

Analyse des Transports von Luftbeimengungen im Berliner Raum

Andrea Mues

31.01.07

Gliederung des Vortrags

- I) Motivation
- II) Aerosole
- III) Messungen
- IV) Methoden und Ergebnisse
- V) Zusammenfassung
- VI) Literatur

I) Motivation

- es müssen Richtlinien und Grenzwerte hinsichtlich der Konzentration von bestimmten Luftbeimengungen eingehalten werden
- Für entsprechende Maßnahmen (Luftreinhalteplan) ist es wichtig die **Emission** (natürlich, anthropogen) an dem betrachteten Ort, aber auch den Anteil der durch **Transport** von außerhalb herangetragenen Luftbeimengungen (natürlich, anthropogen) zu kennen.

Begriffe:

- Emission:

Abgabe von Stoffen, Energien und Strahlen an die Umgebung durch eine bestimmte Quelle.

Häufig Abgabe von Schadstoffen bzw. Schadenergien.

- Immission:

Einwirkung der emittierten Schadstoffe (Emission) auf Pflanzen, Tiere und Menschen sowie Gebäuden,

nachdem sie sich in der Luft, dem Wasser oder dem Boden ausgebreitet, chemisch oder physikalisch umgewandelt haben.

- Deposition:

Ablagerung von Schadstoffen am Boden, an Pflanzen sowie an Gebäuden. Sie kann trocken oder nass erfolgen.

relevante Transportprozesse

Vertikaltransporte durch den Wind und kleinräumige Turbulenzen

- vertikale Umverteilung der Schadstoffe in der Troposphäre
- Ausbreiten von Primär- und Sekundärstoffe aus dem Bereich der Planetarischen Grenzschicht in höhere Schichten

Vertikaltransport von Substanzen, die in einer Region hinein emittiert oder chemisch gebildet wurden, aus großen Höhen in die bodennahen Schichten

Turbulente Transportflüsse

- Ablagerung von Schadstoffe auf dem Boden der Vegetation und Gebäuden (trockene Deposition)

⇒ Diese Prozesse zusammen bestimmen die Konzentration- und Depositionsverteilung von Luftschadstoffen in einer Region

II) Aerosole

atmosphärische Aerosole:

Dispersion von festen überwiegend nicht wässrigen Partikeln in der Atmosphäre

Aerosolpartikel:

Einzelnes Partikel des atmosphärischen Aerosols

Besondere Beachtung in den Städten finden:

PM10 (Feinstaub): Aerosoldurchmesser $< 10\mu\text{m}$

PM2,5: Aerosoldurchmesser $< 2,5\mu\text{m}$

primäre Aerosole:

- werden bereits in partikulärer Form von ihren Quellen emittiert

sekundäre Aerosole:

- entstehen erst in der Atmosphäre durch chemische Reaktionen aus gasförmigen Vorläufern
- wichtige Vorläufersubstanzen für die Partikelbildung:
SO₂, NO_x, NH₃, VOC (volatile organic compounds, flüchtige organische Verbindungen)

Weitere Unterscheidung:

Aerosole natürlichen und anthropogenen Ursprungs

PM10 – Quellen:

natürliche Quellen primärer Aerosole:

- **Seaspray**
Ozeane: größte natürliche Quelle für Aerosolpartikel
- **Winderosion**
Wiederaufwirbelung (**Resuspension**) (bedeutende Partikelquelle)
- **Biomasseverbrennung, Vulkanismus**
z.B. Waldbrände
- **Biogene Quellen**
Primäre Partikel biogenen Ursprungs

Anthropogene Quellen primärer Aerosolpartikel:

nur ein geringer Anteil der Aerosolpartikelmasse ist anthropogenen Ursprungs, diese haben jedoch regional und lokal besonderer Bedeutung

- **Industrieprozesse**
- **Hausbrand**
Feuerung mit Kohle und Öl (Flugaschepartikel und Russpartikel)
- **Kraft- und Fernheizwerke**
- **Kfz-Verkehr**
 - Partikelemission von Dieselfahrzeugen (Dieselruß und Schwefelsäuretröpfchen)
 - Emission durch Abrieb
 - Aufwirbelung (Resuspension) von Straßenstaub

Quellen sekundärer Aerosolpartikel:

- es entstehen global etwa genauso viele Aerosolpartikel durch die Umwandlung anthropogener emittierter Vorläufersubstanzen wie anthropogen primär emittiert werden
- lange Verweilzeit wegen geringem Durchmesser und können so lange Strecken transportiert werden
- wichtige Vorläufersubstanzen: SO₂, NO_x, VOC und NH₃
v.a. anthropogene Emission:
SO₂: Kraft- und Heizwerke, Industrieverbrennungsprozesse
NO_x, VOC: Straßenverkehr, Landwirtschaft (NO_x), Lösungsmittel (VOC)
NH₃: Landwirtschaft

Charakterisierung von PM10:

Untersuchungen der chem. Zusammensetzung und der Morphologie von Aerosolpartikeln ermöglichen Rückschlüsse auf ihre Herkunft

- Idealerweise spiegelt die Staubzusammensetzung die Summe aller Einflüsse der für die relevanten Quellen wieder
- unterschiedliche Zusammensetzung in verkehrsbelasteten Raum und ländlicher Raum
- grobe Einteilung in 3 Stoffklassen:
 1. Kohlenstoffhaltige Komponenten : organisch gebundener Kohlenstoff (OC) z.B. biogenes Material, elementarer Kohlenstoff (EC) z.B. Dieselruß
 2. Ionen wie Sulfat, Nitrat und Ammonium, sekundär in der Atmosphäre gebildet
 3. Erdkrustenelemente wie Silizium, Aluminium, Eisen, Kalzium, Magnesium etc.

Bsp. für chem. Zusammensetzung von PM10 an einer Berliner Messstation:

- hoher Anteil von sekundär gebildeten Komponenten 40%
- solche Partikel werden wahrscheinlich beim Transport von mit „Partikel-Vorläufer-Substanzen“ angereicherten Luftpaketen gebildet werden
- keine frischemittierten sondern gealterte kleine Aerosolpartikel, die über große Entfernungen transportiert werden können

PM10-Jahresmittel:
31,8 µg/m³

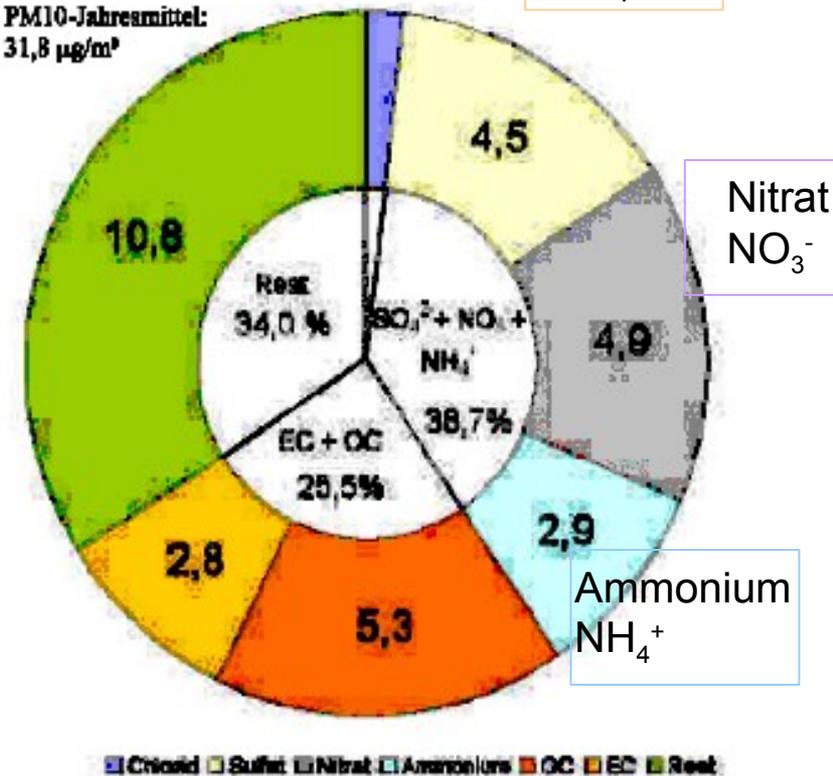


Abbildung : Mittlere chemische Zusammensetzung von PM10 an einer Berliner Messstation im städtischen Hintergrund im Jahr 2002 (Außenring: Absolute Werte in µg/m³) [BERLINER SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG 2003]

Quelle: (4)

II) Messung

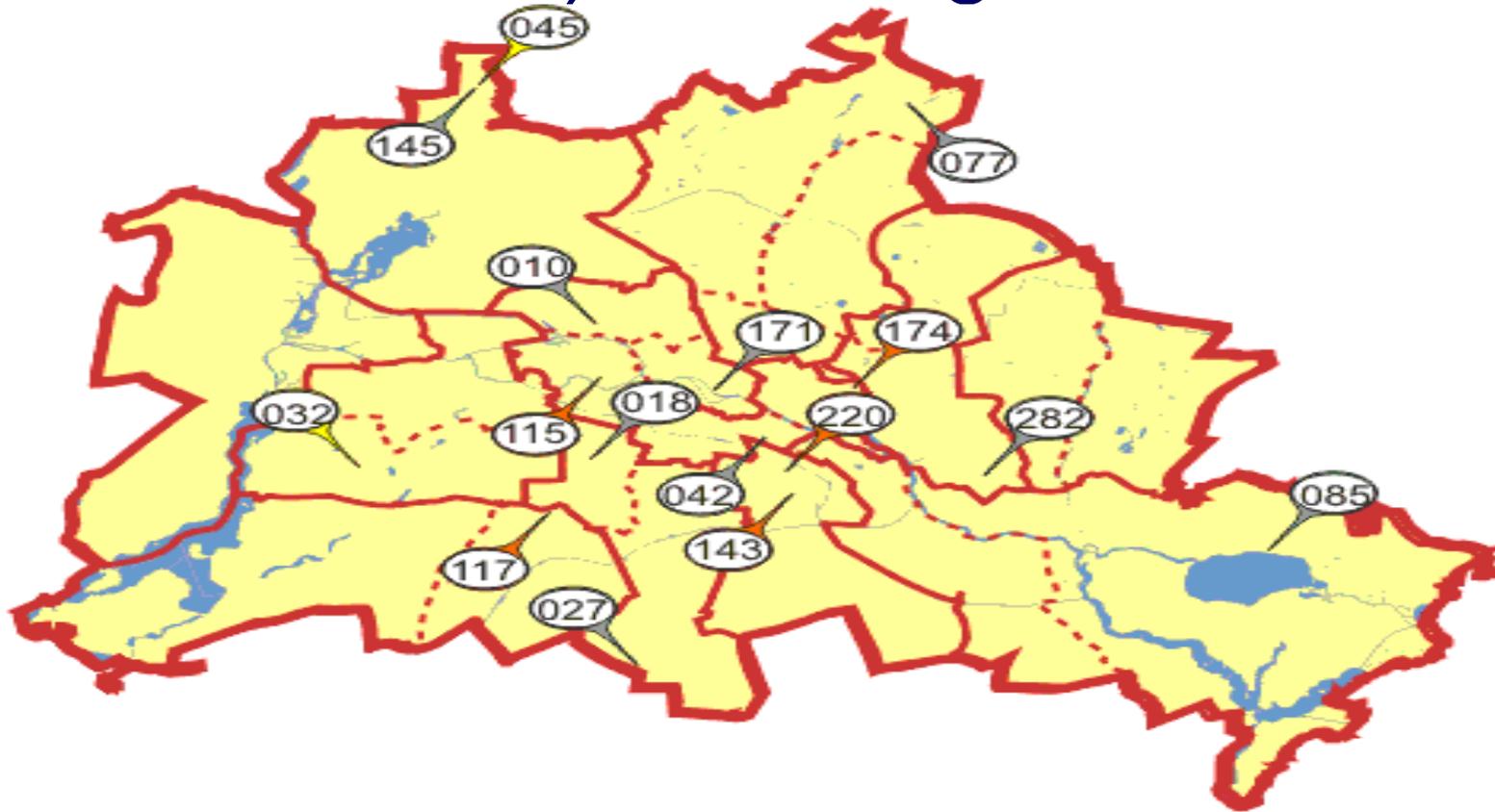


Abb.2: Berliner Messnetz:

gelb: Sondermessstellen in großer Höhe grün: Wald- und Stadtrandmessstellen,
grau: Messstellen im städtischen Hintergrund

rot: Verkehrsschwerpunkte, 032Nummer der Messstelle

Quelle: (6)

Einteilung der Messstationen:

PM10- Immission:

Summe aus Beiträgen von Quellen

außerhalb der Land

(PM10überregional),

innerhalb des regionalen Umfeld

der Stadt (PM10regional),

von diffusen Quellen innerhalb des
Stadtgebietes (PM10Stadt) und

des lokal auftretenden Kfz-

Verkehrs (PM10lokal).

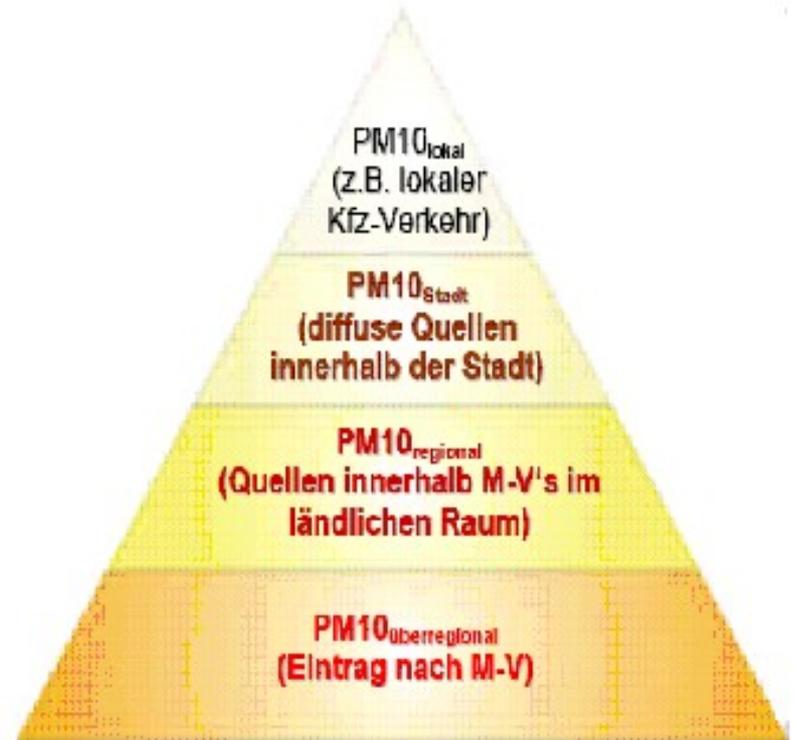


Abb. 3: Zusammensetzung der PM10-Immission an einem verkehrsnahen Standort entsprechend des „idealen“ Modells

Quelle: (4)

IV) Methoden

A) Massenbilanzbetrachtung:

Dreidimensionales Chemisches Transportmodell REM3/Calgrid

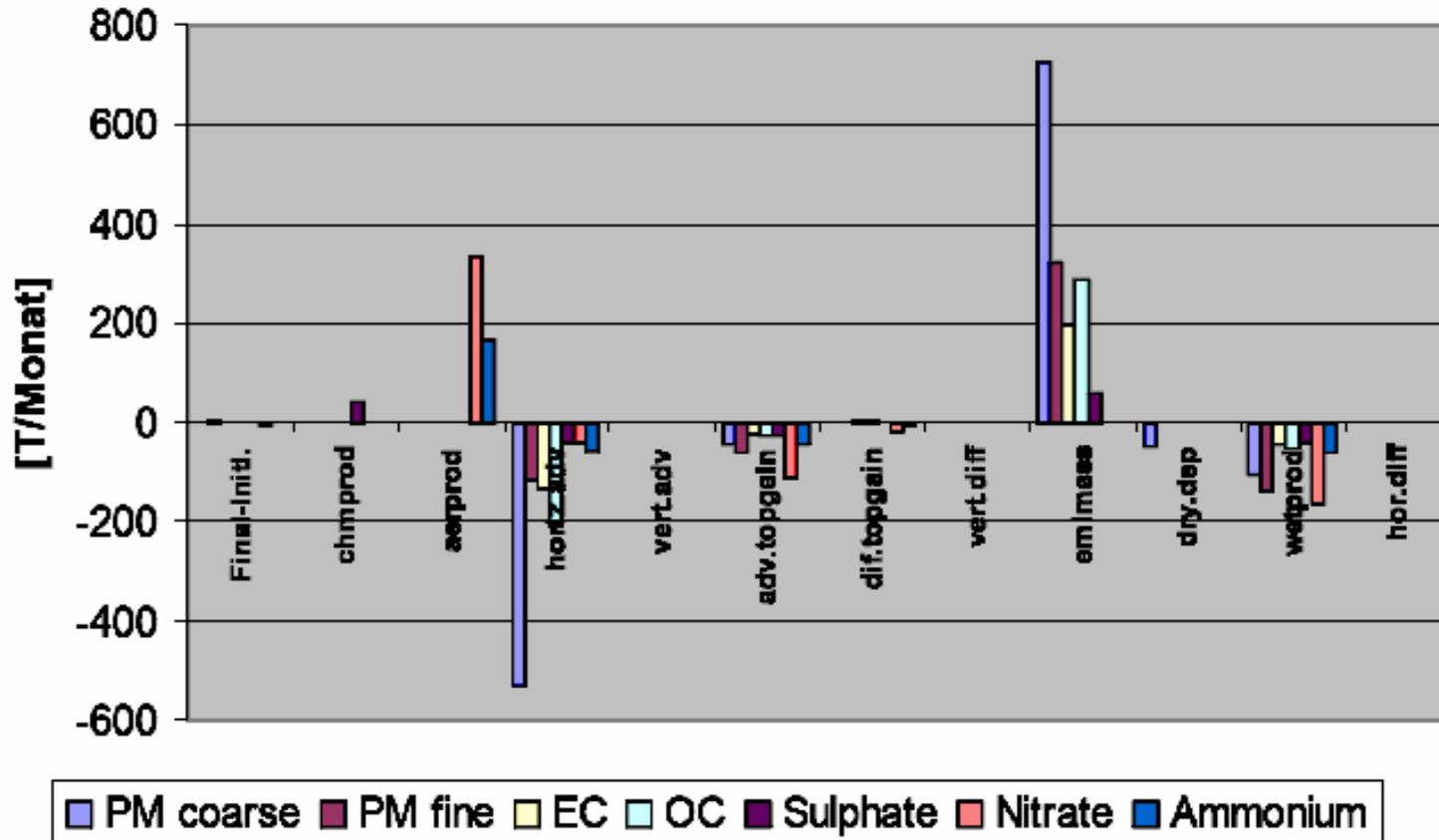


Abb. 4: Massenbilanz Januar 2002, aufgeteilt auf die untersuchten Prozesse und die Aerosolkomponenten im Großraum Berlin

Quelle: (1)

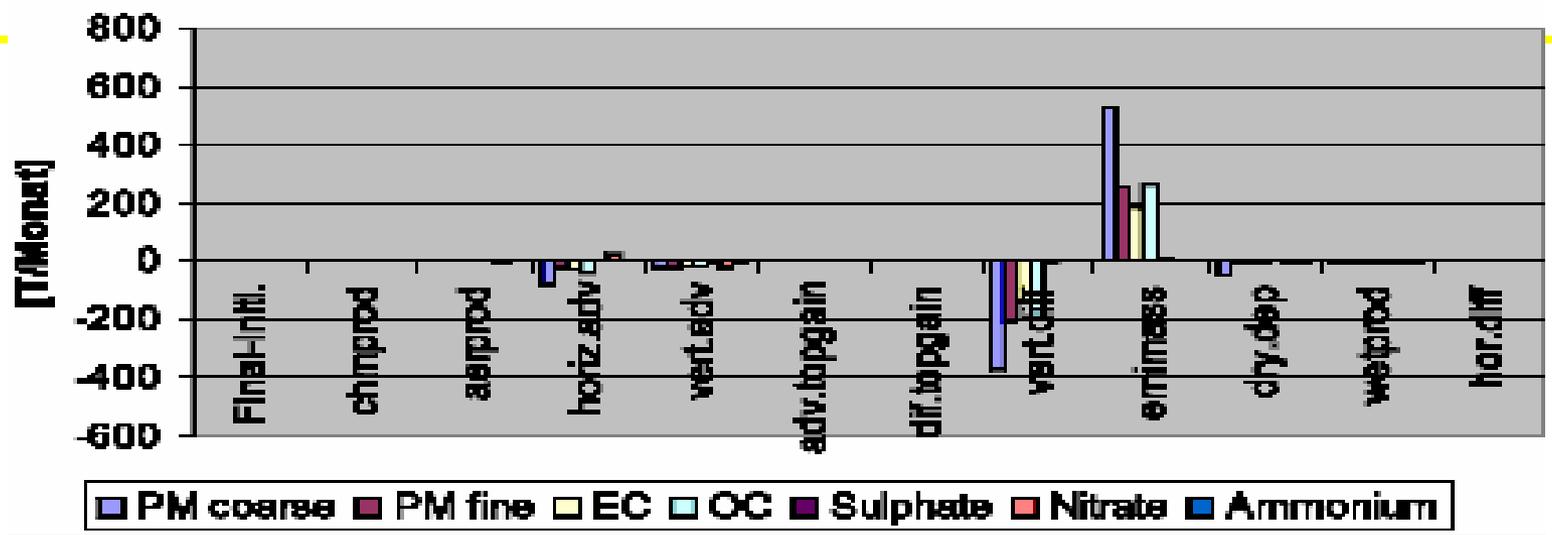


Abb.5: Massenbilanz Januar 2002, in der Bodenschicht

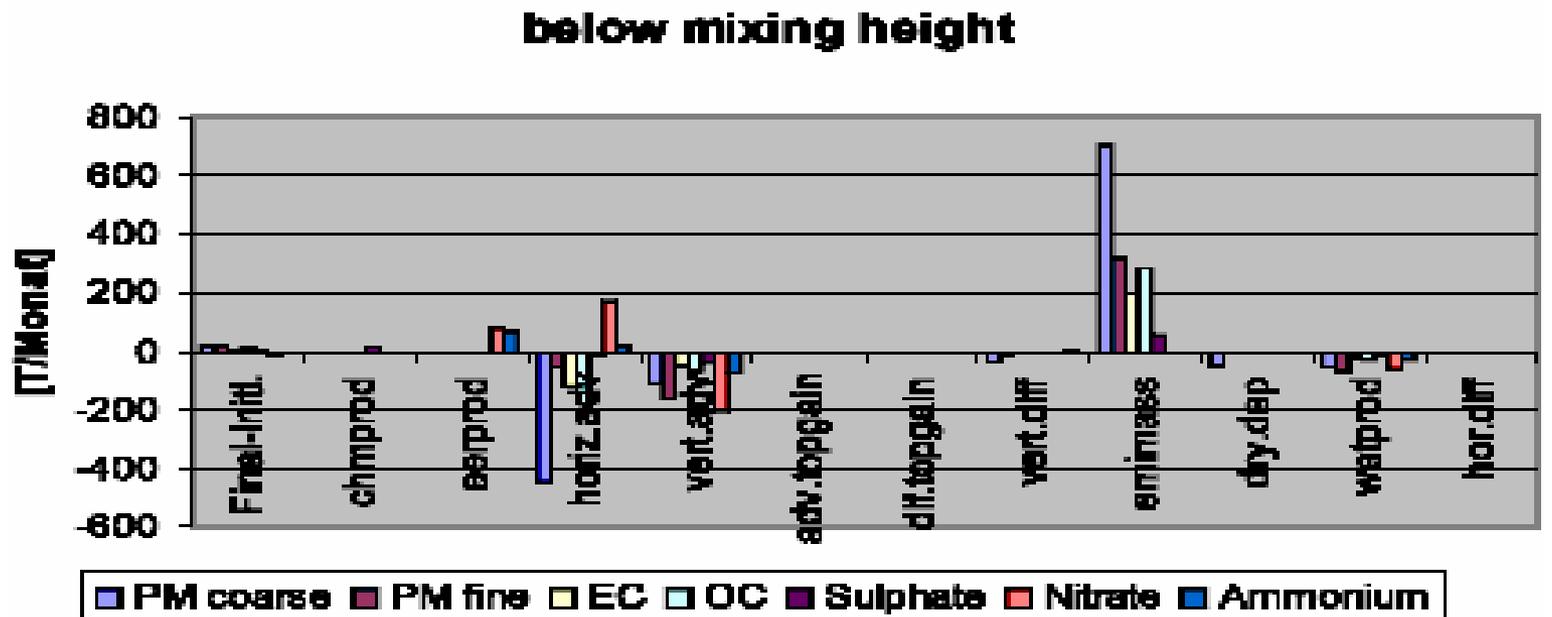
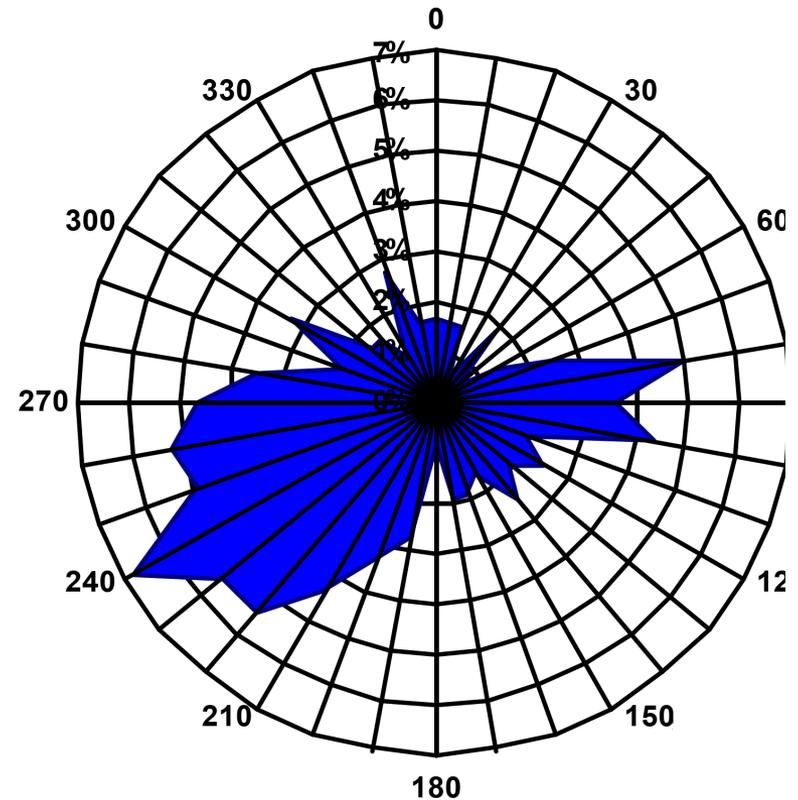


Abb. 6: Massenbilanz Januar 2002, in der gesamten Mischungsschicht Quelle: (1)

B) Windrichtungsanalyse

zeigt Abhängigkeit zwischen Windrichtung und PM10-Massenkonzentration

- Abb.7: Tagesmittelwert der Windrichtung an der Nansenstraße
- Vorherrschende Windrichtung insbesondere:
(Süd)West und weniger ausgeprägt Ost



Quelle: (2)

- Alle Windrichtungen sind gleich gewichtet,
 - auch Messungen hoher Massenkonzentration aus nicht bevorzugten Windrichtungen sind zu erkennen
- höchste Konzentration bei Ost- und Südostwinden
 - bedeutsame Wetterlage hinsichtlich der Überschreitung von Tageswertgrenzen

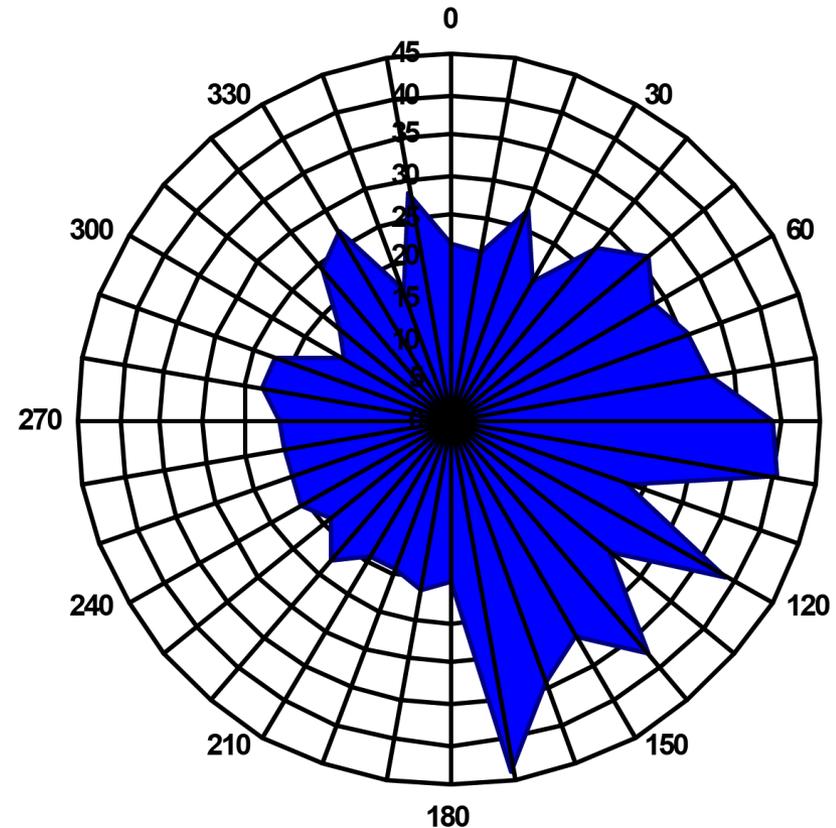


Abb. 8: Mittlere PM10-Konzentration für die 10°- Windrichtungssektoren

Quelle: (2)

- Hinsichtlich des Beitrages zum Jahresmittelwert ist die Windrichtungsverteilung mit zu berücksichtigen
- PM10-Konzentration ist mit der Windrichtungshäufigkeit gewichtet und normiert
- Im Jahresdurchschnitt: größten Beitrag zur PM10-Immission durch Südwestwind- und Ostwind-Wetterlagen
- geringe Beiträge bei Südostwind-Wetterlagen
- stärkere Gewichtung der Ostwindwetterlagen hinsichtlich der PM10-Immissionsbelastung

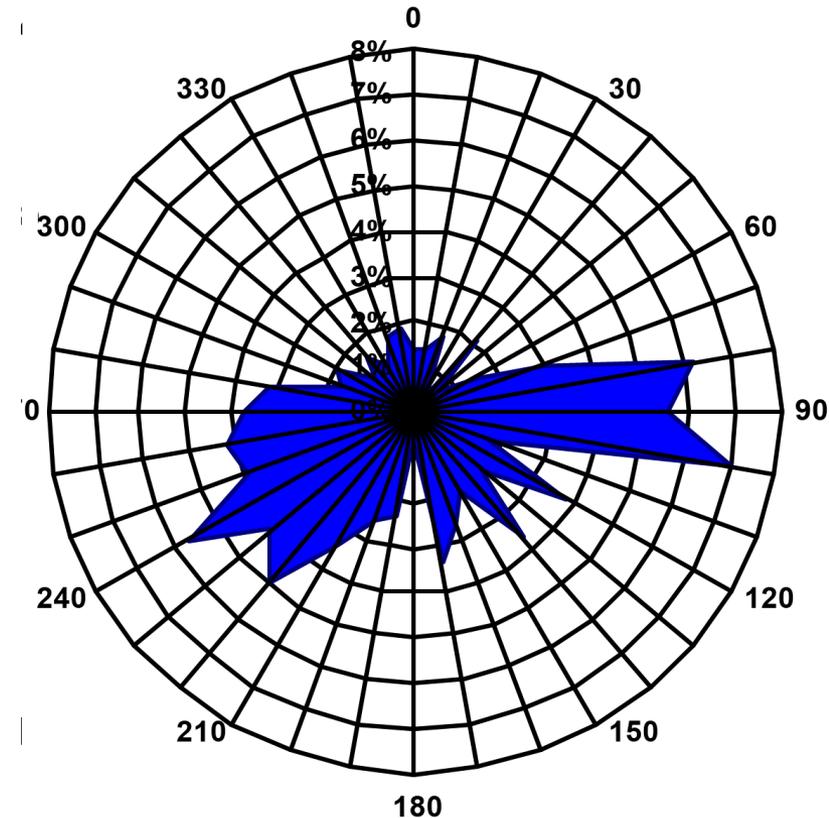


Abb.9: Konzentrationsverteilung gewichtet

Quelle: (2)

- Es zeigt sich weiter, dass bei niedrigen Massenkonzentrationen westliche Windrichtungen vorherrschen
 - Bei mittleren Konzentrationen ist die Vorzugswindrichtung Ost bzw. Südost
 - Bei hohen PM10-Konzentrationen kommt der Wind vorzugsweise aus Ost
-
- ABER: die Windrichtung am Immissionsort ermöglicht keine genaue Zuordnung zu Quellregionen
 - Daher ist eine Betrachtung mit 3D-Trajektorien sinnvoll

C) Trajektorien:

- Mit Hilfe von Trajektorienmodellen lässt sich der Weg eines Luftpaketes rekonstruieren
- Verdeutlichung der Abhängigkeit der Aerosolmassenkonzentrationen von Windrichtung und Luftpakettransporten durch starten von Trajektorien vom Messorten
- Es können Vorwärts- und Rückwärtstrajektorien betrachtet werden
- In den folgenden Beispielen wurde an jedem Ort eine Trajektorie gestartet, die dreidimensional die Entwicklung der Grenzschicht und der Verhältnisse in der freien Atmosphäre berücksichtigt

Um nicht nur die Wege der Luftpakete zurückverfolgen zu können, sondern auch einen Zusammenhang zu erhöhten Konzentration am Startort erstellen zu können, werden:

- jeder gebildeten Trajektorie stündlich der am Startort gemessene Konzentrationswert der PM-Inhaltsstoffe zugeordnet
- Beim Zurückverfolgen der Trajektorie werden die „Bodenkontakte“ der Trajektorien innerhalb der Mischungsschicht bzw. innerhalb von Bodenrastern beobachtet
- Treffen ein hoher Immissionswert am Startort und häufige „Bodenkontakte“ zusammen ,
so ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass diese Trajektorie für die hohen Konzentrationen relevant ist

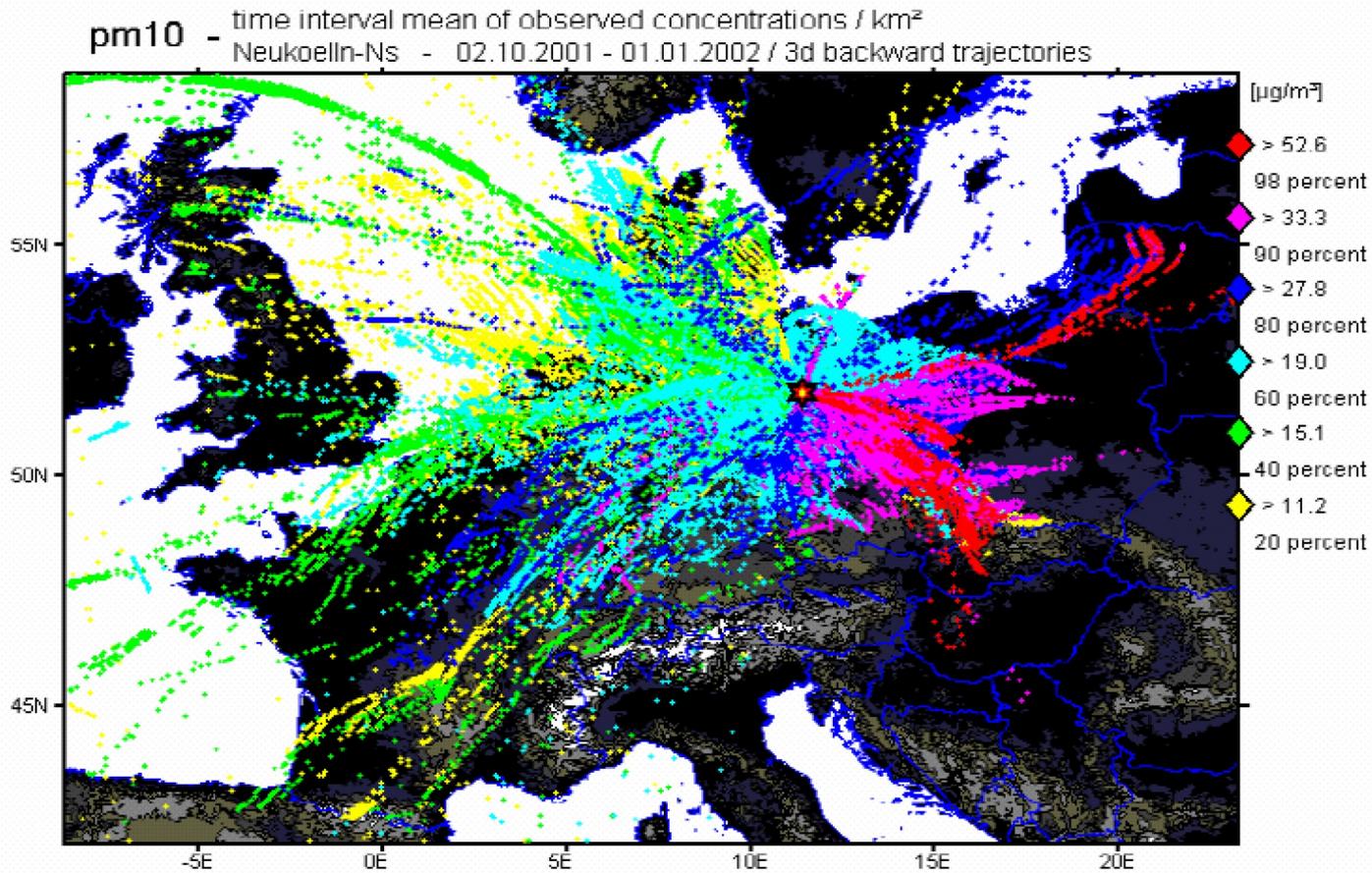


Abb. 10: PM10-gewichtete Rückwärtstrajektorien gestartet von Berlin-Nansenstr. Summiert über den Spätherbst-Winterzeitraum vom 2. Oktober 2001 bis 1. Januar 2002 Quelle: (3)

- Deutlicher Zusammenhang zwischen erhöhten Messungen in Berlin (>52,6 µg/m³) und der hoch industrialisierten Gegend um Kattowice in Süd-Polen
- Luftpakete aus dem Westen führen zu niedrigeren Konzentrationen

Zusammenhang von Wetterlagen und erhöhter PM10-Belastung in Berlin

Abb.11: Zeitreihe zwischen Beobachteten (schwarz) und berechneten (rot) Tagesmittelwerten an der Berliner Hintergrundstation Nansenstr.

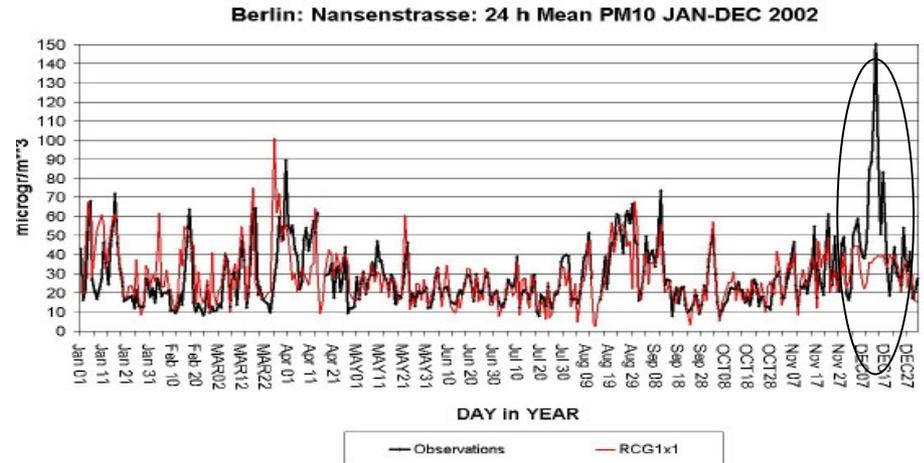
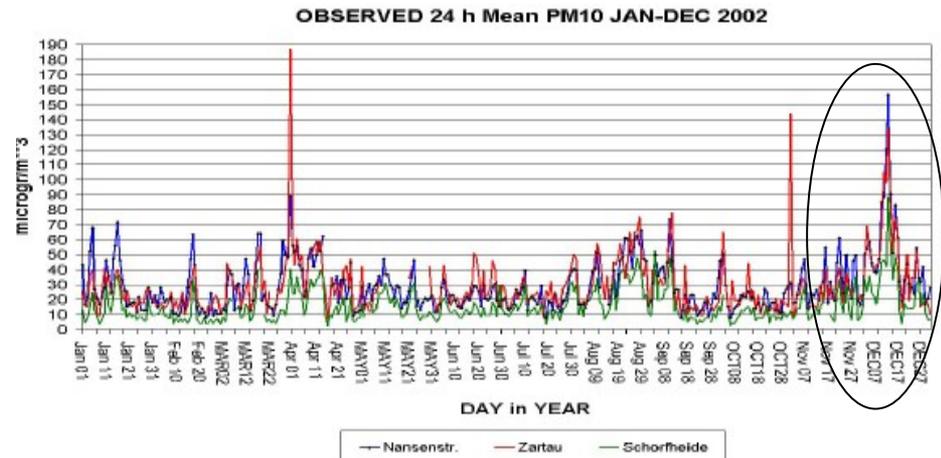


Abb.12: und für die Berlin-fernen Stationen Zartau, Schorfheide, Nansenstr.



- hohe Konzentration im Dezember
- Ursache vermutlich in einem überregionalen Phänomen

Quelle: (3)

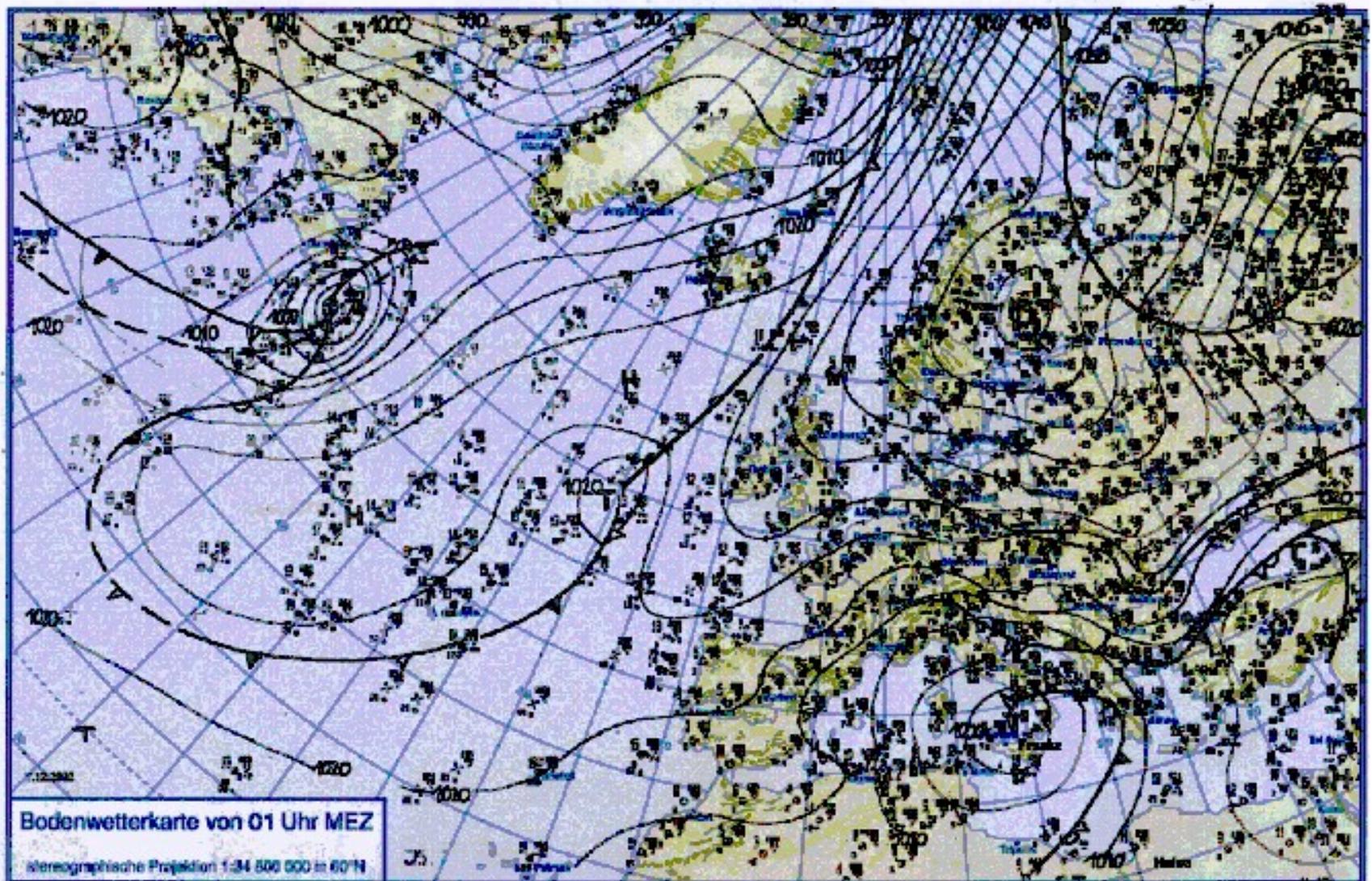


Abb.13: **Bodenwetterkarte von 01 Uhr MEZ: 07.12.2002**

Quelle: (3)

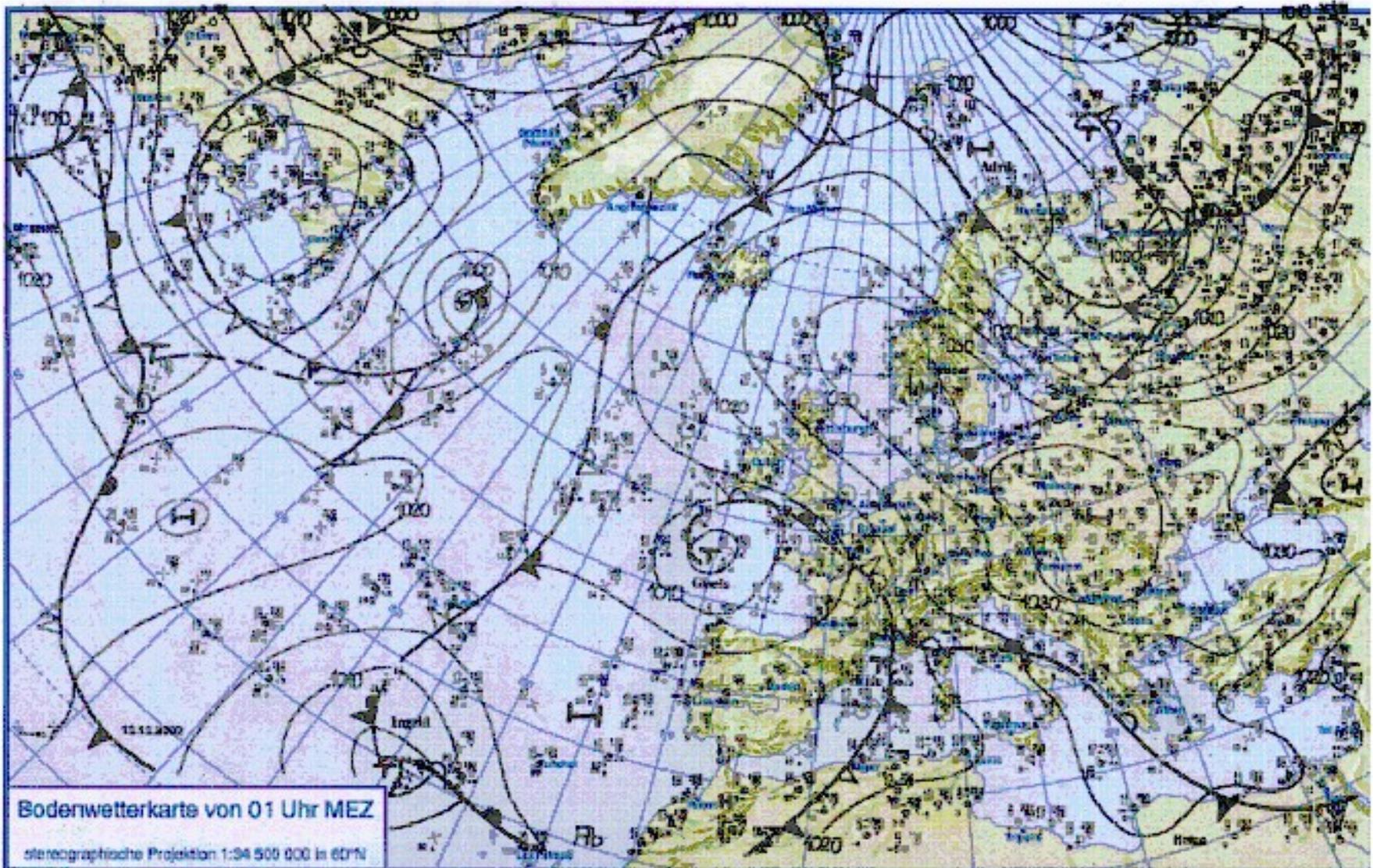


Abb. 14: Bodenwetterkarte von 01 Uhr MEZ: 12.12.2002

Quelle: (3)

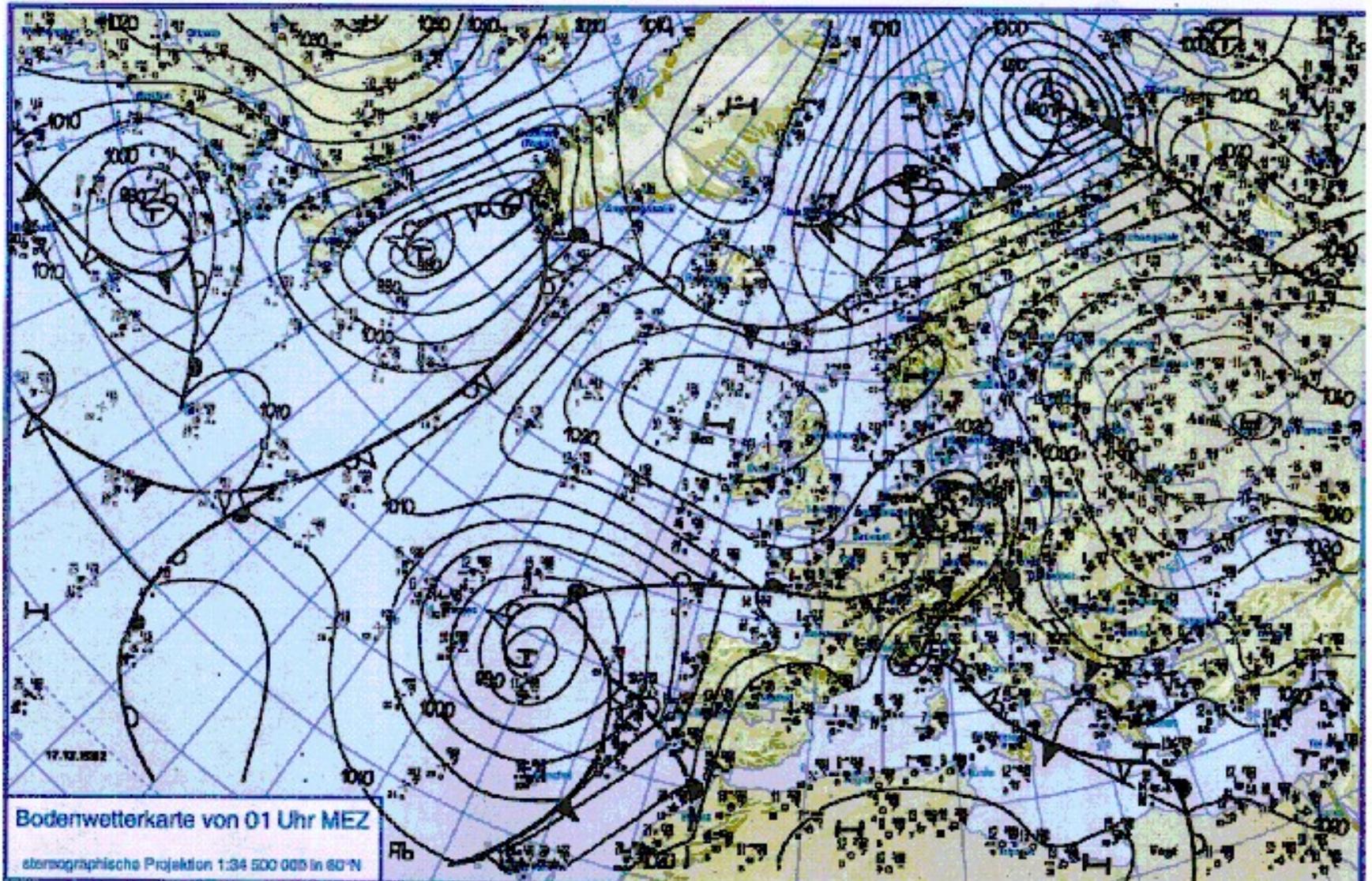


Abb.15: Bodenwetterkarte von 01 Uhr MEZ; 17.12.2002

Quelle: 3

- Südostanströmung Berlins mit starkem Hochdruckgebiet über Nordosteuropa
- Tiefdruckgebiet über dem Mittelmeer
- windarme Situation in Berlin im Hochdruckkern
- typische Situation für die Anhäufung von Schadstoffen:
 - über Ferntransport aus Industriegebieten
 - über sehr geringen Austausch in beinahe windstillen Hochdruckkern

Auflösung der Situation:

durch das herannahende Tiefdruckgebiet aus dem Westen mit erhöhten Winden und Niederschlägen

- kennzeichnend für Verbesserung der Luftqualität

3d Rückwärtstrajektorien - Beobachtungsort : Neukoelln-Ns
Starts vom 07.12.2002 mit 3 Stundenmarken

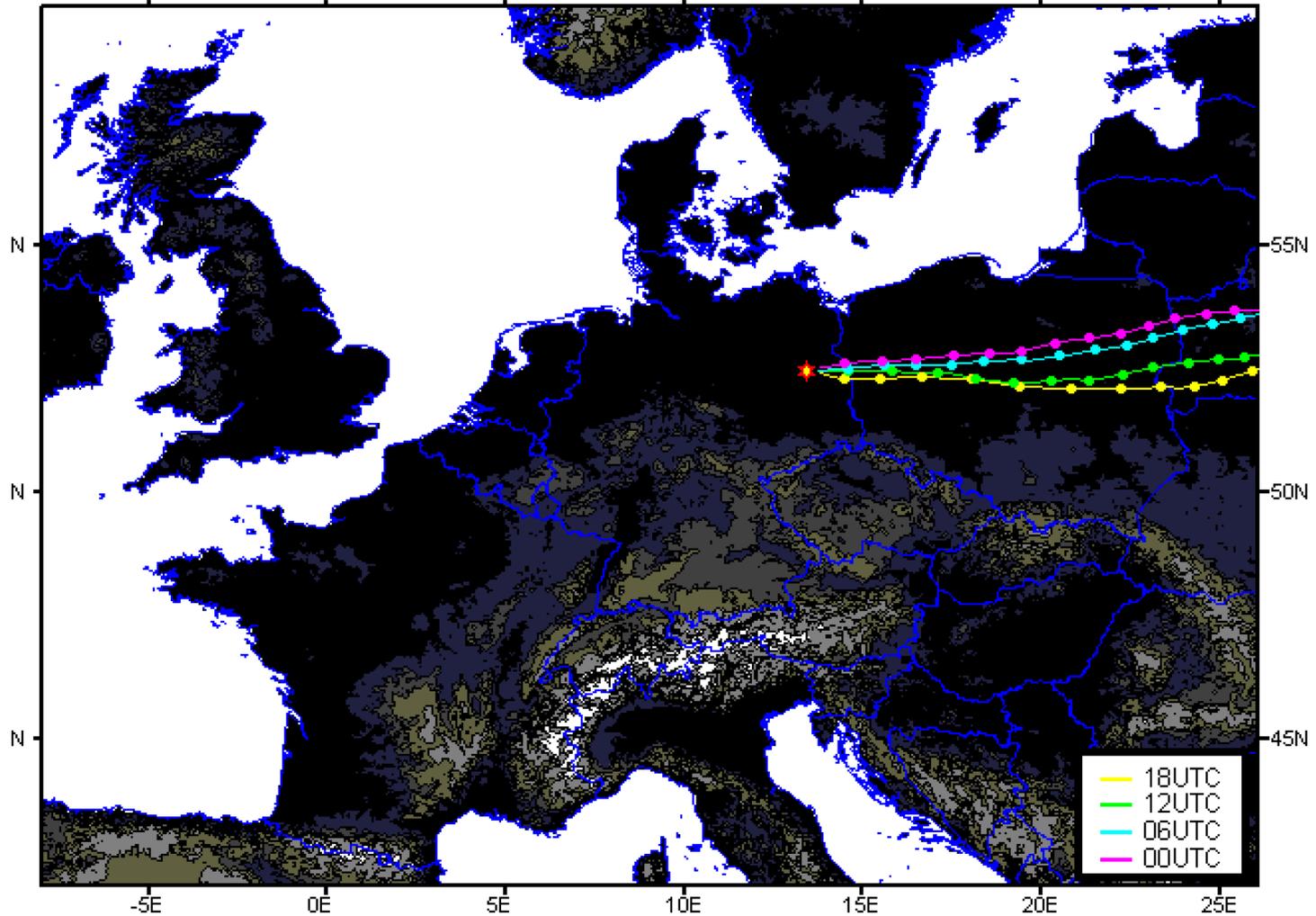


Abb.16: 3d Rückwärtstrajektorien Beobachtungsort: Neukoelln-Ns

Starts 7.12.2002 mit 3 Stundenmarken

Quelle: (3)

3d Rückwärtstrajektorien - Beobachtungsort : Neukoelln-Ns
Starts vom 12.12.2002 mit 3 Stundenmarken

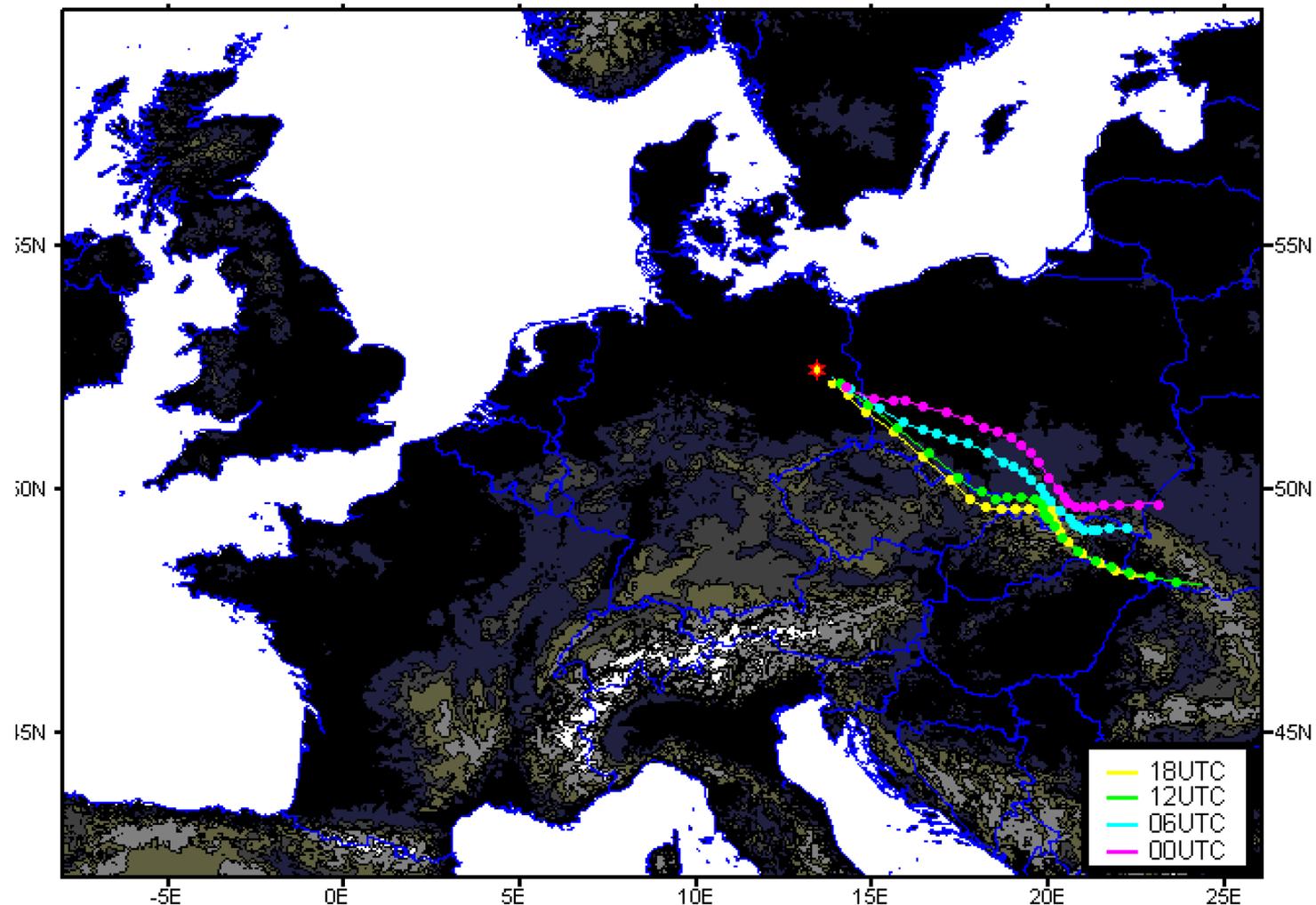


Abb.17: 3d Rückwärtstrajektorien Beobachtungsort: Neukoellen-Ns
Starts 12.12.2002 mit 3 Stundenmarken

Quelle: (3)

3d Rückwärtstrajektorien - Beobachtungsort : Neukoelln-Ns
Starts vom 17.12.2002 mit 3 Stundenmarken

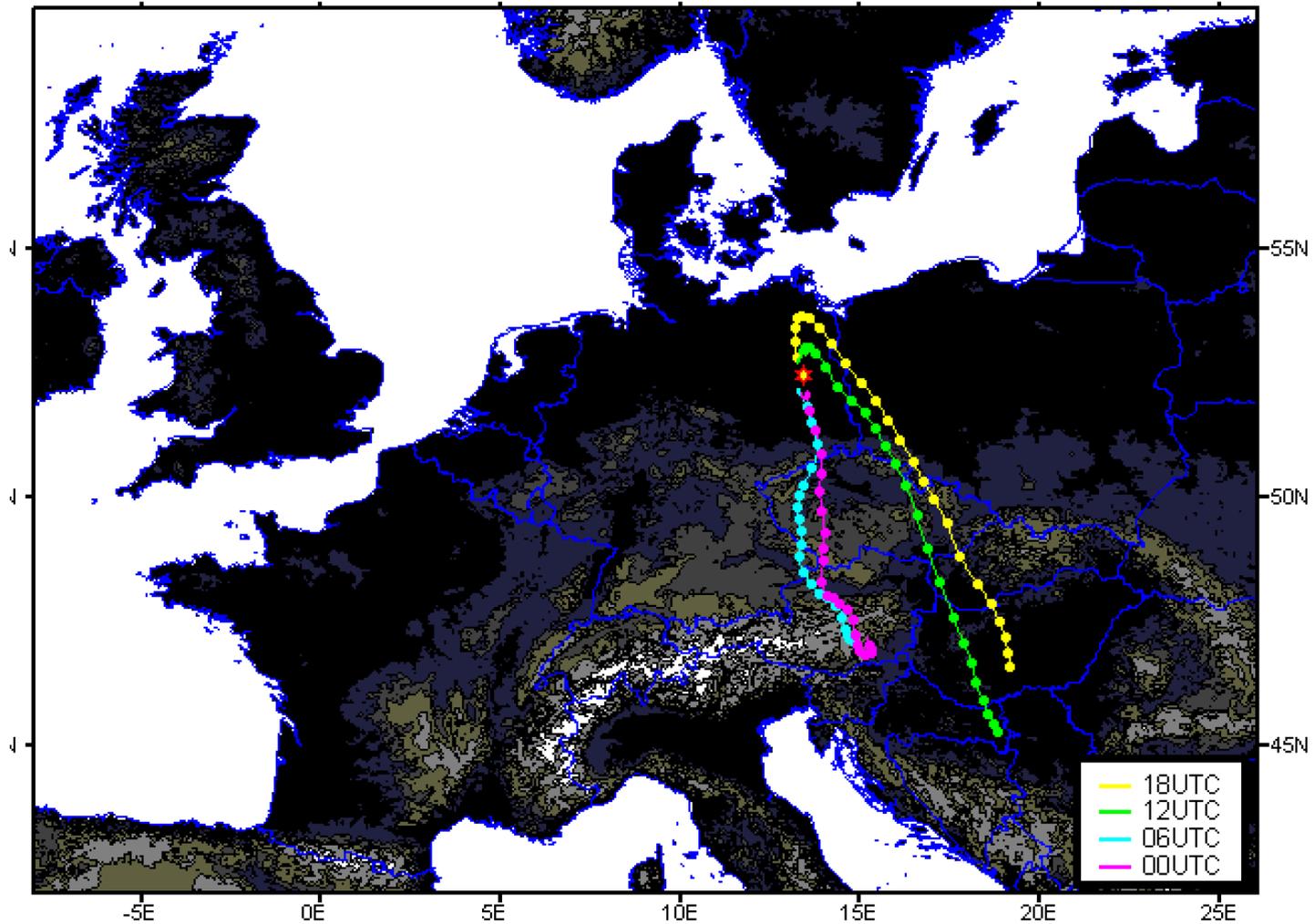


Abb.18: 3d Rückwärtstrajektorien Beobachtungsort: Neukoellen-Ns
Starts 17.12.2002 mit 3 Stundenmarken
Quelle: (3)

Vergleich mit 3D-Rückwärtstrajektorien gestartet vom Frohnauer Turm (324m):

- Hohe PM10-Konzentration ist ausschließlich in Bodennähe zu finden
- Akkumulation in Berlin ist stark gekennzeichnet durch Inversionswetterlage
- Über der Grenzschicht werden Luftmassen auch vom Westen und vom Norden nach Berlin gebracht
- v.a. gegen Ende der Dezemberperiode zeigt sich unterschiedliches Bild zwischen Luftmassen in der Mischungsschicht und darüber
- Die Trajektorien, gestartet am 14.12.2002 am Frohnauer Turm, geben den Südöstliche Einfluss nicht wieder

Vergleich mit 3D-Rückwärtstrajektorien gestartet vom Frohnauer Turm (324m):

3d Rückwärtstrajektorien - Beobachtungsort : B-Frohnau
Starts vom 14.12.2002 mit 3 Stundenmarken

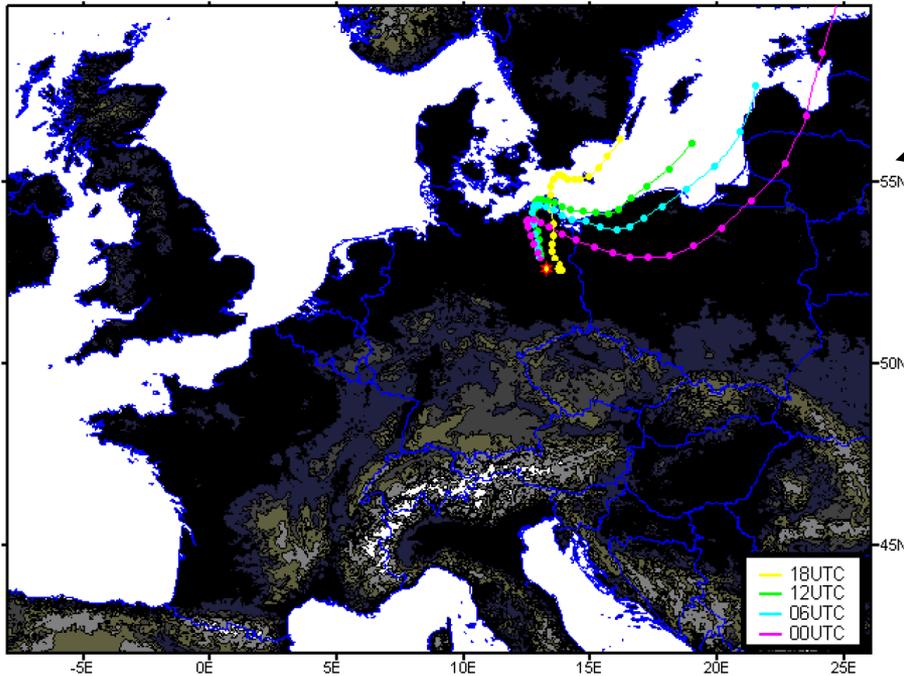


Abb. : Beobachtungsort Frohnauer Turm

3d Rückwärtstrajektorien - Beobachtungsort : Neukoelln-Ns
Starts vom 14.12.2002 mit 3 Stundenmarken

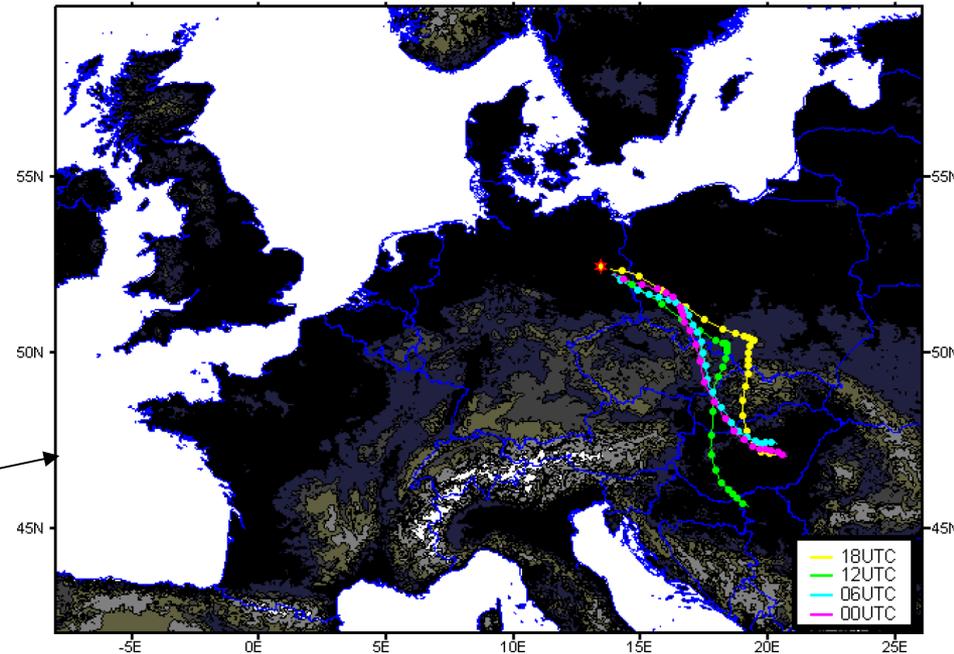


Abb. : Beobachtungsort: Neukoelln

Quelle:(3)

V) Zusammenfassung

Massenbilanz:

- nahezu neutrale Massenbilanz aller Aerosolkomponenten im Raum Berlin
- wesentlicher Prozesse zum Abbau/Anhäufung der Schadstoffe:
horizontale Advektion/Emission
- Vertikale Diffusion wichtig für Verteilung von Schadstoffen von der Bodenschicht in Mischungsschicht

Windrichtungsanalyse:

- größten Beitrag zur PM10-Immission Im Jahresdurchschnitt in Berlin durch Südwestwind- und Ostwind-Wetterlagen

Trajektorien:

- es ergeben sich im betrachteten Zeitraum sehr konzentrierte Transporte aus südöstlicher Richtung von Kattowitz her
- Luftpakete aus dem Westen führen zu niedrigeren Konzentrationen
- Wetterlagenabhängig im Beispiel Ost, Südost

VI) Literatur:

- 1) E. Reimer, A. Kerschbaumer, D. Möller, W. Wiewert, M. Pesch:
Schlussbericht für das Vorhaben Untersuchung von vertikalen und horizontalen Transportprozessen und deren Einfluss auf die bodennahe Belastung durch Ozon und Staub (HoVerT)
- 2) A. John, T. Kuhlbusch, M. Lutz
Quellenzuordnung anhand aktueller Immissions- und Emissionsdaten in Berlin
- 3) A. Kerschbaumer, R. Stern, E. Reimer:
Ausbreitungsrechnung mit dem Aerosol-Chemie-Transportmodell REM/CALGRID für die Region Berlin-Brandenburg
- 4) Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern:
Feinstaubimmission in Mecklenburg-Vorpommern
- 5) www.umweltlexikon-online.de
- 6) www.stadtentwicklung.berlin.de