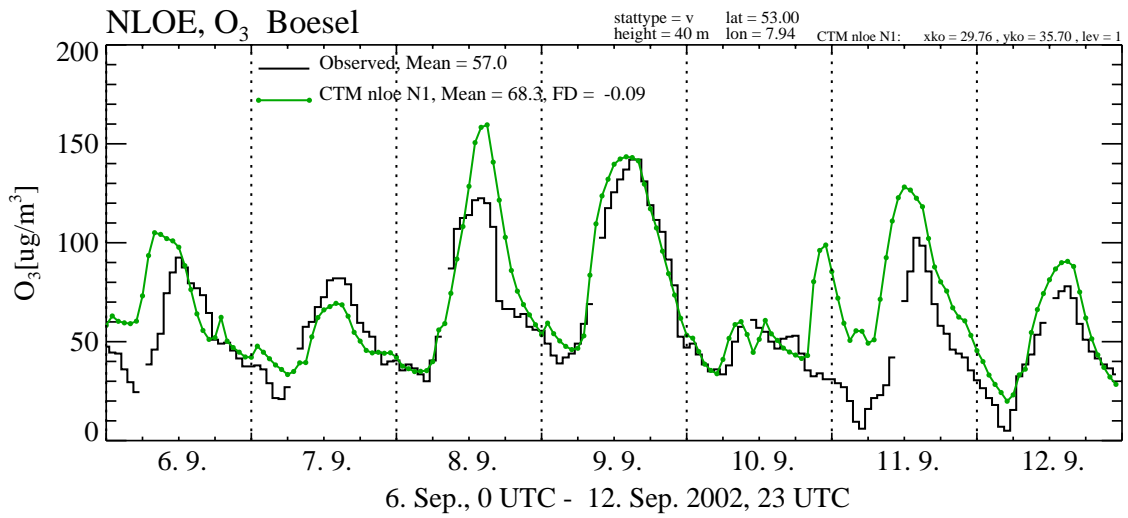


Abbildung 3.2.1.4b: Meteorologische Situation (N1, 25 km; Temperatur, Bodendruck, Horizontalwind) und Maxima der täglichen Ozonwerte während der Photo-Oxidantien-Episode im September 2002.



**Abbildung 3.2.1.5:** Zeitreihen für Bösel und Hannover-Linden für Ozon während der Ozonepisode im September 2002. Dargestellte sind die stündlichen Werte aus der Modellrechnung (grüne) und der Messung (schwarz).

### 3.2.2 Winterliche Hochdrucklage im Dezember 2002

Mitte Dezember kam es erstmals im Winter 2002/2003 zu einer Situation, in der sowohl in Hannover wie in Bösel eine  $PM_{10}$ -Konzentration von mehr als  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  im Tagesmittel gemessen wurden. Auch das Modell zeigt einen deutlichen Anstieg der  $PM_{10}$ -Werte auf  $60 - 80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Die meteorologische Situation, die 48h-Rückwärtstrajektorien und die  $PM_{10}$ -Konzentrationsfelder sind in den folgenden Abbildungen gezeigt.

Die meteorologische Situation war zunächst, wie so oft im Winter 2002/2003, durch ein sehr starkes Hoch über Skandinavien geprägt (8.12.; siehe Abbildung 3.2.2.1). Dieses Hoch verlagerte sich allmählich nach Osteuropa, regenerierte sich jedoch am 18.12. wieder über den britischen Inseln und wanderte danach über Mitteleuropa zum Balkan. Erst am 22.12. lag Mitteleuropa teilweise im Bereich eines Tiefs über Island (Abbildung 3.2.2.2). Die Abbildungen 3.2.2.3a,b zeigen die 48h-Rückwärtstrajektorien zusammen mit den Konzentrationsfeldern für  $PM_{10}$  über Europa. Niedersachsen liegt vom 8. -14.12., wie auch ganz Deutschland, im Zustrom von kalter Luft aus Osteuropa. In dieser Zeit bauen sich großräumig hohe  $PM$ -Konzentrationen auf. Am 16.12. wird der westliche Teil Deutschlands von Luft aus Westen und Südwesten beeinflusst, während Niedersachsen noch im Bereich von Luftmassen aus Osteuropa liegt. Mit dem Rückzug des sehr stabilen Hochs nach Russland nach dem 16.12. gelangt auch Niedersachsen in den Bereich einer nördlichen und nordwestlichen Strömung an der Ostflanke des sich über den britischen Inseln aufbauenden Hochdruckgebietes. Die mit Partikeln belastete Luft wird dadurch nach Süden abgedrängt, die  $PM$ -Konzentrationen in Niedersachsen gehen zurück. Dies zeigen auch die Messungen (siehe Abbildung 3.1.1). Mit der Verlagerung des Hochs von den britischen Inseln über Mitteleuropa zum Balkan steigen die  $PM$ -Werte großräumig wieder an (Abbildung 3.2.2.4). Erst am 22.12. liegt die mit Aerosolen belastete Luftmasse weit im Südosten Europas, die  $PM$ -Werte über Niedersachsen gehen wieder zurück.



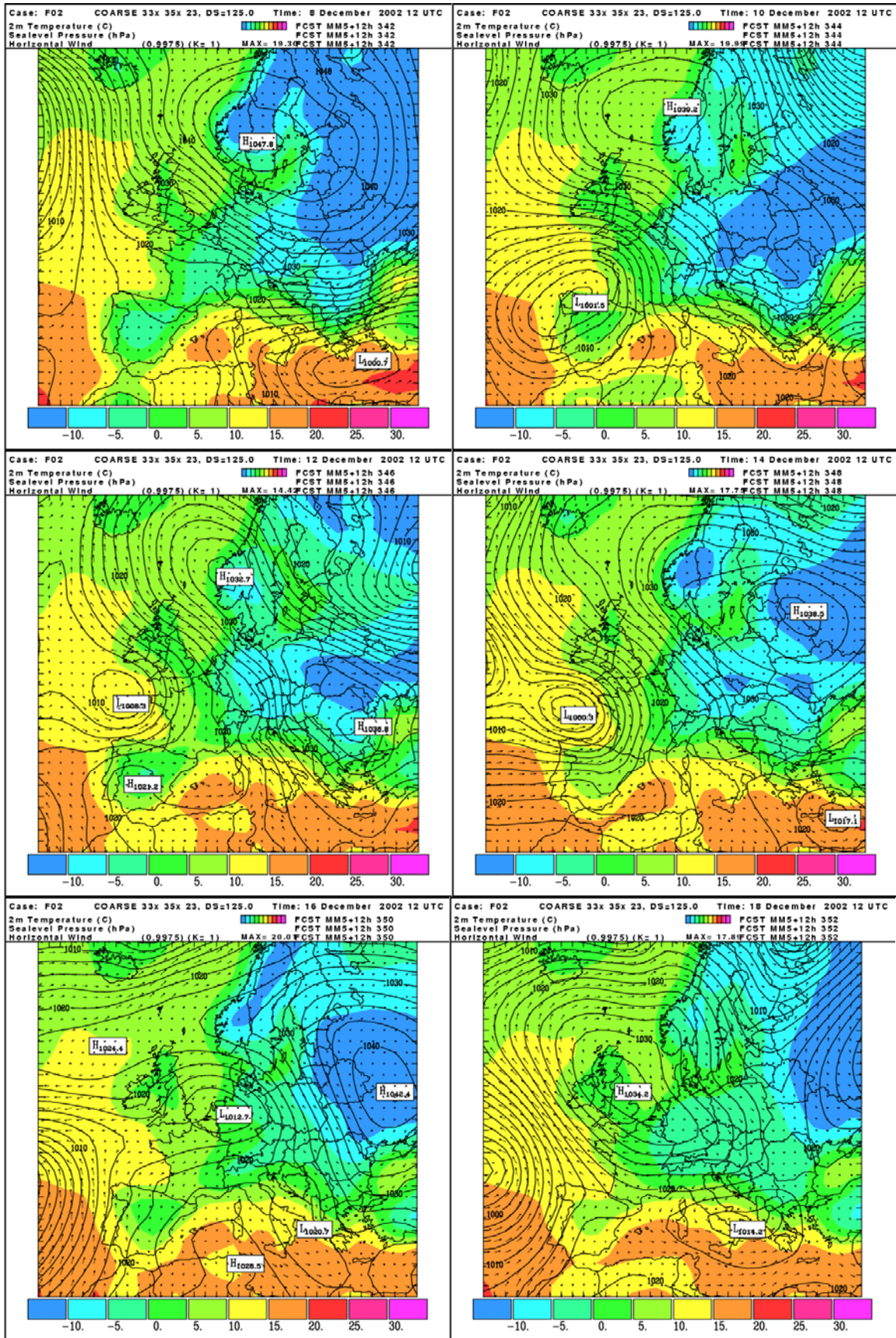
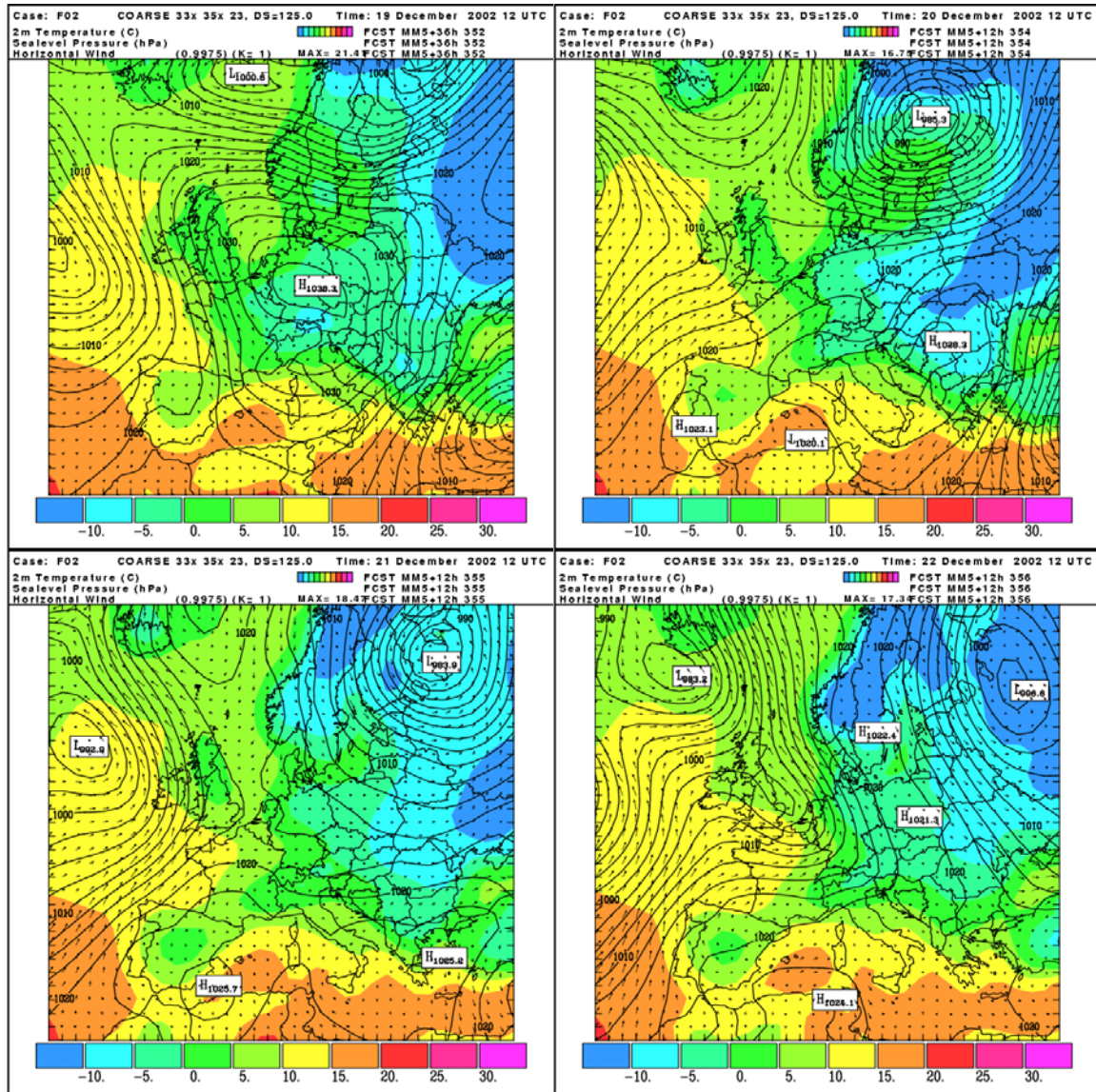
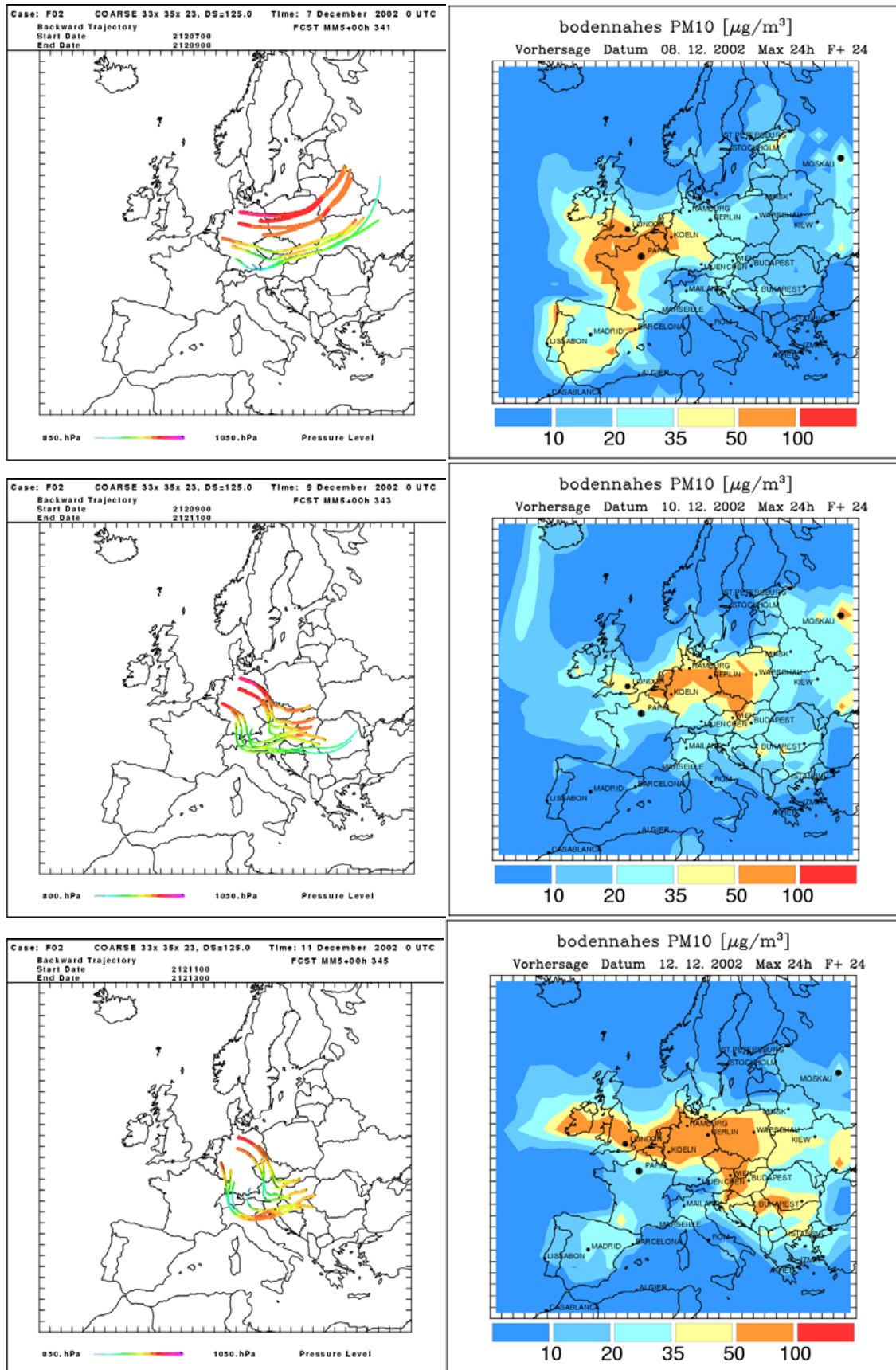


Abbildung 3.2.2.1: Meteorologische Situation während der winterlichen PM-Episode im Dezember 2002. Ergebnisse der Modellrechnung mit MM5 für den 8. – 18.12.2002 (N0, 125 km Maschenweite)



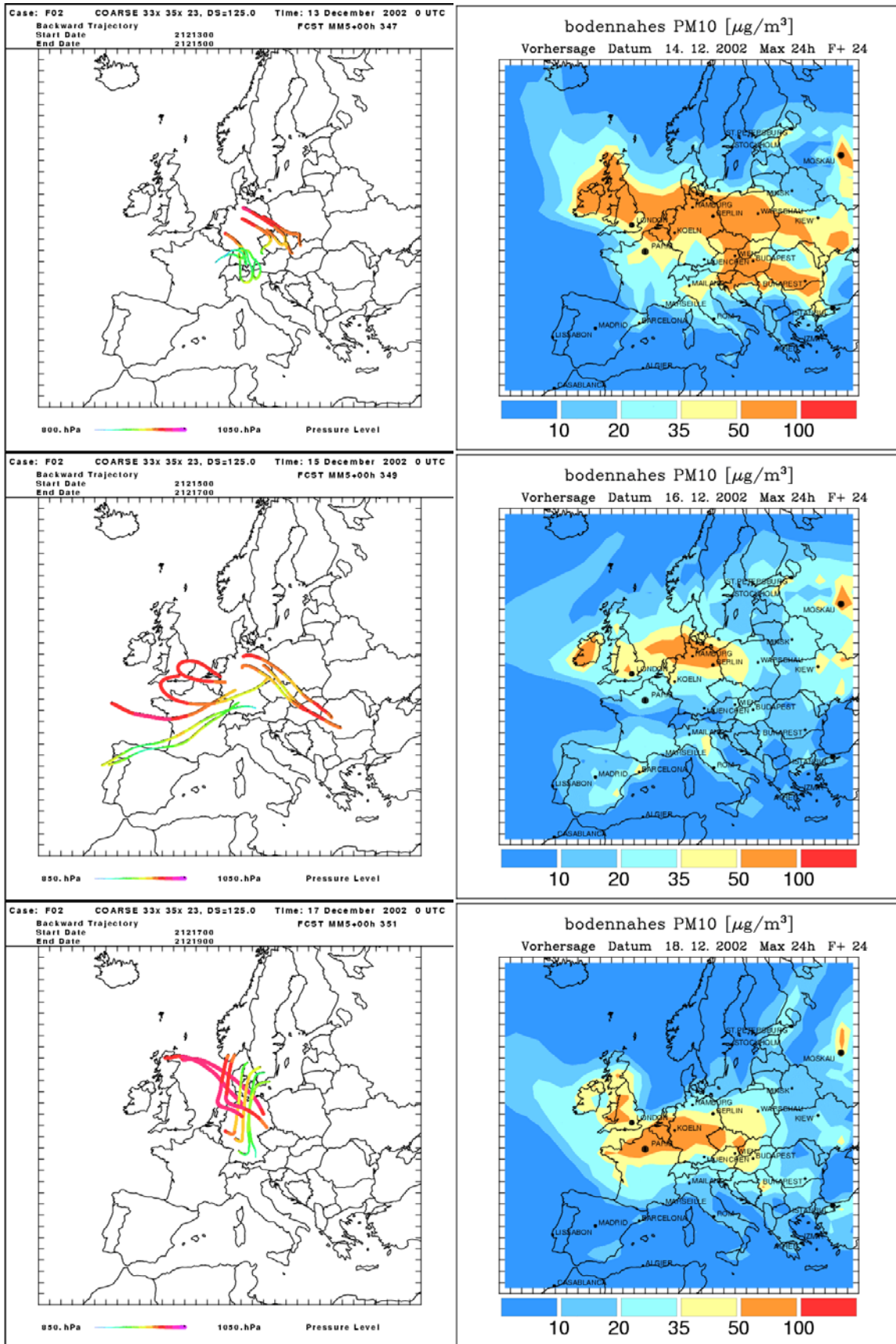


**Abbildung 3.2.2.2:** Meteorologische Situation während der winterlichen PM-Episode im Dezember 2002. Ergebnisse der Modellrechnung mit MM5 für den 19. – 22.12.2002 (N0, 125 km Maschenweite). Ein Hochdruckgebiet überquert Niedersachsen von Norden am 18. und 19.12. und verlagert sich auf den Balkan (20.12.). Dabei gelangt Niedersachsen nochmals kurzzeitig in den Einflussbereich PM-reicher Luftmassen am 20. und 21.12. bevor diese nach Südosten abgedrängt wird (siehe auch Abbildung 3.2.2.4 und 3.2.2.5).

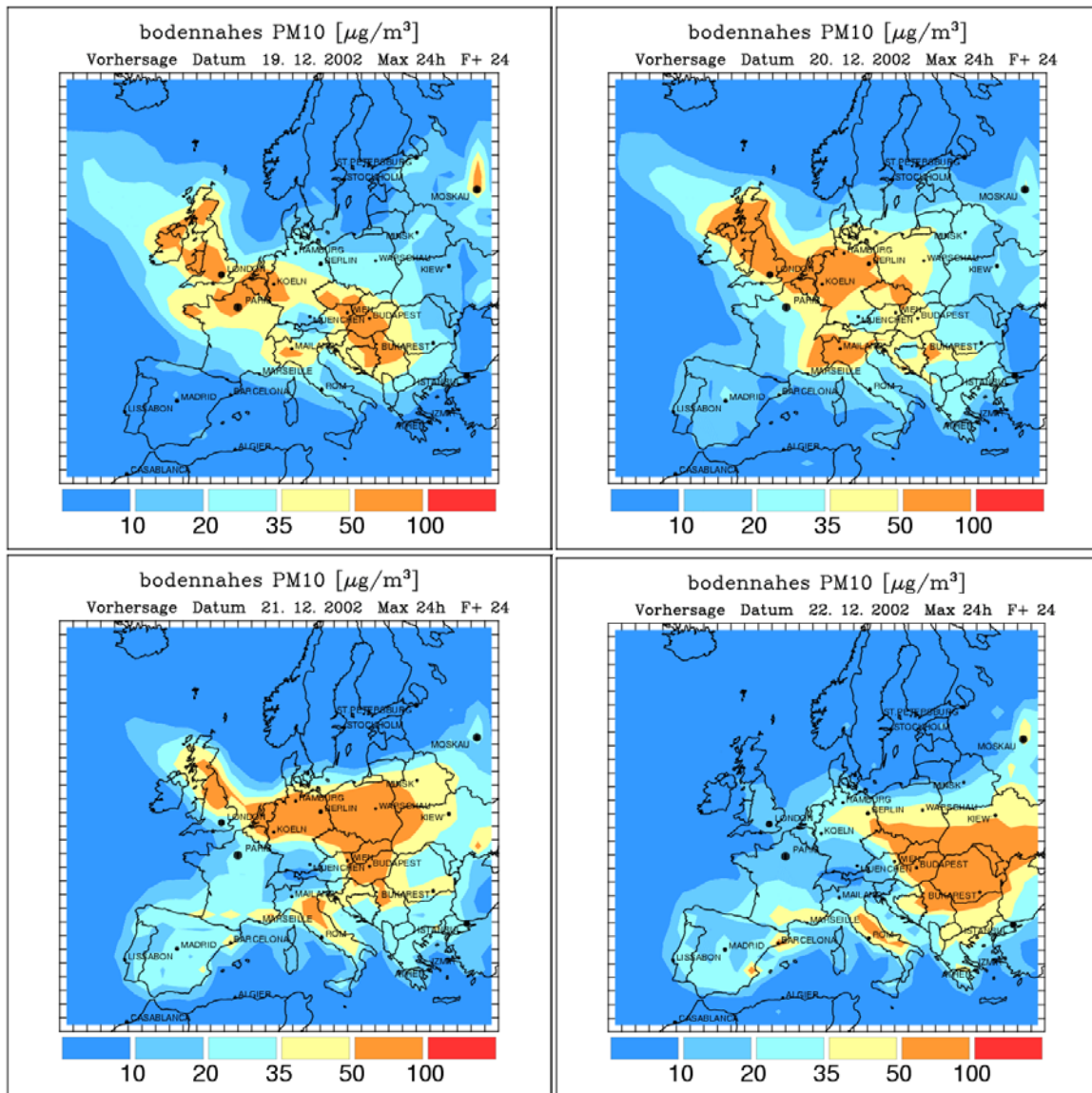


**Abbildung 3.2.2.3a:** Trajektorien und 24h-Mittel der PM10-Konzentration während Winter-Episode im Dezember 2002. Ergebnisse der Modellrechnung mit dem EURAD-Modell für den 8. – 12.12.2002 (N0, 125 km Maschenweite).

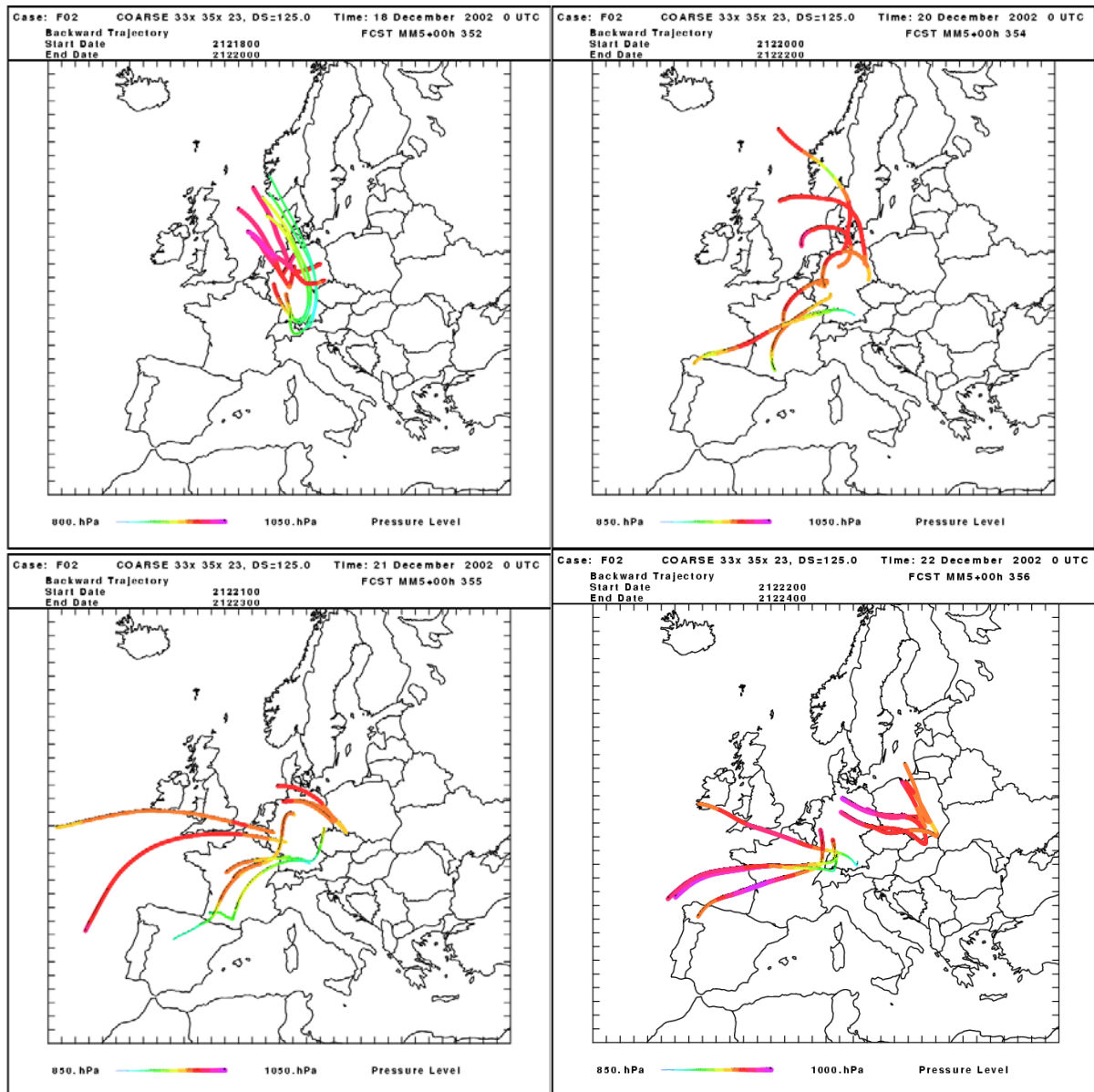




**Abbildung 3.2.2.3b:** Trajektorien und 24h-Mittel der PM10-Konzentration während Winter-Episode im Dezember 2002. Ergebnisse der Modellrechnung mit dem EURAD-Modell für den 14. - 18.12.2002 (N0, 125 km Maschenweite).

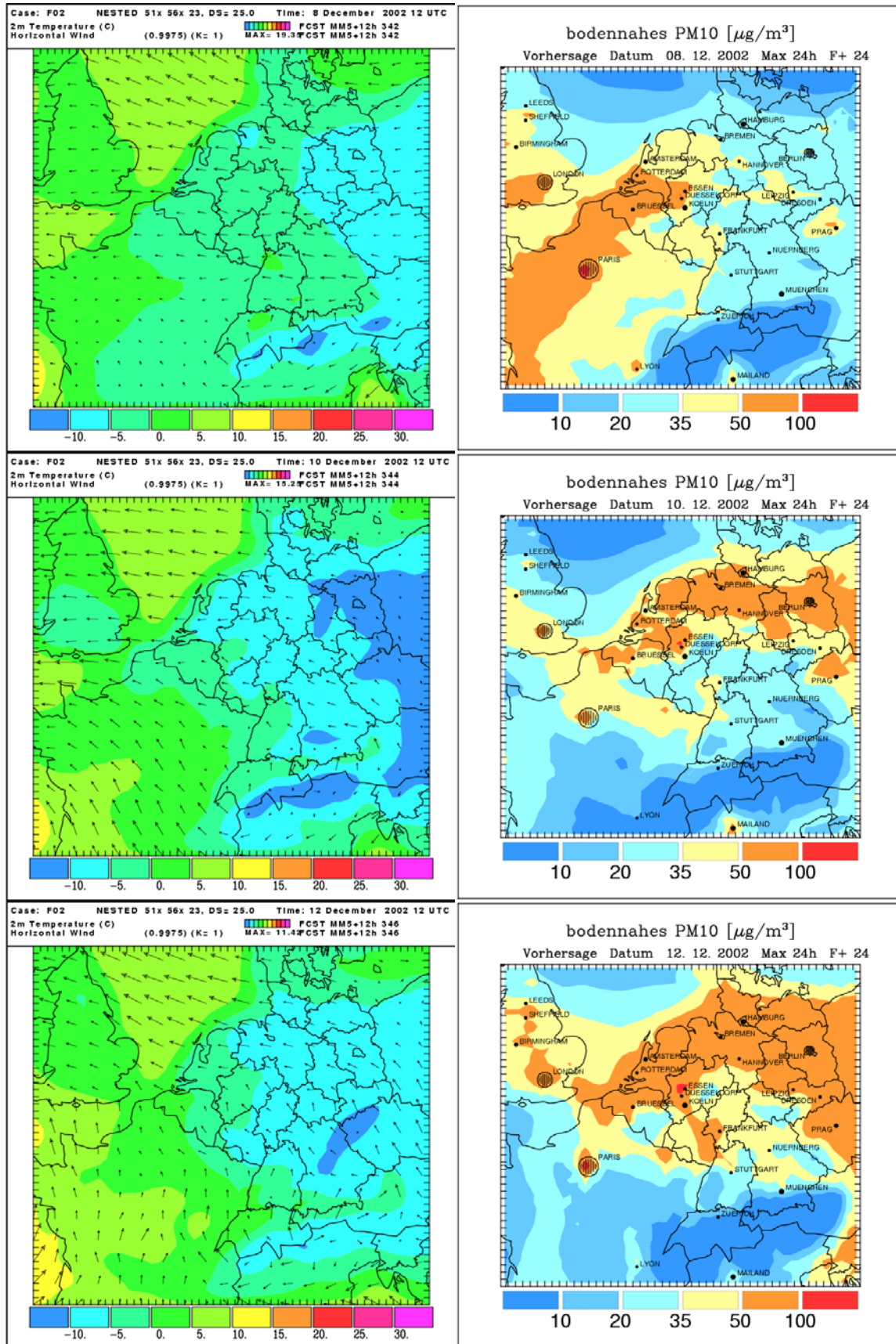


**Abbildung 3.2.2.4:** 24h-Mittel der PM<sub>10</sub>-Konzentration während Winter-Episode im Dezember 2002. Ergebnisse der Modellrechnung mit dem EURAD-Modell für den 19. – 22.12.2002 (N0, 125 km Maschenweite). Am 19.12. liegen die PM-Konzentrationen in Niedersachsen noch relativ niedrig, während am 20.12. der Einfluss der südwestlich von Niedersachsen liegenden Luftmasse mit relativ hohen PM-Konzentrationen auf Niedersachsen zunimmt und zu einem Anstieg von PM<sub>10</sub> führt. Auch die Messungen in Hannover-Linden und Bösel zeigen eine vorübergehende Abnahme von PM<sub>10</sub> am 18. und 19.12. mit einem nachfolgenden Anstieg am 20. und 21.12. Am 22.12. werden die Luftmassen mit den relativ hohen PM-Werten nach Osten abgedrängt.

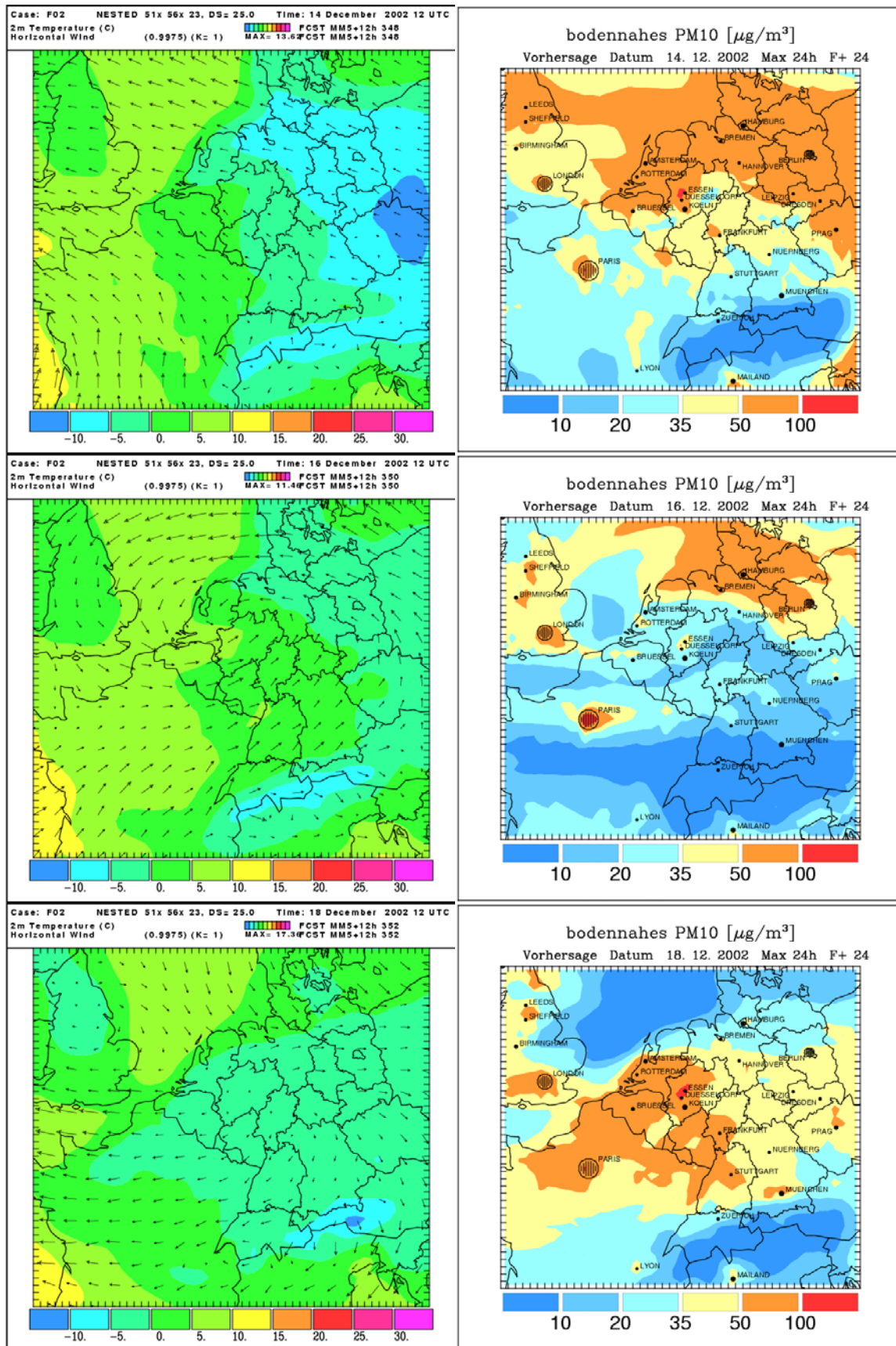


**Abbildung 3.2.2.5:** 48h-Rückwärtstrajektorien in der Endphase der Belastungsperiode Mitte Dezember 2002.

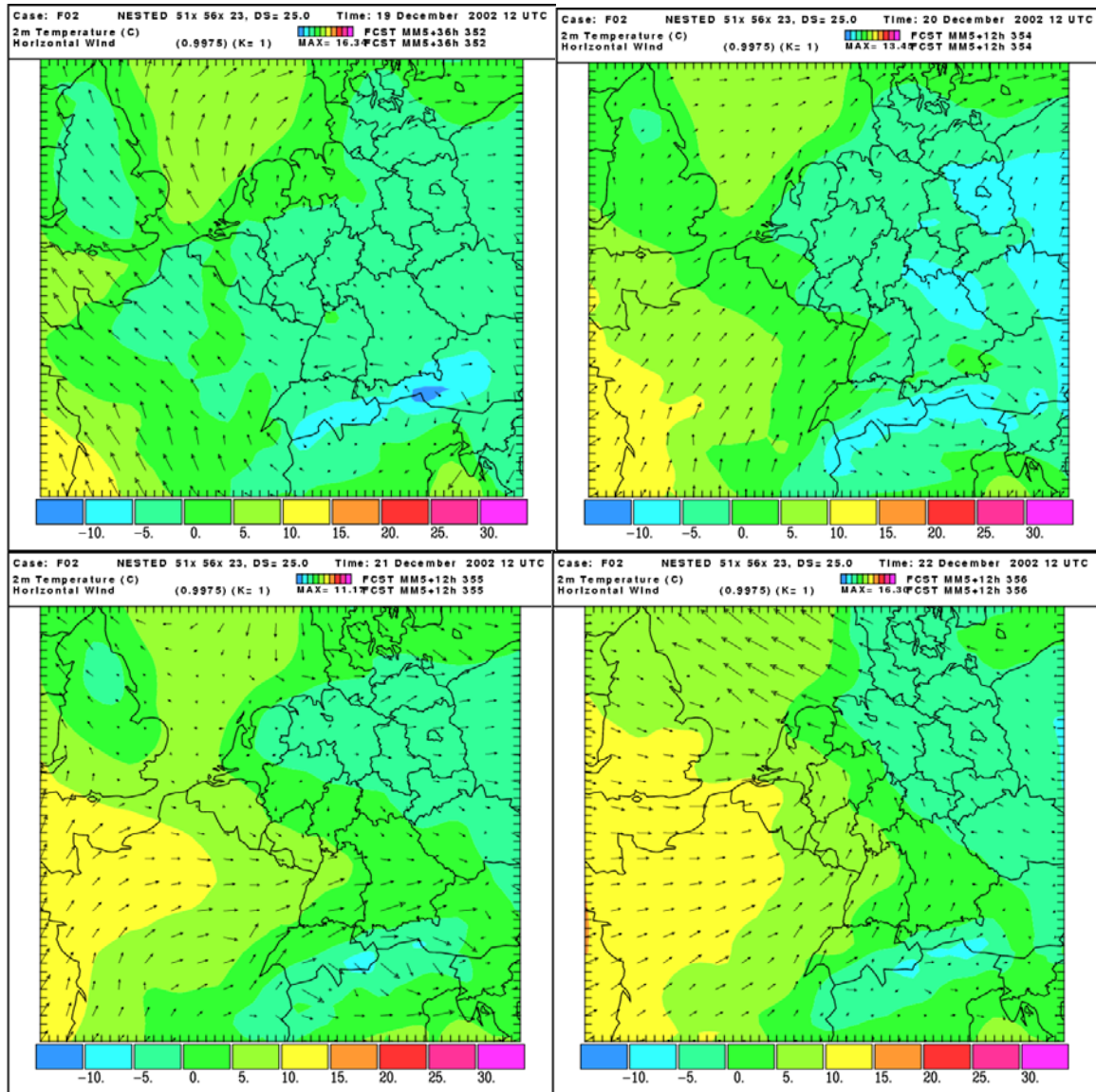




**Abbildung 3.2.2.6a:** Meteorologische Situation und PM<sub>10</sub>-Konzentration (24h-Mittelwert) zu Beginn der Winterepisode im Dezember 2002 (8. -12.12.2002). Niedersachsen liegt im Zustrom von Luft aus Osten und Südosten und wird ab dem 10.12. von einem ausgedehnten Gebiet mit hoher Aerosolbelastung beeinflusst.

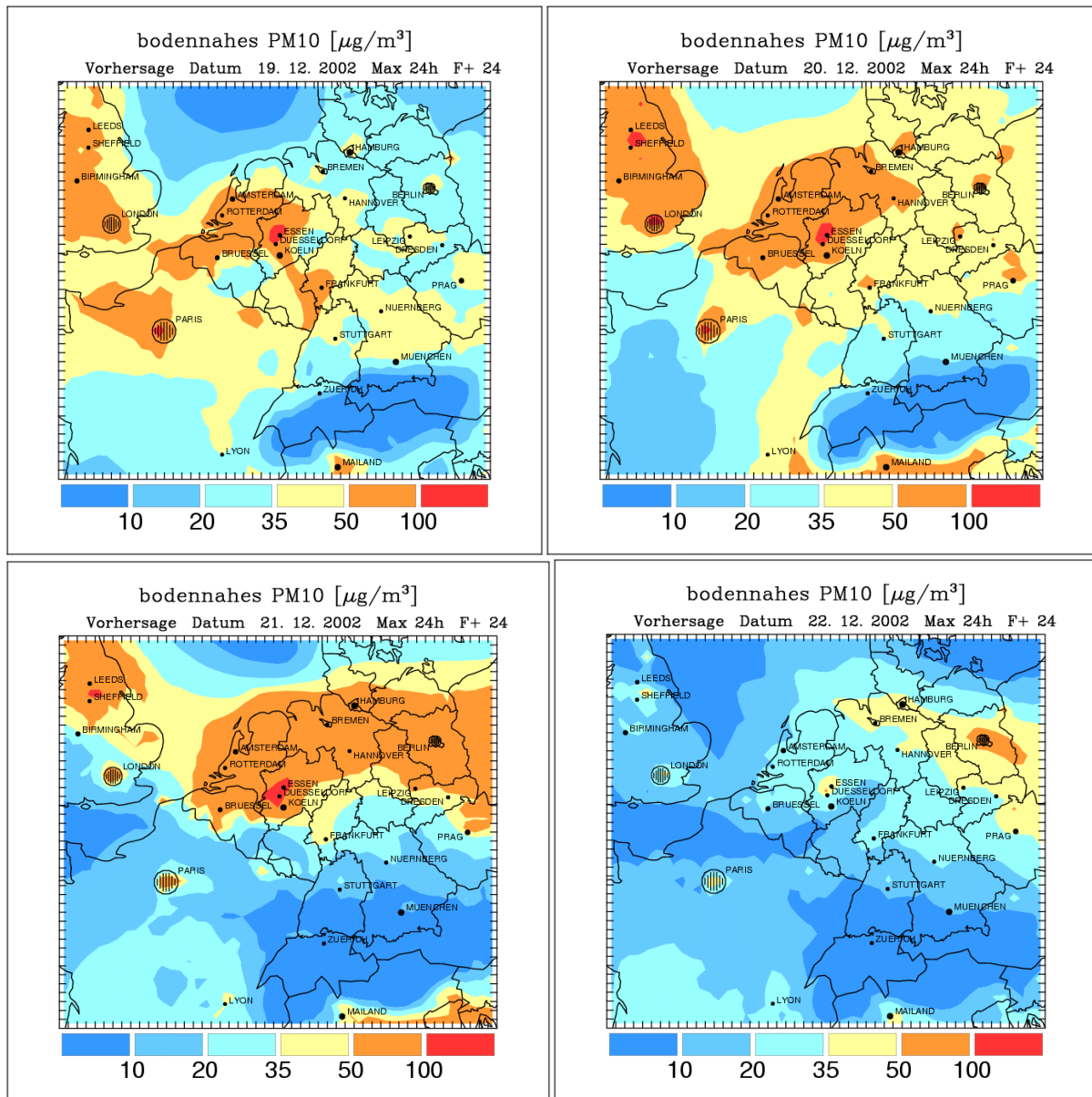


**Abbildung 3.2.2.6b:** Meteorologische Situation und PM<sub>10</sub>-Konzentration (24h-Mittelwert) während der Winterepisode im Dezember 2002 (14. -18.12.2002). Niedersachsen liegt zunächst noch im Zustrom von Luft aus Osten und Südosten und in einem ausgedehnten Gebiet mit hoher Aerosolbelastung. Am 18.12. wird die partikelreiche Luft vorübergehend nach Südwesten abgedrängt, die Aerosolbelastung in Niedersachsen sinkt.



**Abbildung 3.2.2.7:** Meteorologische Situation in der Endphase der Winterepisode im Dezember 2002. Niedersachsen gelangt in den Randbereich eines Tiefs über Island, liegt aber noch in einer südöstlichen Luftströmung (am 22.12.).





**Abbildung 3.2.2.8:** PM<sub>10</sub>-Konzentration (24h-Mittel) im N1-Gebiet (25 km Gitterweite) vom 19. – 22.12.2002. Niedersachsen liegt zunächst am Ostrand eines Hochs über den britischen Inseln in einer nördlichen Strömung, die PM-Werte gehen vorübergehend zurück. Danach verlagerte sich das Hoch rasch über Mitteleuropa zum Balkan und verliert seinen Einfluss auf Niedersachsen. Damit geht auch die Partikelbelastung in Niedersachsen allmählich etwas zurück.

### 3.2.3 Winterliche Hochdrucklagen im Februar und März 2003

Der Februar 2003 war durch eine lang anhaltende Tendenz zu stabilen Hochdrucklagen über Ost- und Mitteleuropa gekennzeichnet, die immer wieder zu hohen PM-Konzentrationen führte. Eine erste Spitze im monatlichen Verlauf der PM-Konzentrationen trat am 11./12. Februar 2003, weitere Spitzen Ende Februar/Anfang März 2003 auf.

Die Abbildungen 3.2.3.1a-c zeigen im Zeitreihenvergleich die stündlichen Werte von PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub> und SO<sub>2</sub> an der NLÖ-Station Hannover-Linden. Am 7.2. werden die in Hannover-Linden gemessenen PM-Werte überschätzt, am 10.02. kommt es zu einem kurzzeitigen Anstieg am Nachmittag, der von der Modellrechnung nicht erfasst wird. In der Zeit vom 12. bis 18.2. wird das hohe Niveau der PM-Konzentrationen bis zum 15.2. gut getroffen, ebenso der erneuten Anstieg im Laufe des 16.2. NO<sub>2</sub> wird bis auf Abweichungen am 6.2. von der Modellrechnung gut wiedergegeben. Bei SO<sub>2</sub> kommt es zu größeren Abweichungen, die vermutlich durch zu hohe SO<sub>2</sub>-Emissionen in Osteuropa bedingt sind. Im Hinblick auf Emissionsdaten besteht grundsätzlich die folgende Problematik: Bei der Nutzung von Emissionsdaten ist das EURAD-Prognosesystem auf die Verwendung von Datenbasen angewiesen, die allgemein verfügbar sind. Diese Datenbasen werden bei EMEP mit einer gewissen zeitlichen Verzögerung zur Verfügung gestellt, können also nie zeitaktuell sein. Außerdem enthalten selbst Datenbasen für ein bestimmtes Bezugsjahr noch ältere Daten, die vor dem Zeitpunkt des Bezugsjahres liegen. Besonders bei SO<sub>2</sub>-Emissionen ist es in Europa, vor allem im Osten, zu einem besonders deutlichen Rückgang in den Jahren seit 1990 gekommen. Dieser Rückgang ist nur teilweise in den vorliegenden Emissions-Datenbasen erfasst.

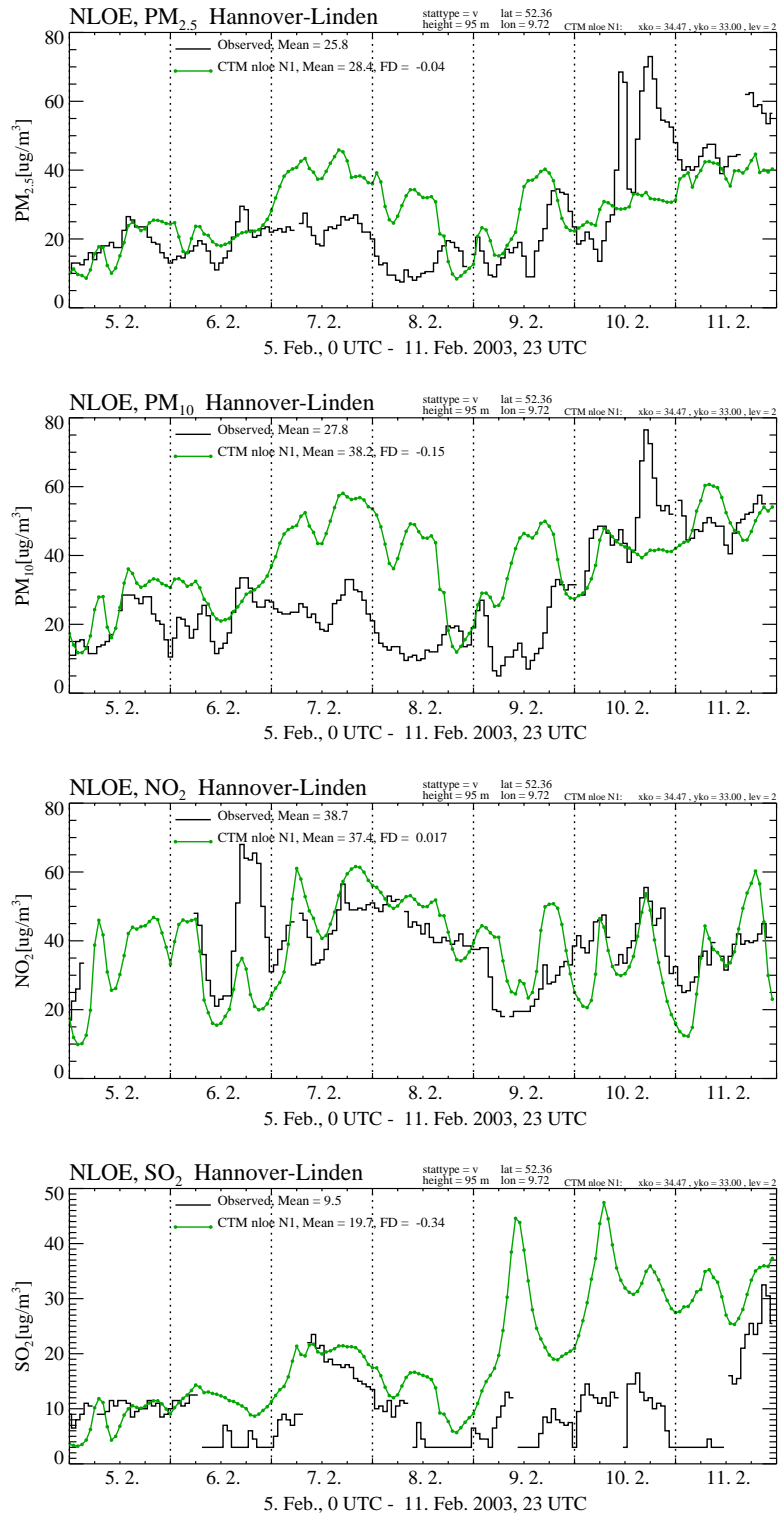
Ergänzend sind in Abbildung 3.2.3.1d die Zeitreihen vom PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub> und O<sub>3</sub> vom 26. - 31.03.2003 dargestellt. In diesem Fall wurde Ozon betrachtet, da es sich um die erste stärker photochemisch geprägte Episode des Jahres 2003 handelt. Gemessene und modellierte Ozonkonzentrationen überschreiten erstmals in 2003 einen Wert von 100 µg/m<sup>3</sup>.

Die großräumige meteorologische Situation und ihre Entwicklung vom 6. bis 16.2.2003 sind in Abbildung 3.2.3.2 dargestellt (Ergebnisse der N0-Rechnung). Bis zum 10.2. gerät Mitteleuropa und damit auch Niedersachsen in den Einflussbereich eines Hochdruckgebietes, das von Russland nach Polen und Südkandinavien zieht. In seinem Bereich gelangt Niedersachsen, das am 8.2. noch weitgehend im Bereich von Luftmassen aus Frankreich lag (siehe auch Abbildung 3.2.3.3a), zunehmend in den Bereich von Luftmassen, die aus Südosten herantransportiert werden. Besonders am 14.2. zeigt die Modellrechnung ein zusammenhängendes großes Gebiet mit hohen 24h-Mittelwerten von PM<sub>10</sub> über Europa. In dessen Bereich liegt auch Niedersachsen. Am 16.2. dringt mit hohen Windgeschwindigkeiten kalte und saubere Luft aus Nordosten nach Niedersachsen ein und unterbricht diese Episode mit hohen PM-Konzentrationen für etwa einen Tag (siehe auch Abbildung 3.2.3.3b, unten). Abbildung 3.2.3.4a,b zeigen diese Episode mit der höheren Auflösung von 25 km mit etwas mehr Details. Auch hier zeigt sich sehr deutlich der Einbruch kalter Luft aus Nordosten, der die Episode hoher Belastung für etwa einen Tag unterbricht, bevor es, im Bereich eines Hochs über Skandinavien, bei meist südöstlichen Winden, wieder zu einem Anstieg der PM-Konzentrationen kommt.

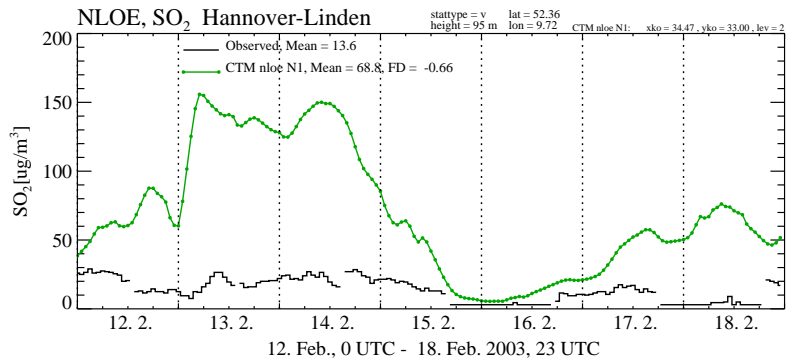
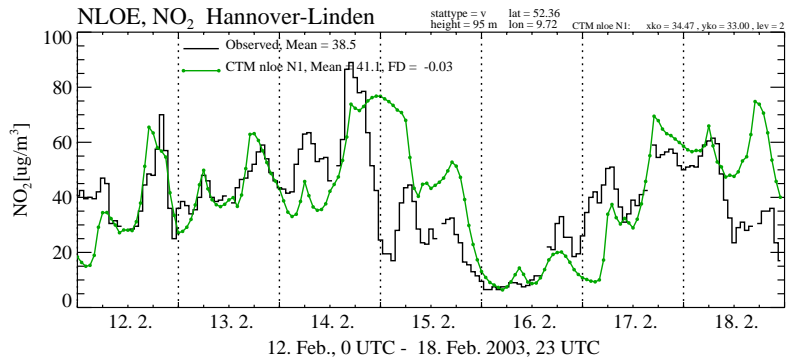
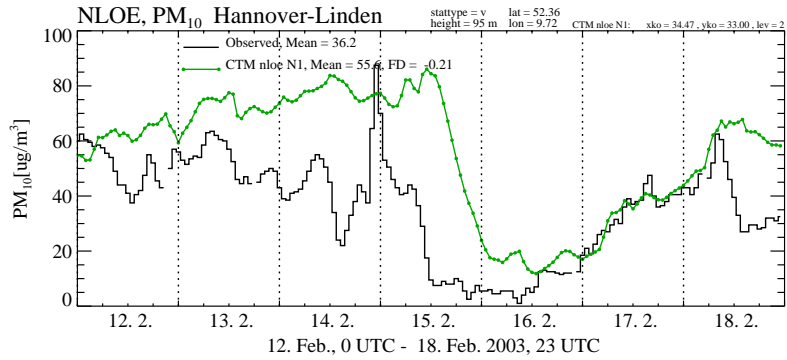
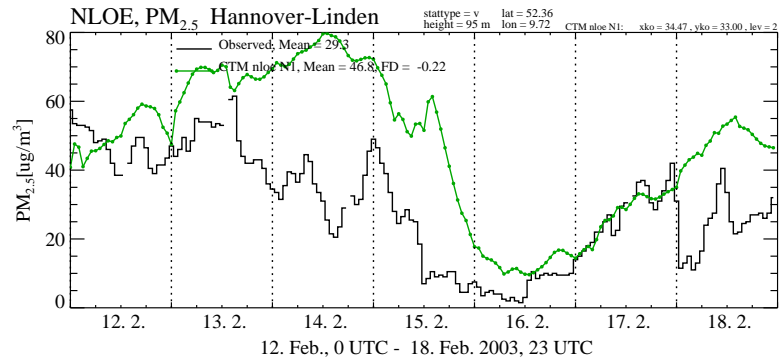
Am Ende des Monats verlief quer durch Deutschland und teilweise auch durch Niedersachsen eine Luftmassengrenze. Der westliche Teil Mitteleuropas lag dabei teilweise im Einflussbereich eines Tiefs über dem Atlantik, während Osteuropa und weite Teile Norddeutschlands immer wieder von einem Hoch über Polen und Russland beeinflusst



wurden. In den unterschiedlichen Luftmassen bildete sich ein starker Gradient der Pm-Konzentration von Südwesten nach Nordosten aus, der zeitweise für mehrere Tage auch quer durch Niedersachsen verlief (siehe Abbildungen 3.2.3.5, 3.2.3.6a,b (N0-Rechnung), sowie 3.2.3.7a,b (N1-Rechnung)). Die durch Hochdruckgebiete in Ost- und Nordeuropa immer wieder beeinflusste Situation mit hohen PM-Konzentrationen in Niedersachsen endet vorerst am 8.3.2003 mit dem Einbruch von Luft aus Westen (siehe Abbildung 3.2.3.8). Besonders am 28.02. zeigt die Modellrechnung auch einen gut ausgeprägten Ferntransport atmosphärischer Partikel von Mitteleuropa nach Island (Abbildung 3.2.3.6b, oben). Die stark aerosolbelastete Luft wird dabei über die Nordseeküste Niedersachsens auf die Nordsee und weiter auf den Atlantik transportiert.

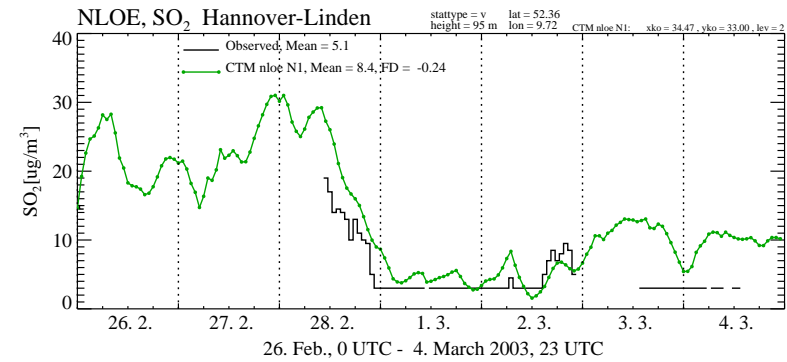
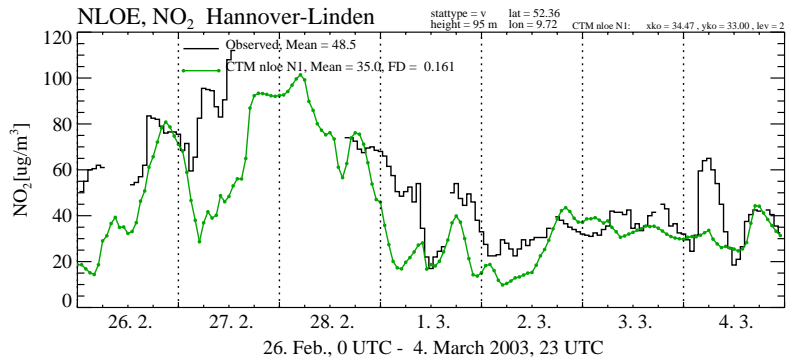
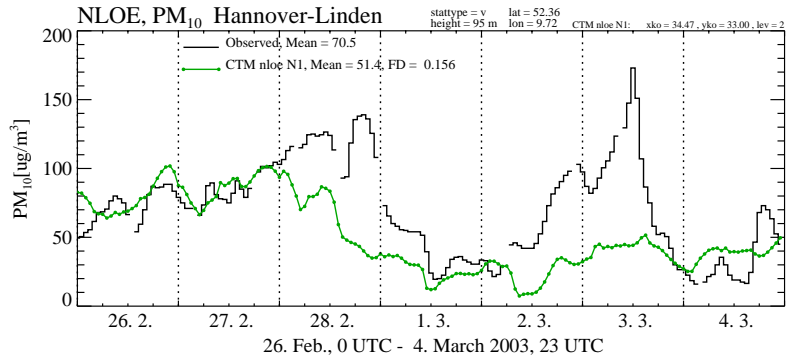
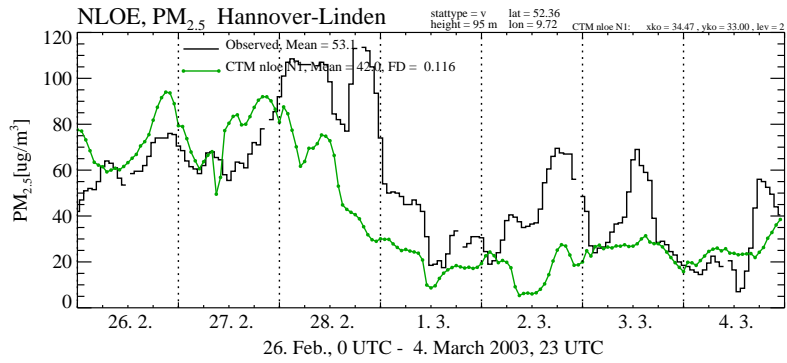


**Abbildung 3.2.3.1a:** Zeitreihenvergleich (stündliche Werte) der gemessenen Konzentrationen (schwarze Linie) und der berechneten Werte (grüne Linie) für PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub> und SO<sub>2</sub> an der NLO-Station Hannover-Linden.

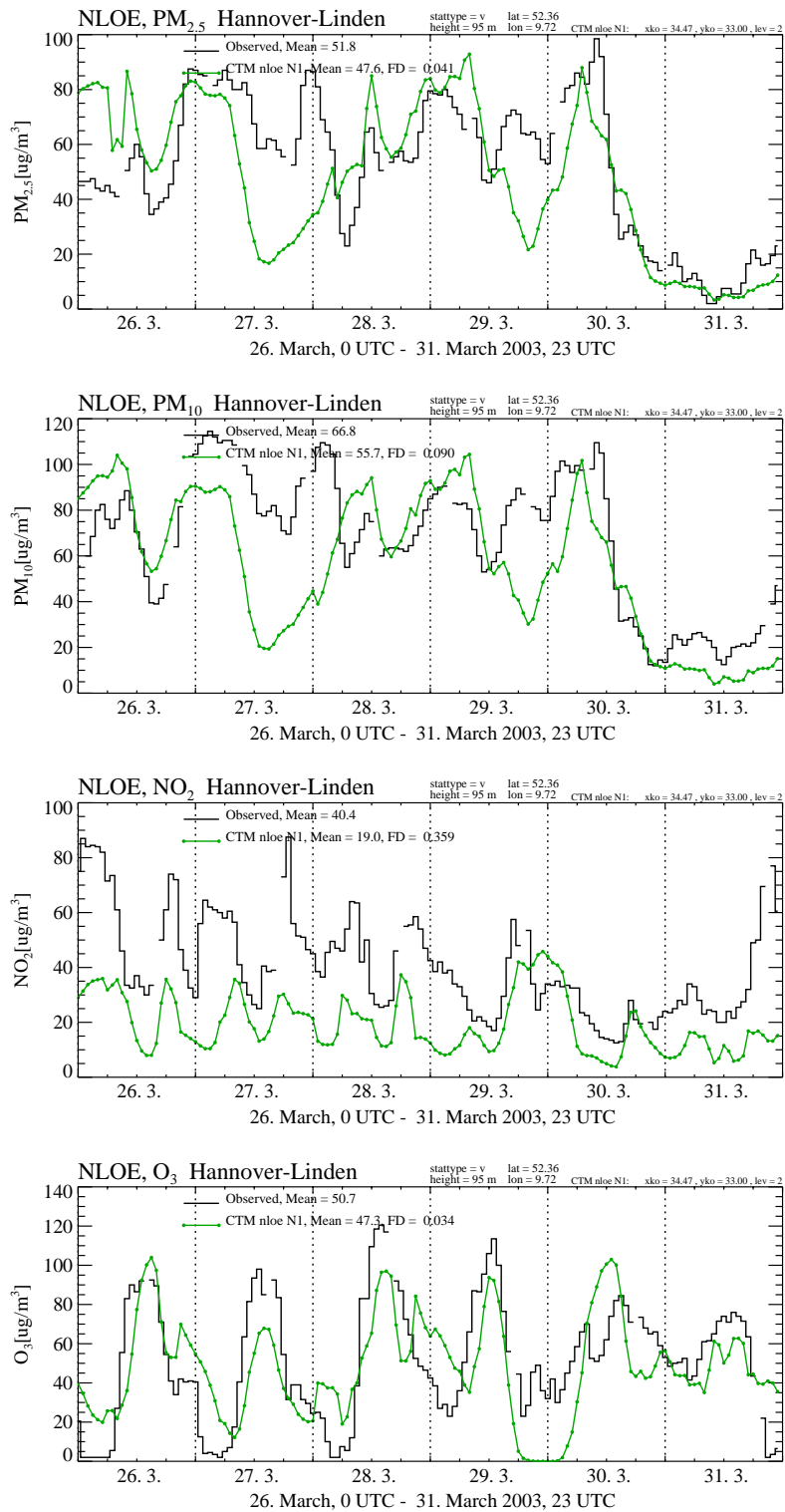


**3.2.3.1b:** Zeitreihenvergleich (stündliche Werte) der gemessenen Konzentrationen (schwarze Linie) und der berechneten Werte (grüne Linie) für PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub> und SO<sub>2</sub> an der NLO-Station Hannover-Linden.

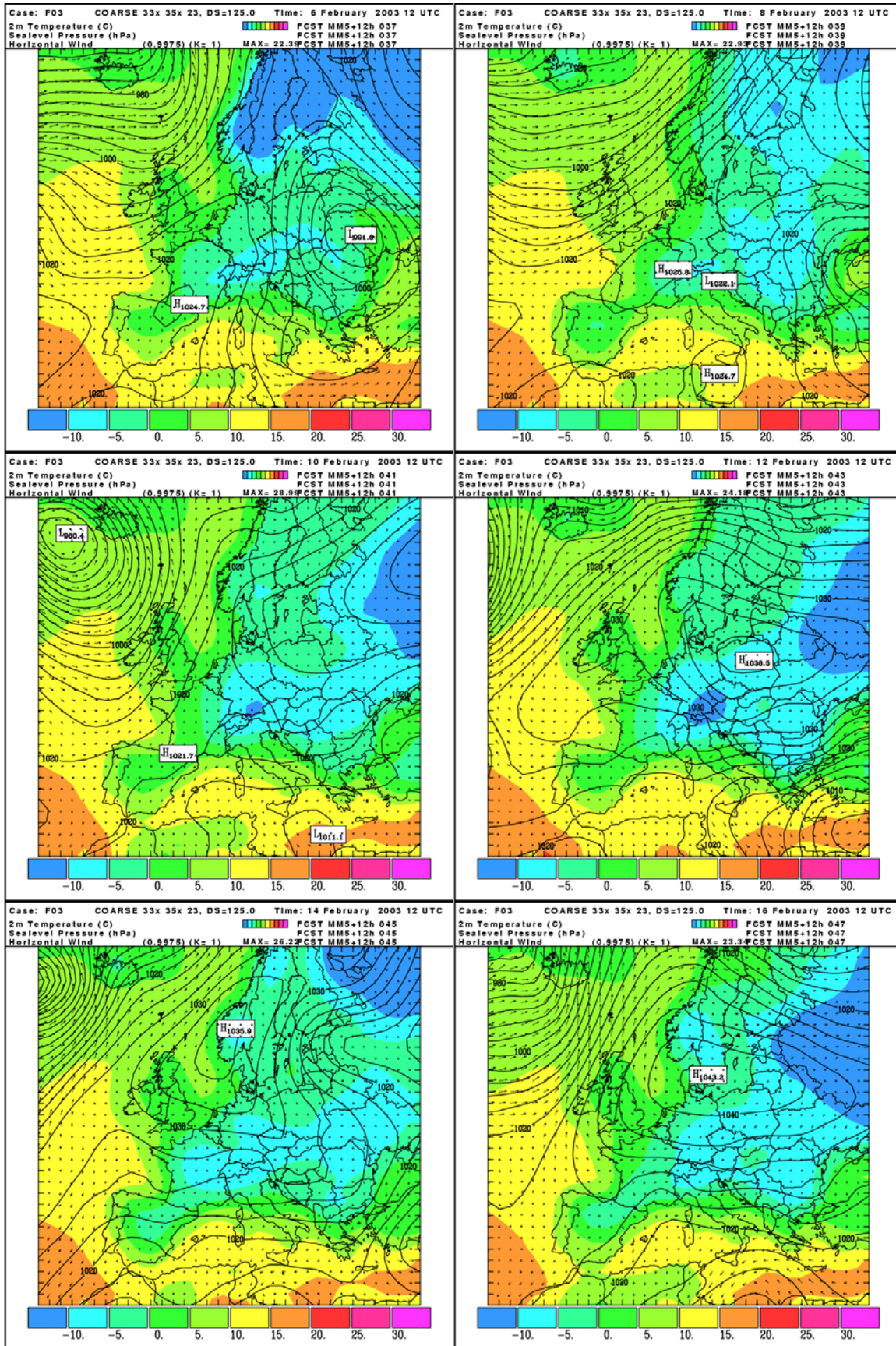
MODMESS



3.2.3.1c: Zeitreihenvergleich (stündliche Werte) der gemessenen Konzentrationen (schwarze Linie) und der berechneten Werte (grüne Linie) für PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub> und SO<sub>2</sub> an der NLO-Station Hannover-Linden.

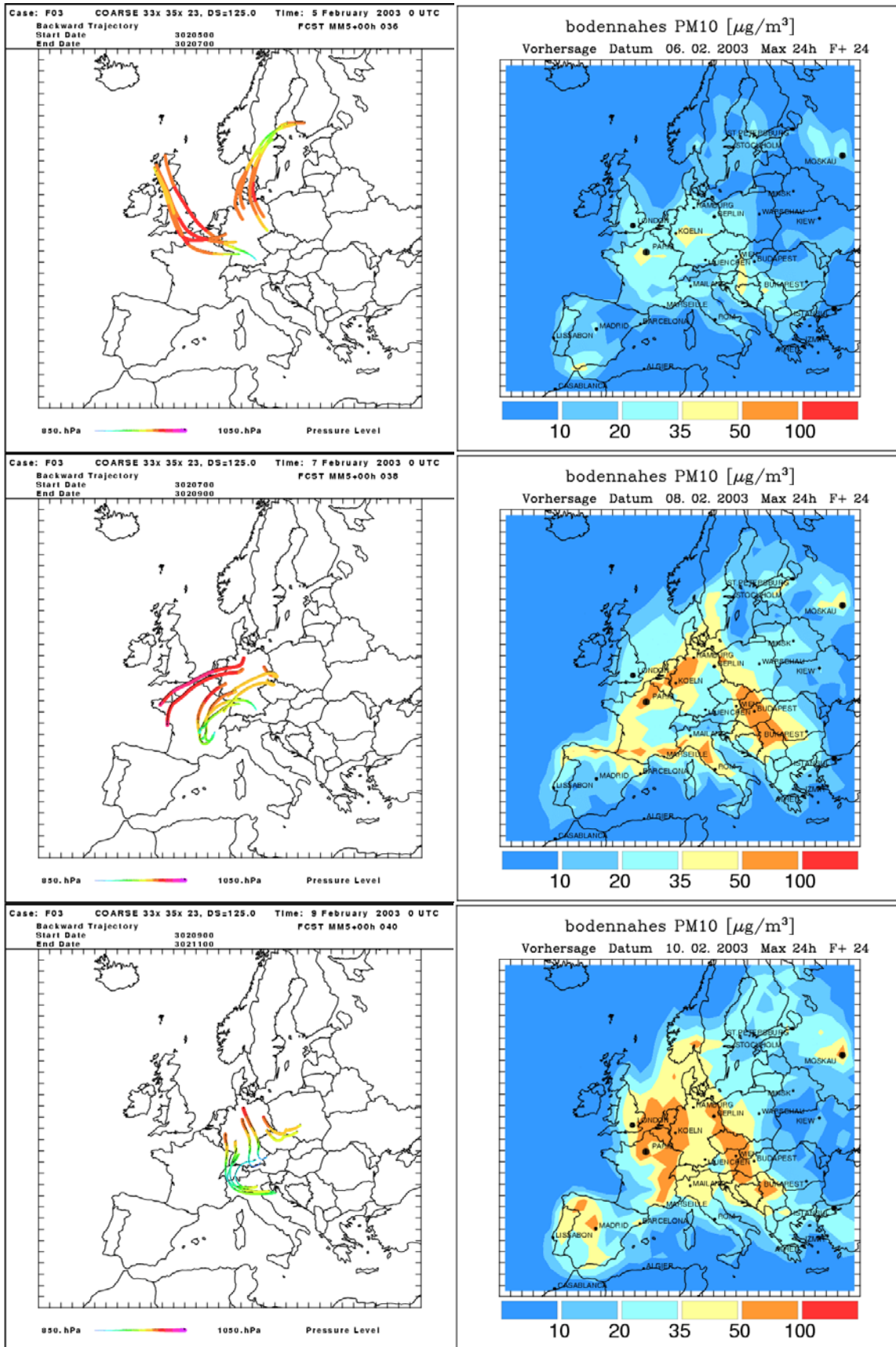


**Abbildung 3.2.3.1d:** Zeitreihenvergleich (stündliche Werte) der gemessenen Konzentrationen (schwarze Linie) und der berechneten Werte (grüne Linie) für PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub> und Ozon an der NLO-Station Hannover-Linden.

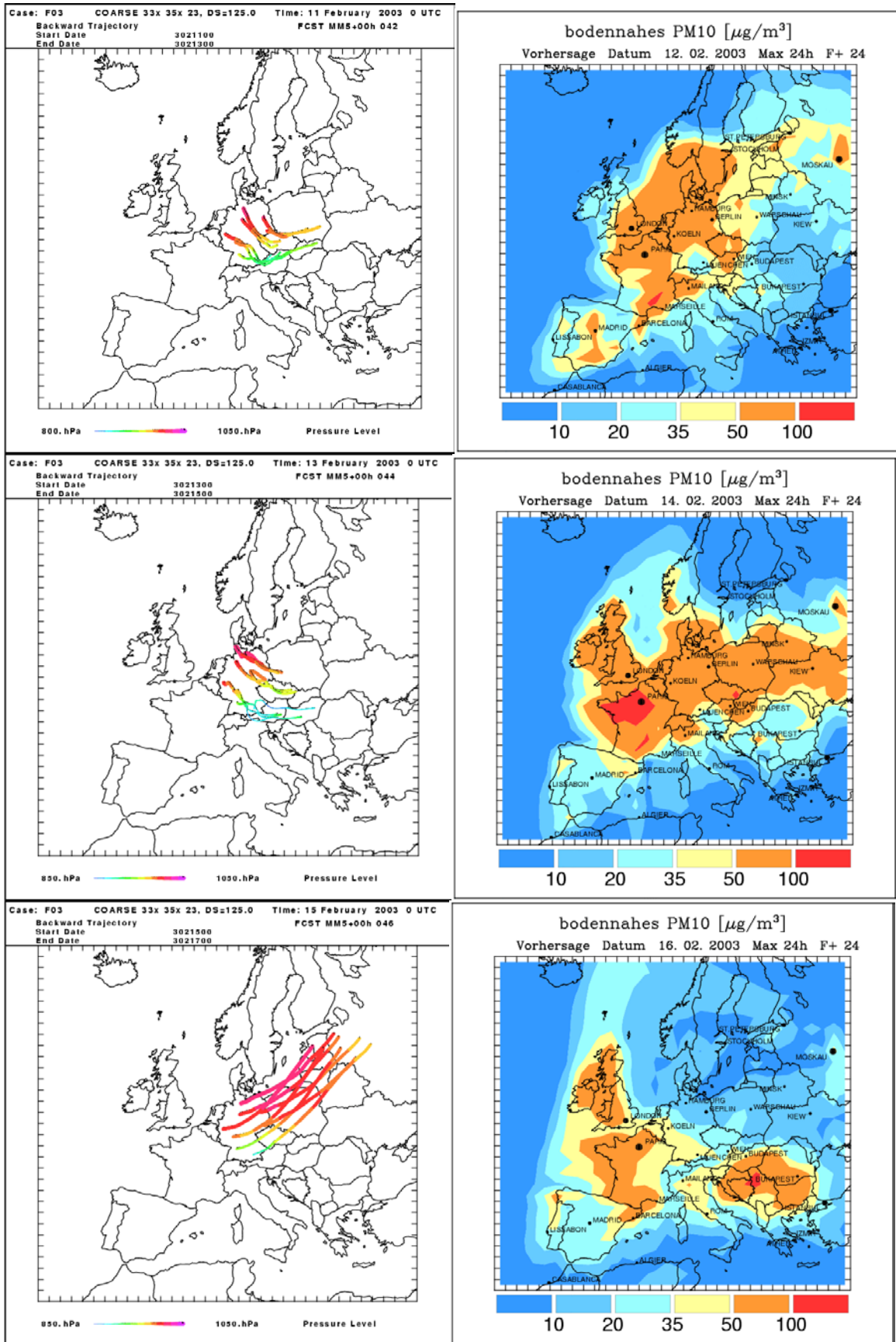


**Abbildung 3.2.3.2:** Entwicklung der meteorologischen Situation über Europa vom 6. – 16. Februar 2003. Am 11./12.2. wurden an den NLO-Stationen Hannover-Linden (HRSW) und Bösel (BLWW) hohe PM-Werte gemessen.





**Abbildung 3.2.3.3a:** PM-Episode vom 6. – 10.2.03. Ergebnisse der Modellrechnung mit dem EURAD-Modell für den 6.-10.2.03 (N0, 125 km Maschenweite): Rückwärtstrajektorien (2 Tage) und PM<sub>10</sub>-Konzentration (24h-Mittelwert). In den ersten Tagen dieser Episode drehte die Luftzufuhr nach Mitteleuropa von südwestlichen Richtungen über Süd nach Ost. Die PM-Konzentrationen stiegen von Tag zu Tag an und führten auch in Niedersachsen zu stark erhöhten Werten von mehr als 50 µg/m<sup>3</sup> bei den 24h-Mittelwerten.



**Abbildung 3.2.3.3b:** PM-Episode vom 12. – 16.2.03. Ergebnisse der Modellrechnung mit dem EURAD-Modell für den 12.-16.2.03 (N0, 125 km Maschenweite): Rückwärtstrajektorien (2 Tage) und PM<sub>10</sub>-Konzentration (24h-Mittelwert). In den ersten Tagen dieser Episode drehte die Luftzufuhr nach Mitteleuropa von südwestlichen Richtungen über Süd nach Ost. Die PM-Konzentrationen liegen in weiten Teilen Europas hoch und führen auch in Niedersachsen zu stark erhöhten Werten von mehr als 50 µg/m<sup>3</sup> bei den 24h-Mittelwerten.



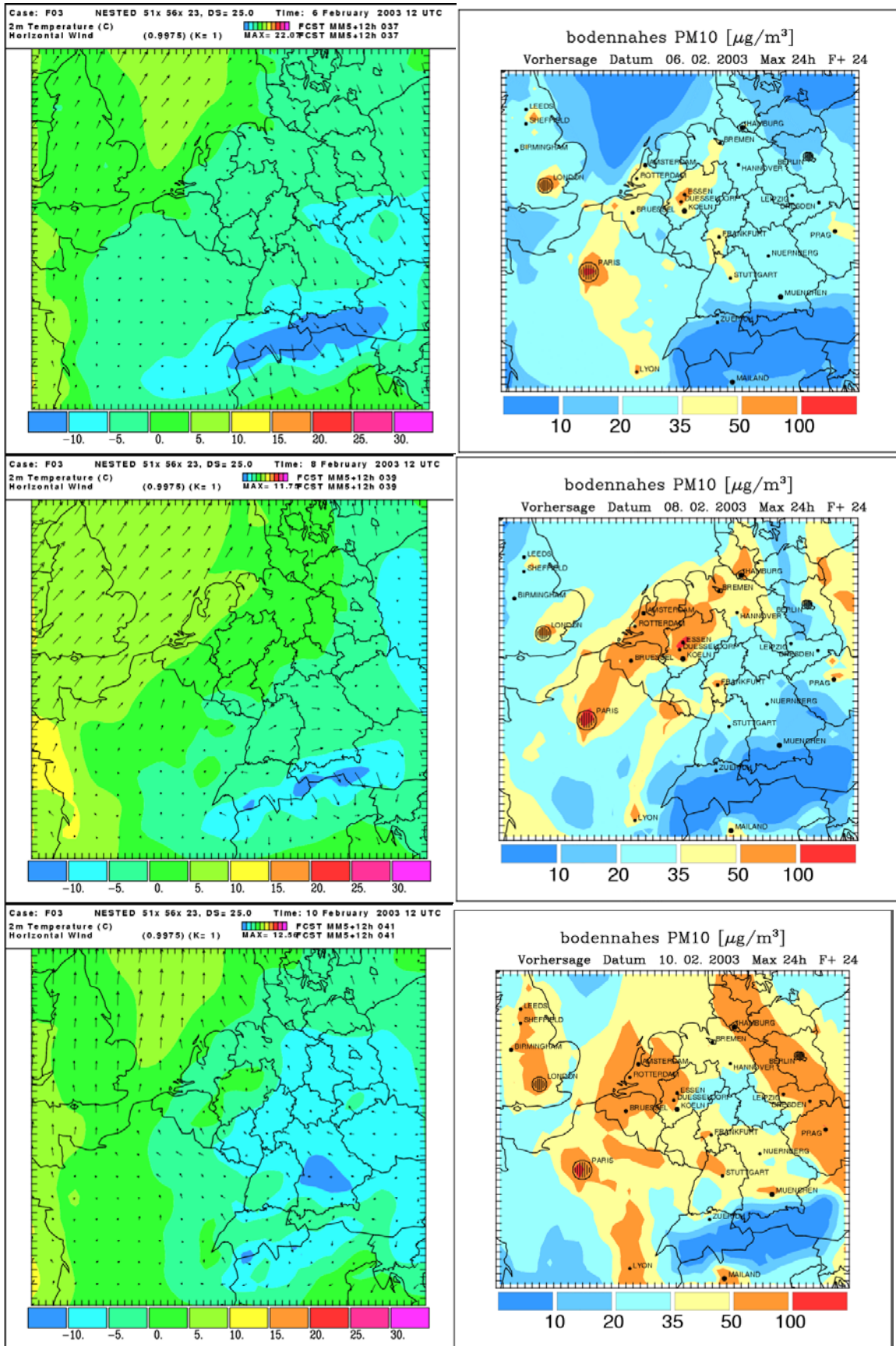


Abbildung 3.2.3.4a: Meteorologische Situation (N1, 25 km) und Maxima der 24h-Mittelwerte von PM<sub>10</sub> der Episode im Februar 2003.

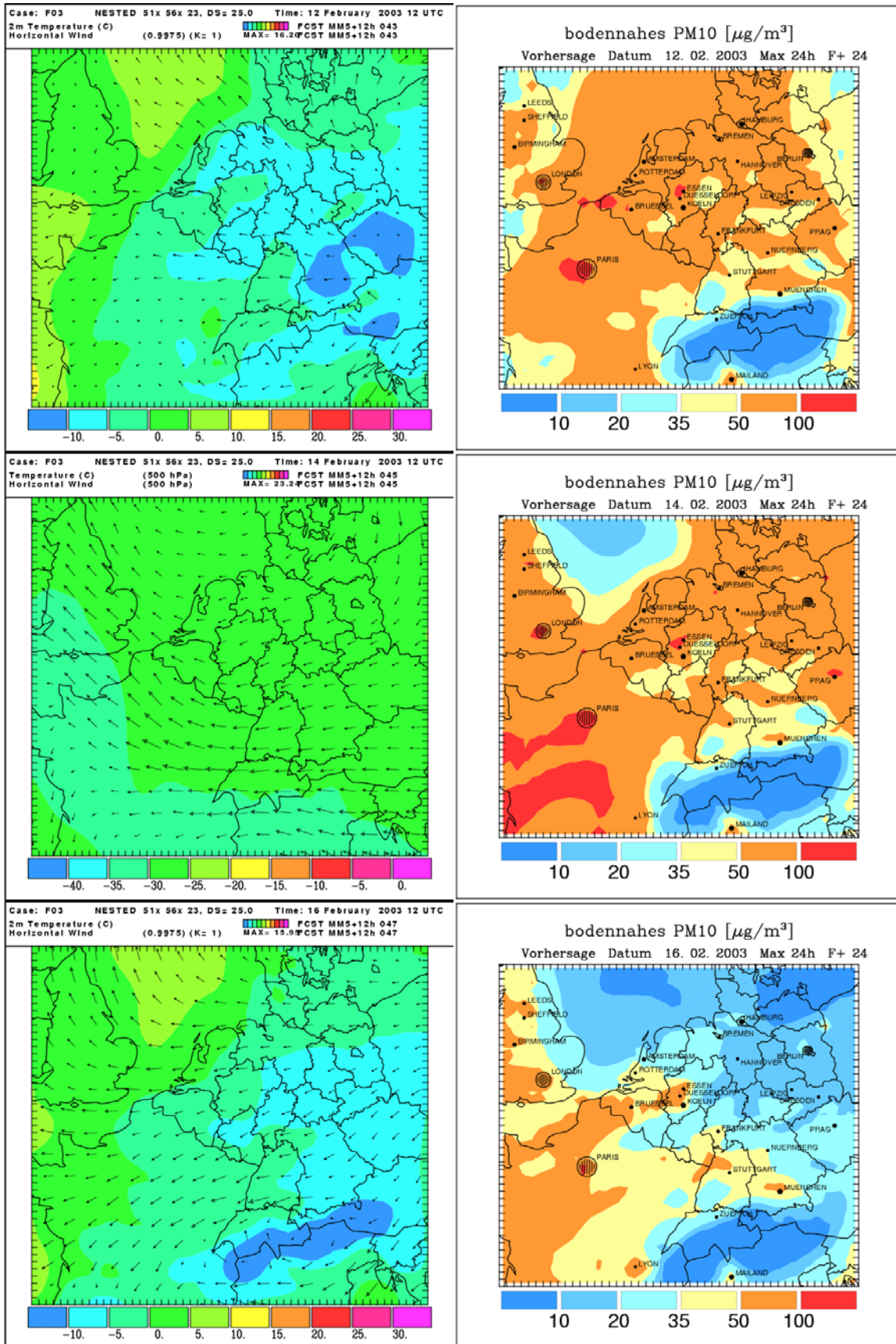
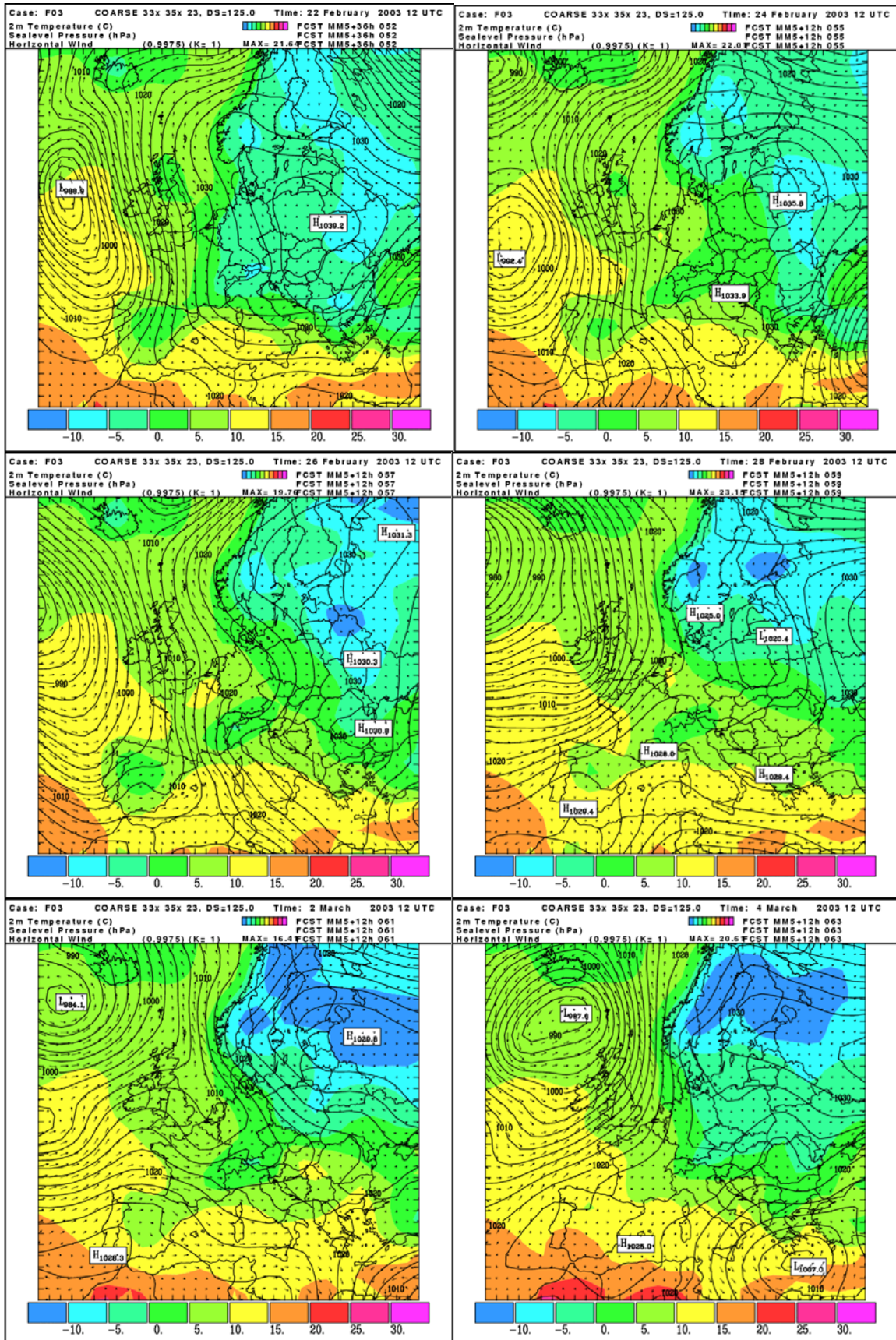
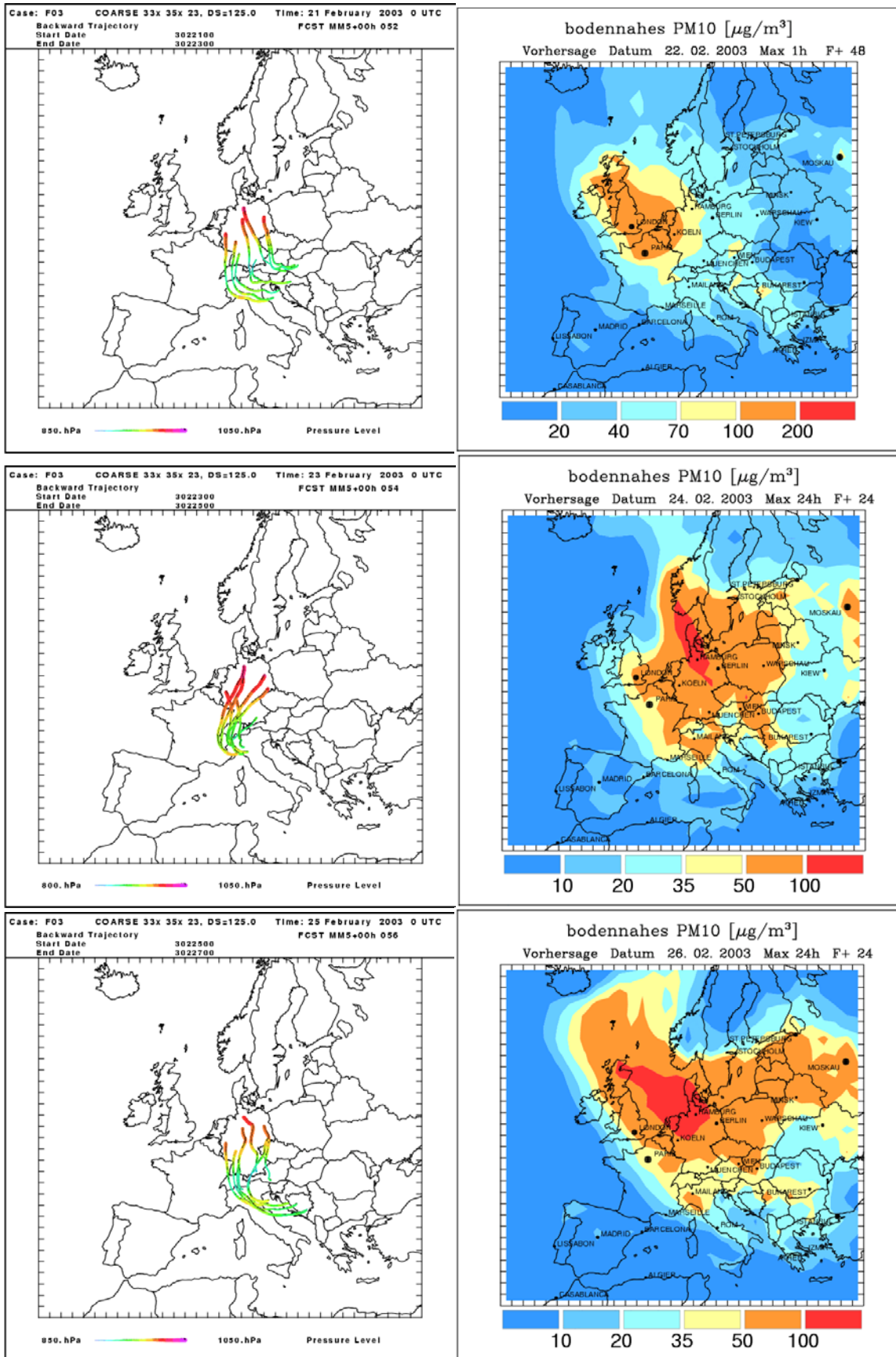


Abbildung 3.2.3.4b: Meteorologische Situation (N1, 25 km) und Maxima der 24h-Mittelwerte von PM<sub>10</sub> der Episode im Februar 2003.



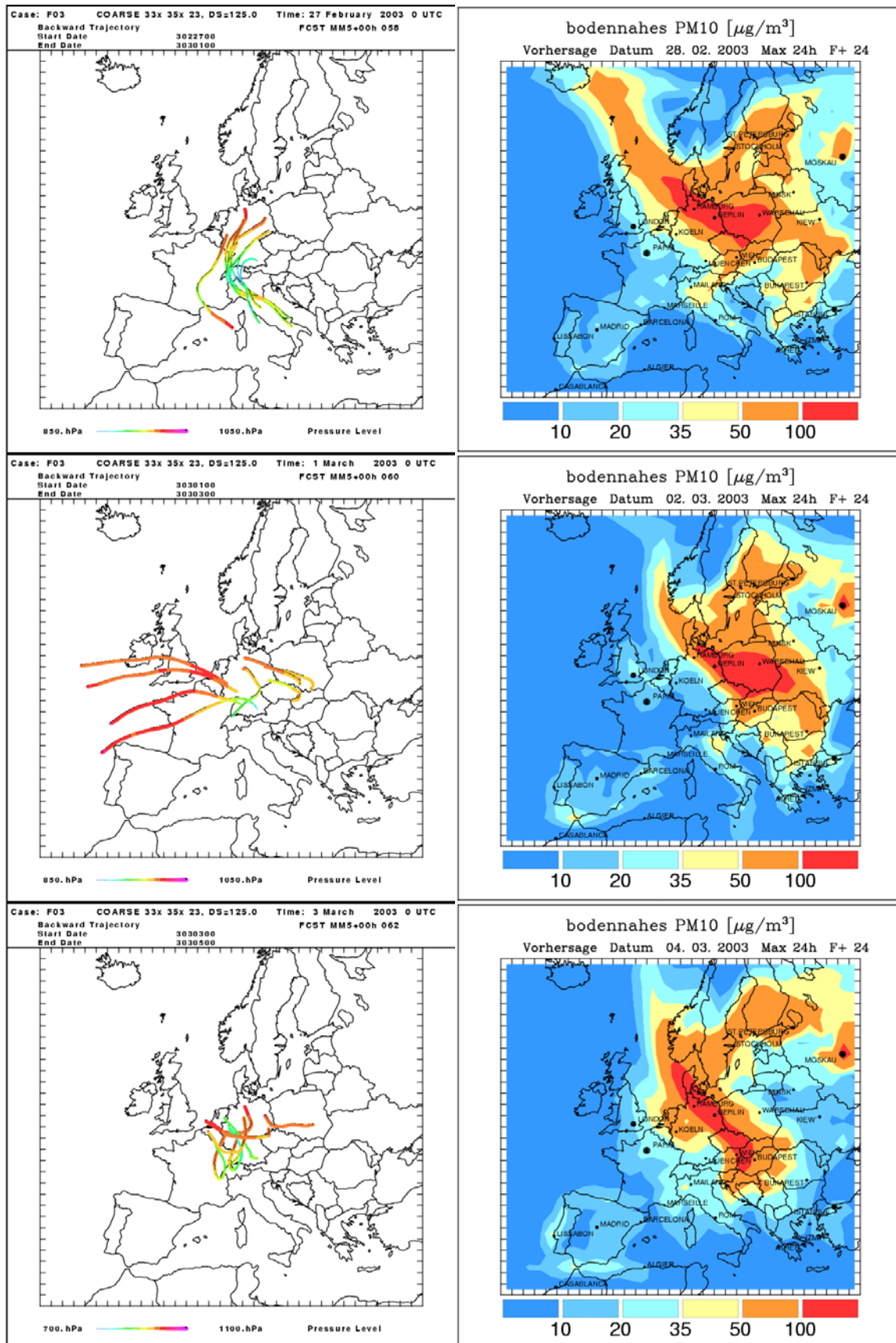


**Abbildung 3.2.3.5:** Entwicklung der meteorologischen Situation über Europa vom 22.02. – 04.03.2003. Besonders hohe PM10-Werte wurden an den NLO-Stationen Hannover-Linden (HRSW) und Bösel am 28.02. und am 03.03. gemessen.



**Abbildung 3.2.3.6a:** PM-Episode vom 22. – 26.2.03. Ergebnisse der Modellrechnung mit dem EURAD-Modell für den 22.- 26.2.03 (N0, 125 km Maschenweite): Rückwärtstrajektorien (2 Tage) und PM<sub>10</sub>-Konzentration (24h-Mittelwert). Die Trajektorien zeigen, dass die Luftzufuhr nach Mitteleuropa überwiegend aus Süden erfolgte. Die PM-Konzentrationen stiegen von Tag zu Tag an und führten auch in Niedersachsen zu stark erhöhten Werten von mehr als 50 µg/m<sup>3</sup> bei den 24h-Mittelwerten, teilweise wurden 100 µg/m<sup>3</sup> überschritten.





**Abbildung 3.2.3.6b:** PM-Episode vom 28. – 04.03.03. Ergebnisse der Modellrechnung mit dem EURAD-Modell für den 28.- 04.03.03 (N0, 125 km Maschenweite): Rückwärtstrajektorien (2 Tage) und PM<sub>10</sub>-Konzentration (24h-Mittelwert). Die Trajektorien zeigen, dass die Luftzufuhr nach Mitteleuropa Ende Februar nochüberwiegend aus Süden erfolgte. Anfang März stammen die Luftmassen jedoch teilweise aus Westen, teilweise aus Osten – in Deutschland verläuft eine ausgeprägte Luftmassengrenze, die sich in sehr hohen Konzentrationsgradienten auch in Niedersachsen zeigt (vgl. auch Abbildung 3.2.3.7b)

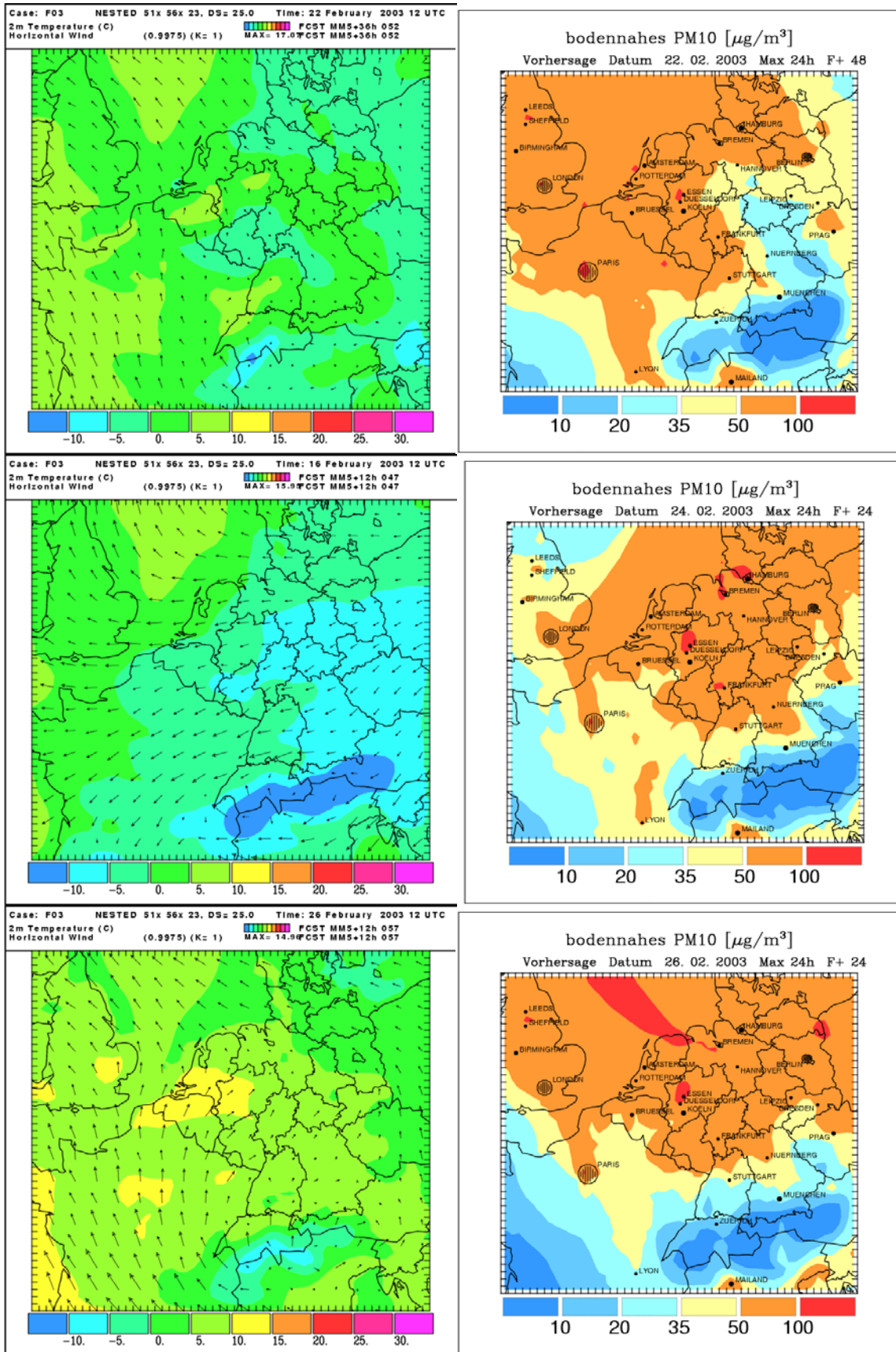


Abbildung 3.2.3.7a: Meteorologische Situation (N1, 25 km) und Maxima der 24h-Mittelwerte von PM<sub>10</sub> der Episode im Februar/März 2003.



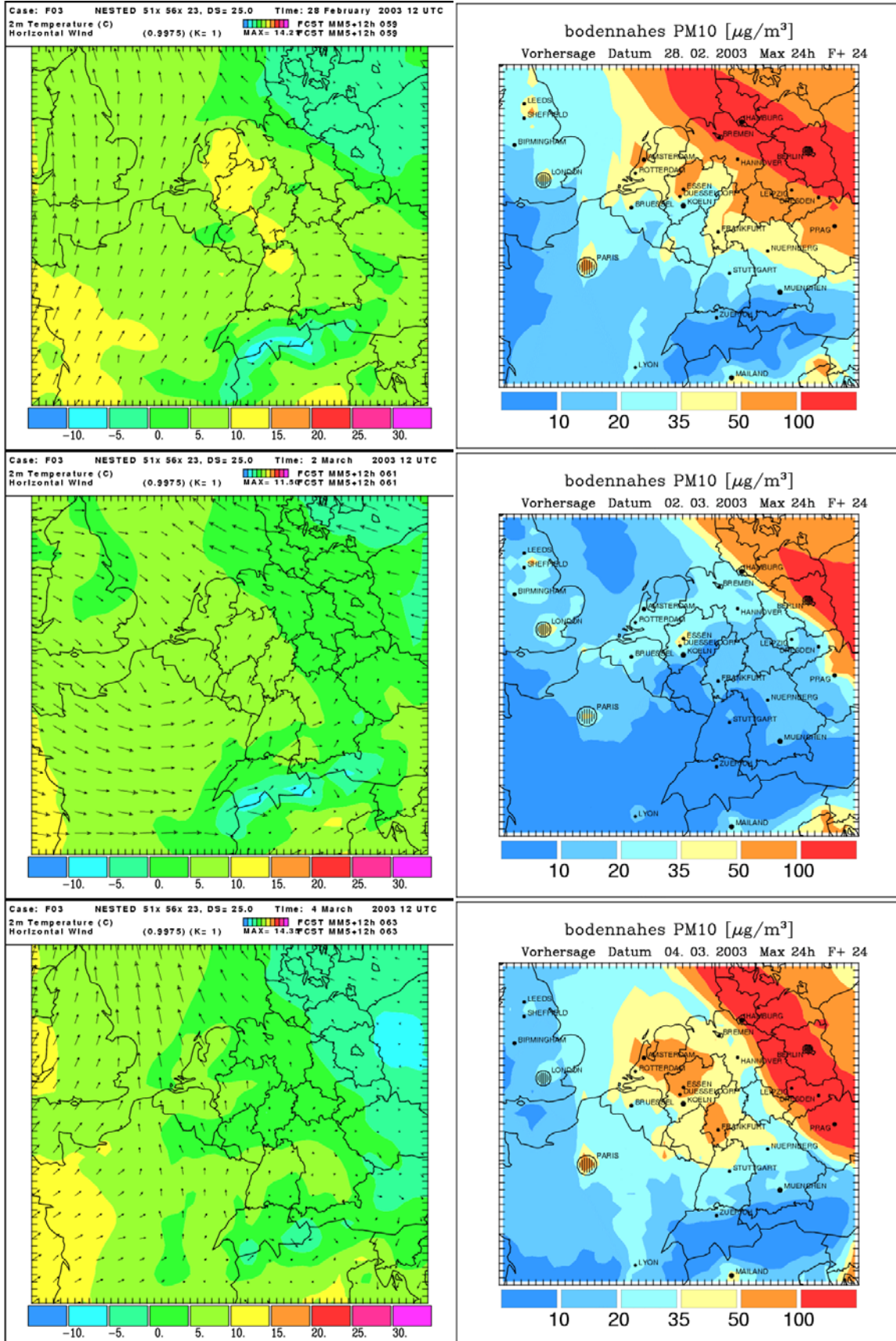
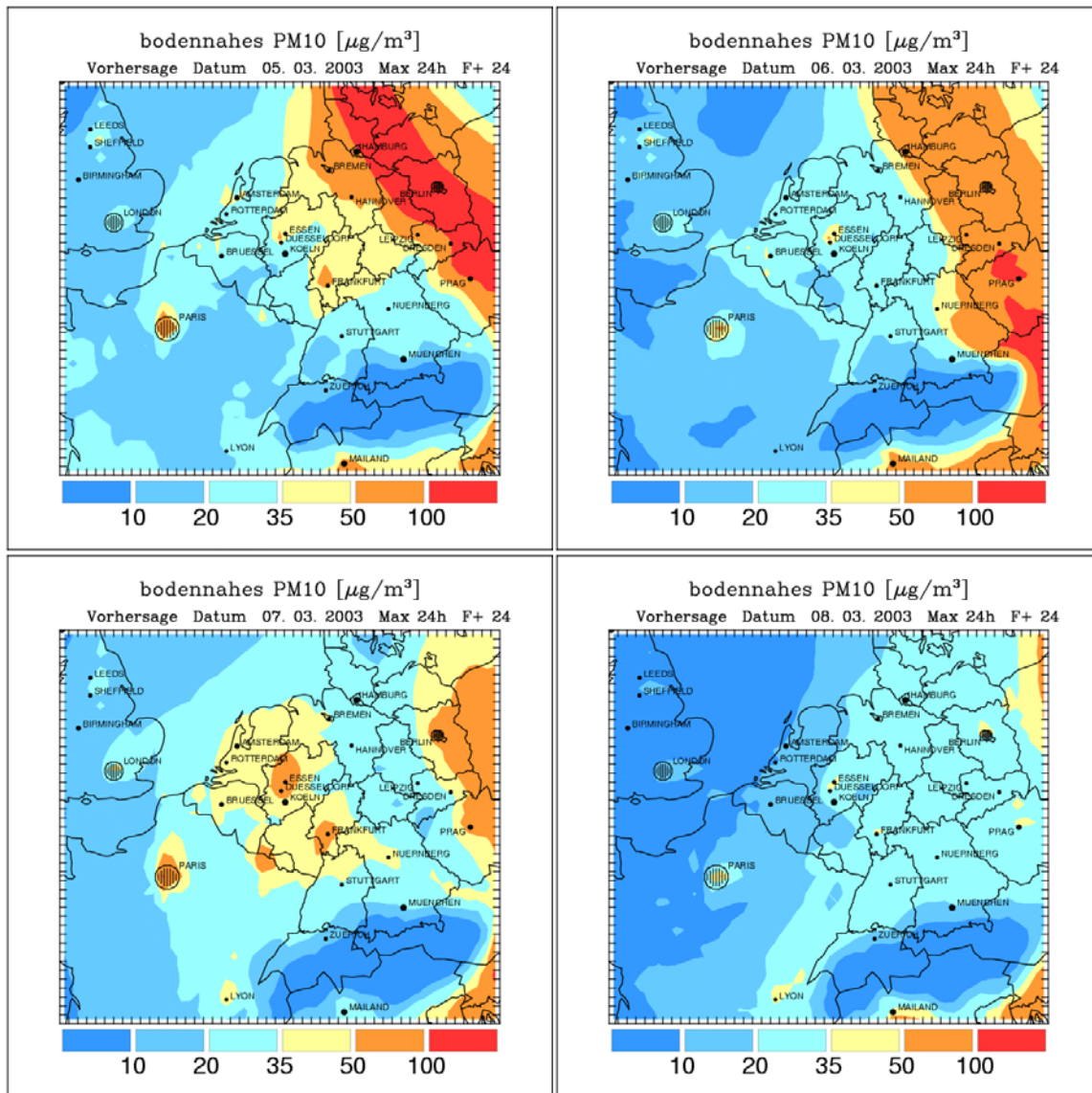


Abbildung 3.2.3.7b: Meteorologische Situation (N1, 25 km) und Maxima der 24h-Mittelwerte von PM<sub>10</sub> der Episode im Februar 2003.



**Abbildung 3.2.3.8:** Ende der Episode mit hoher Luftbelastung durch atmosphärische Partikel im Nordosten Deutschlands. Nach dem 6.3.2003 werden die Luftmassen mit hoher Belastung nach Osten abgedrängt und durch weniger belastete Luft aus Westen ersetzt.

## 4. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

### a) Vergleich von Modellergebnissen und Messungen

Die Ergebnisse der Prognoserechnungen des EURAD-Modells zur Luftqualität für die regionale Skala wurden im FuE-Vorhaben MODMESS genutzt, um die an den NLÖ-Stationen Bösel (BLWW) und Hannover-Linden (HRWS) durchgeführten Spurenstoffmessungen, vor allem Ozon und PM<sub>10</sub>, zusätzlich zu interpretieren und mit den berechneten Werten zu vergleichen. Ausserdem wurde auf der EURAD-Web-Seite ([www.eurad.uni-koeln.de](http://www.eurad.uni-koeln.de)) eine spezielle Seite für Niedersachsen eingerichtet, die zur Zeit auch noch weiterbetrieben wird.

Behandelt wurde der Zeitraum vom 26. Juli 2002 – 31. März 2003. Zur Untersuchung herangezogen wurden die täglich erstellten synoptischen Karten aus der Prognose des EURAD-Systems. Sie umfassen meteorologische Felder (Temperatur, Wind, Druck), Felder chemischer Spurenstoffe und Rückwärtstrajektorien, die Rückschlüsse über die Herkunft der Luftmassen erlauben. Die Modellrechnungen, die für die Untersuchung herangezogen wurden, decken mit horizontalen Gitterweiten von 125 km bzw. 25 km die regionale Skala (Europa und etwas höher aufgelöst Mitteleuropa) ab. Für Vergleiche mit gemessenen Werten an den NLÖ-Stationen Bösel und Hannover-Linden wurden die Ergebnisse der Modellrechnung mit einer Gitterweite von 25 km herangezogen. Der Vergleich von Modellergebnissen mit den Messungen einer Beobachtungs-Station, die die Konzentration lokal an einem Mess-Punkt erfasst, dessen Repräsentativität für berechnete Modellwerte einer Gitterzelle von 25 x 25 km<sup>2</sup> nicht a priori klar ist, birgt immer Probleme. Andererseits ermöglichen die Modellergebnisse auch mit dieser Maschenweite Erkenntnisse über Ferntransporte atmosphärischer Schadstoffe, die auch die lokalen Verhältnisse an einer Mess-Stelle unabhängig von der Repräsentativität dieser Mess-Stelle immer beeinflussen können.

Aus dem Vergleich der gemessenen und vom Modell berechneten Werte ergeben sich erste, vorläufige Schlussfolgerungen

- 1) Abgesehen vom August 2002 ist die Übereinstimmung der Tagesmittelwerte und –maxima bei Modellergebnissen und Messungen in Hannover-Linden und Bösel sowohl bei PM<sub>10</sub> wie PM<sub>2.5</sub> in Hannover-Linden als erfreulich gut zu bezeichnen. Ein Vergleich von berechneten und gemessenen Partikelkonzentrationen wurde bisher – mangels geeigneter Datensätze - für die Prognosewerte des EURAD-Modells nur selten durchgeführt, Vergleiche mit gemessenen PM<sub>2.5</sub>-Werten wurden noch nie durchgeführt, schon gar nicht in Niedersachsen. Der Vergleich mit stündlichen Werten wurde in Einzelfällen für ausgewählte Episoden im Bericht dargestellt. Er ist aus messtechnischen Gründen nicht unproblematisch – auch können geringe Abweichungen im Windfeld oder in dem vorhergesagten Eintreffen oder der Lage einer Front scheinbar große Abweichungen bei stündlichen Werten hervorrufen. Bei dem Vergleich von Tagesmaxima und –mittelwerten kommen diese Abweichungen weniger zur Geltung.
- 2) Auch Ozon zeigt meist eine gute Übereinstimmung mit den gemessenen Werten, Ausnahme ist auch hier wieder der August 2002, allerdings vor allem bei den Tagesmittelwerten, die im Modell wesentlich höher liegen als in der Messung. Die Spitzenwerte bei Ozon werden in der Regel gut getroffen.
- 3) Die Abweichungen zwischen Messungen und Modellwerten bei NO<sub>2</sub> sind im August und September groß, das Modell liefert deutlich geringere Werte als an den NLÖ-Stationen Bösel

und Hannover-Linden gemessen wurden. In den Monaten Oktober 2002 bis März 2003 stimmen die berechneten NO<sub>2</sub>-Werte gut mit den gemessenen Konzentrationen überein. Die Gründe für die Unterschiede im August und September sind nicht klar. Hier sind weitere Untersuchungen notwendig.

4) SO<sub>2</sub>-Konzentrationen werden bei Luftmassen aus Osten so deutlich überschätzt, dass man davon ausgehen muss, dass die verwendeten Emissionen (EMEP) in Osteuropa zu hoch sind. Bei der Nutzung von Emissionsdaten ist das EURAD-Prognosesystem auf die Verwendung von Datenbasen angewiesen, die allgemein verfügbar sind. Diese Datenbasen werden bei EMEP mit einer gewissen zeitlichen Verzögerung zur Verfügung gestellt, können also nie zeitaktuell sein. Außerdem enthalten selbst Datenbasen für ein bestimmtes Bezugsjahr noch ältere Daten, die vor dem Zeitpunkt des Bezugsjahres liegen.

5) Beim Vergleich stündlicher Werte entsteht generell der Eindruck, dass das durch regionale Effekte bestimmte Hintergrundfeld kurzzeitig lokale Phänomene überlagert sind, die sich auf einer zeitlichen Skala von einigen Stunden abspielen. Derartige Vorgänge können, vor allem wenn sie durch lokale Emissionsquellen bedingt sind, vom Modell mit 25 km Gitterweite grundsätzlich nicht erfasst werden. Dies ist bei höherer Auflösung und entsprechend zeitlich und räumlich aufgelösten Emissionskatastern durchaus auch bei Modellrechnungen möglich, beispielsweise bei einer räumlichen Auflösung von 1 km (ANABEL-Bericht, Friese et al., 2002).

6) Im Vergleich mit der Beobachtung zeigen sich Unterschiede zwischen Sommer- und Winterhalbjahr, beispielsweise bei der Unterschätzung von PM und NO<sub>2</sub> durch das Modell im Sommer. Allerdings basiert die hier vorgestellte Untersuchung auf lediglich zwei Stationen und auf einer unvollständigen Zeitreihe, die den Sommer nur teilweise umfasst. Ihre Aussagekraft ist damit begrenzt.

### **b) Synoptische Betrachtungsweise (qualitativ; chemisch und meteorologisch)**

Vor allem die länger anhaltende Tendenz zu stabilen Hochdrucklagen im Februar 2003 ermöglichte eine eingehendere Darstellung der Verteilung atmosphärischer Aerosole während dieser Wetterlagen. In allen Fällen handelte es sich um einen großräumigen Anstieg der Partikelkonzentration mit einer räumlichen Skala von einigen hundert, wenn nicht tausend Kilometern. Eine Episode Mitte Dezember 2002, der ebenfalls genauer betrachtet wurde zeigt ein ähnliches Verhalten. Dies unterstreicht die Bedeutung des Ferntransports auch bei PM<sub>10</sub>. Es zeigt sich auch immer wieder, dass der Anteil von PM<sub>2.5</sub> an PM<sub>10</sub> relativ hoch ist. PM<sub>2.5</sub> dürfte überwiegend durch Bildung sekundärer Partikel während des Transports entstehen und kann weiträumig transportiert werden. Auch für Niedersachsen trägt der Transport atmosphärischer Partikel von außen über die Landesgrenzen vermutlich erheblich zur Belastung der Luft durch PM<sub>10</sub> bei. Bei bestimmten Wetterlagen (großräumige Akkumulation von Schadstoffen im Bereich von Hochdruckgebieten), wie sie auch im Februar 2003 auftraten, könnte derzeit vermutlich der Ferntransport von atmosphärischen Partikeln nach Niedersachsen hinein, auch ganz ohne anthropogene Emissionen in Niedersachsen, zu einer Überschreitung des in der EU-Tochtrichtlinie 96/62 vorgegebenen 24h-Grenzwerts von 50 µg/m<sup>3</sup> führen. Dies zeigt deutlich, dass eine Beurteilung der derzeitigen und zukünftigen Entwicklung der Luftqualität in Niedersachsen die Berücksichtigung der regionalen und der lokalen Skala erfordert. Die lokale Skala spielt bei der Überschreitungshäufigkeit von Spitzenwerten natürlich eine herausragende Rolle. Für die Luftreinhalteplanung scheinen jedoch sowohl regionale wie lokale Einflüsse von Bedeutung zu sein.

## Weiterführende Fragestellungen; Erweiterungen

Die hier vorgestellten Arbeiten stellen einen ersten Versuch dar, die Messungen der NLÖ-Stationen Bösel und Hannover mit Modellrechnungen zusätzlich zu interpretieren. Es ergeben sich die folgenden möglichen Verbesserungen oder Erweiterungen:

1) Aktualisierung der Emissionen regional und lokal. Im europäischen Bereich liegen die Emissionsdaten nur mit einer zeitlichen Verzögerung von einigen Jahren vor. Dies begrenzt die Aussagekraft der Modellrechnungen, lässt sich aber derzeit noch nicht vermeiden. Bei einer nachträglichen Rechnung (Diagnose statt Prognose) könnten neuere Emissionsdaten verwendet werden. Im lokalen Bereich für Niedersachsen wurde lediglich mit einer horizontalen Auflösung von 25 km gerechnet. Eine höhere Maschenweite von beispielsweise 5 km stellt grundsätzlich kein Problem für das Modellsystem dar sofern geeignete Emissionsdaten mit entsprechender räumlicher und zeitlicher Auflösung für die benötigten chemischen Konstituenten vorliegen. Diagnostisch kann sogar für begrenzte Gebiete und Episoden mit einer noch geringeren Maschenweite von 1 km gerechnet werden. Dies wurde für Nordrhein-Westfalen bereits erprobt (Friese et al., 2002).

2) Modelle stellen ein gutes Hilfsmittel dar, um die Auswirkungen zukünftiger Emissionsszenarien auf die Immissionsbelastung abzuschätzen. Auch die Bedeutung grenzüberschreitender Ferntransporte atmosphärischer Spurenstoffe, insbesondere PM, für Niedersachsen könnte mit Hilfe von Modellstudien geklärt werden.

3) Die Klärung der Unterschätzung von PM im Sommer erfordert zunächst die Einbeziehung weiterer Stationen oder auch anderer Sommer, um die Ergebnisse belastbarer zu machen. Allerdings zeigen die Ergebnisse der ANABEL-Studie (Friese et al., 2002) und auch Vergleiche mit EMEP-Stationen eine ähnliche Tendenz, besonders in Spanien. Derzeitige Arbeitshypothese ist, dass die Unterschätzung von PM im Sommer durch erhöhte Turbulenz und die dadurch bedingte verstärkte Aufwirbelung von Partikeln während trockener Episoden im Sommer eine größere Rolle spielt als während anderer Jahreszeiten.

## 5. Literatur

Ackermann, I. J., H. Hass, M. Memmesheimer, A. Ebel, F.B. Binkowski, and U. Shankar: Modal Aerosol dynamics model for Europe: Development and first applications. *Atmos. Environ.*, 32, 2891-2999, 1998.

Becker, A., B. Scherer, M. Memmesheimer, H. Geiß: Studying the city plume of Berlin on July 20th 1998 with three different modelling approaches. *J. Atmos. Chem.*, 42, 41 - 70, 2002.

Builtjes, P.J.H., C. Borrego, A.C. Carvalho, A. Ebel, M. Memmesheimer, H. Feichter, A. Münzenberg, E. Schaller, Z. Zlatev: Global and Regional Atmospheric Modeling. Overview over the Subproject GLOREAM. In: *Towards Cleaner Air for Europe – Science, Tools and Applications. Part2: Overview from the Final Reports of the EUROTRAC-2 Subprojects*. Ed.: P.M. Midgley, M. Reuther; Markgraf Publishers, Weikersheim, pp. 139 -164, 2003.

Corsmeier, U., N. Kalthoff, B. Vogel, M.-U. Hammer, F. Fiedler, Ch. Kottmeier, A. Volz-Thomas, S. Konrad, K. Glaser, B. Neininger, M. Lehning, W. Jaeschke, M. Memmesheimer, B. Rappenglück, G. Jakobi: Ozone and PAN formation inside and outside the Berlin plume - Process analysis and numerical process simulation. *J. Atmos. Chem.*, 42, 289 – 321, 2002.

Ebel, A., N. Moussiopoulus, K. H. Becker, C.A. Borrego, R. Bouscaren, P.J.H. Builtjes, A. Flossmann, U. Hansen, M. Hantel, H. Hass, D. Poppe, R. Rosset: Air quality modelling and models in EUMAC: an overview. In: *Transport and Chemical Transformation of Pollutants in the Troposphere*. Eds.: P. Borrell et al., Vol. 7, *Tropospheric Modelling and Emission Estimation*, eds. A. Ebel, Rainer Friedrich, Henning Rodhe, pp. 3 - 24, 1997a.

Ebel, A., H. Elbern, H. Feldmann, H.J. Jakobs, C. Kessler, M. Memmesheimer, A. Oberreuter, G. Piekorz: Air Pollution Studies with the EURAD Model System (3): EURAD - European Air Pollution Dispersion Model System. *Mitteilungen aus dem Institut für Geophysik und Meteorologie der Universität zu Köln*, Hrsg. A. Ebel, M. Kerschgens, F.M. Neubauer, P. Speth, Heft Nr. 120, 1997b.

Ebel, A., M. Memmesheimer, H.J. Jakobs, C. Kessler, G. Piekorz, H. Feldmann: Reliability and validity of regional air pollution simulations. *Air Pollution*, WITpress, Southampton, pp. 21 - 30, 2000.

Friese, E., M. Memmesheimer, I. J. Ackermann, H. Hass, A. Ebel, M. J. Kerschgens: A study of aerosol-cloud interactions with a comprehensive air quality model. *Contribution to the European Aerosol Conference Dublin*, *J. Aerosol. Sci.*, 31, S54 - S55, September 2000.

Friese, E., H.J. Jakobs, M. Memmesheimer, H. Feldmann, C. Kessler, G. Piekorz, A. Ebel: Ausbreitungsrechnungen für Nordrhein-Westfalen zur Anwendung im Rahmen der Beurteilung der Luftqualität nach EU-Richtlinien. *Abschlußbericht zum FuE-Vorhaben ANABEL*, im Auftrag des Landesumweltamtes Nordrhein-Westfalen, Juni 2002.

Grell, G. A., J. Dudhia, D. R. Stauffer: A description of the fifth-generation Penn State/NCAR mesoscale model (MM5), NCAR technical note, NCAR/TN-398+STR, 1994.

Jakobs, H.J., S. Tilmes, A. Heidegger, K. Nester, G. Smiatek: Short-term ozone forecasting with a network model system during summer 1999. *J. Atmos. Chem.*, 42, 23 - 40, 2002.

Jakobs, H.J., E. Friese, M. Memmesheimer, A. Ebel: Entwicklung und Erprobung einer Prognose-Systems zur Vorhersage der Luftqualität in Nordrhein-Westfalen. *Abschlußbericht zum FuE-Vorhaben PROSYS*, 20 Seiten, im Auftrag des Landesumweltamtes Nordrhein-Westfalen. November 2001.



Kessler, C., W. Brücher, M. Memmesheimer, M.J. Kerschgens, A. Ebel: Simulation of Air Pollution with Nested Models in North-Rhine-Westphalia. *Atmos. Environment*, 35, S3 – S12, 2001.

Memmesheimer, M., H.J. Jakobs, H. Feldmann, G. Piekorz, C. Kessler, E. Friese, A. Ebel: Computergestützte Langzeitsimulationen zur Bewertung von Strategien zur Luftreinhaltung. Abschlussbericht zum FuE-Vorhaben COSIMA, im Auftrag des Landesumweltamtes Nordrhein-Westfalen, 274 Seiten, November 2000.

Memmesheimer, M., H.J. Jakobs, J. Tippke, A. Ebel, M.J. Kerschgens, G. Piekorz, H. Geiß, B. Wickert, R. Friedrich, U. Schwarz: Simulation of photooxidant formation during the BERLIOZ episode. *Proceedings EUROTRAC Symposium 2000*, 2001.

Memmesheimer, M., E. Friese, H.J. Jakobs, A. Ebel: Anwendungsmöglichkeiten von 3-D-Chemie-Transport-Modellen für die PM<sub>x</sub>-Quellenidentifizierung. Zusammenfassung des Vortrags auf dem Workshop „PM<sub>x</sub>-Quellenidentifizierung: Methoden und Ergebnisse“, Duisburg 12./13. September 2001, 16 Seiten.

Memmesheimer, M., E. Friese, H.J. Jakobs, H. Feldmann, A. Ebel, M.J. Kerschgens: Long-Term Simulation of particulate matter over Europe with a comprehensive air quality modelling system. Paper accepted for oral presentation during the European Aerosol Conference 2003, Madrid; accepted for publication in *J. Aerosol. Sci.*

Niedersächsisches Landesamt für Ökologie (NLÖ): Feinstaub und Schadgasbelastungen in der Göttinger Strasse, Hannover. Projekt 1847 in Zusammenarbeit mit Ingenieurbüro Dr.-Ing. Achim Lohmeyer, Karlsruhe; Institut für Verfahrenstechnik und Dampfkesselwesen, Universität Stuttgart, April 2003.

Schaller, E.: Model evaluation and validation. In: *Global and regional Modeling (GLOREAM) final report*, Ed.: International Scientific Secretariat, GSF Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit GmbH, Munich, Germany, pp. 55 – 64, April 2003.

Schell, B., I.J. Ackermann, H. Hass, F.S. Binkowski, A. Ebel: Modeling the formation of secondary organic aerosol within a comprehensive air quality modeling system. *J. Geophys. Res.*, 106, 28275 - 28293.

Tilmes, S., J. Brandt, F. Flato, R. Bergström, J. Fleming, J. Langner, J. Christensen, L.M. Frohn, O. Hov, I. Jacobsen, E. Reimer, R. Stern, J. Zimmermann, Comparison of five Eulerian air pollution forecasting systems for the summer 1999 using the German ozone monitoring data, *J. Atmos. Chem.* (2002), 42, 91 – 121.

Tsyro, S., 2002: Persönliche Mitteilung, PM-Workshop Berlin, November 2002.