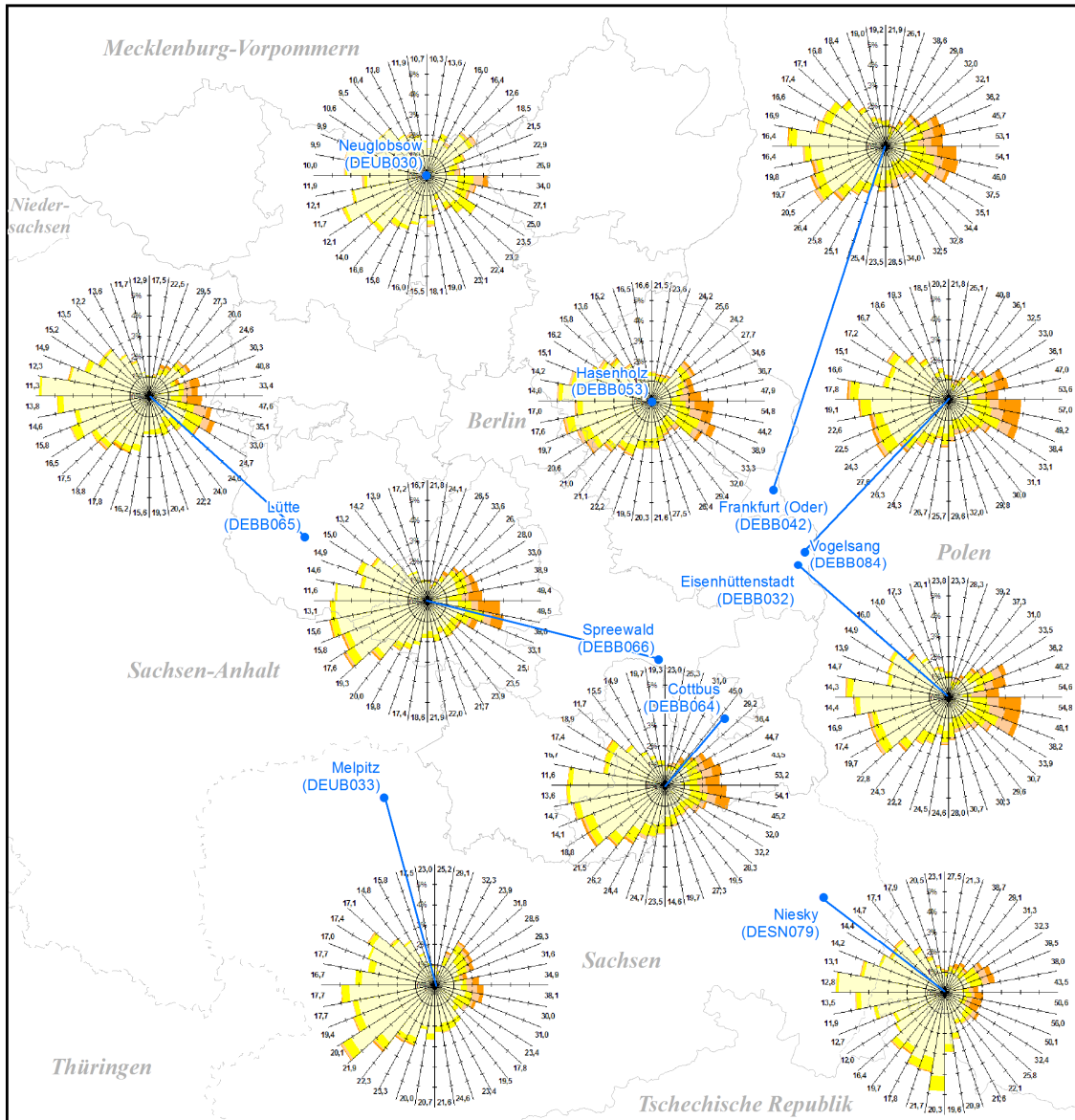


# Endbericht

## Analyse der PM10-Grenzwertüberschreitungen im Jahre 2010 im ländlichen und urbanen Hintergrund in Ostbrandenburg



für das

Ministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz  
des Landes Brandenburg

von

IVU Umwelt GmbH  
Emmy-Noether-Str. 2  
79110 Freiburg



in Zusammenarbeit mit

Dr. E. Reimer, Berlin  
Dr. R. Stern, Berlin

# Endbericht

## Analyse der PM10-Grenzwertüberschreitungen im Jahre 2010 im ländlichen und urbanen Hintergrund in Ostbrandenburg

für das

Ministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz  
des Landes Brandenburg  
Heinrich-Mann-Allee 103  
14473 Potsdam

Bearbeitet von:

Florian Pfäfflin  
Lina Neunhäuserer  
Volker Diegmann  
Heike Wursthorn

IVU Umwelt GmbH  
Emmy-Noether-Str. 2  
D-79110 Freiburg  
Tel: +49 (0) 761 / 88 85 12 - 0  
Fax: +49 (0) 761 / 88 85 12 - 12  
info@ivu-umwelt.de  
www.ivu-umwelt.de

in Zusammenarbeit mit

Dr. E. Reimer, Berlin  
Dr. R. Stern, Berlin

Vorgelegt am 02.10.2012

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Ausgangssituation</b>	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>Untersuchungsgebiet</b>	<b>15</b>
3.1	Brandenburg	15
3.1.1	Klima	15
3.1.2	Flächennutzung	15
3.2	Untersuchungsgebiet	16
<b>4</b>	<b>Sachstandsanalyse</b>	<b>19</b>
4.1	Allgemeines	19
4.2	Literaturauswertung	20
4.3	Episoden in Deutschland	21
4.4	Klassifizierung von Verkehrsmessstellen für Brandenburg	22
<b>5</b>	<b>Daten</b>	<b>23</b>
5.1	Geographische Basisdaten	23
5.1.1	Gelände	23
5.1.2	Flächennutzung	25
5.1.3	Bodenerosion	25
5.2	Digitale Karten und Luftbilder	25
5.3	Luftschadstoff-Messwerte	26
5.4	Meteorologische Daten	28
5.4.1	Strömung	28
5.4.2	Temperatur	28
5.5	Emissionsdaten	28
5.5.1	Genehmigungsbedürftige Anlagen	28
5.5.2	Kfz-Verkehr	29
5.5.3	Hausbrand und Kleinverbraucher	29
5.5.4	Ungefasste Emissionen	30
<b>6</b>	<b>Analysen</b>	<b>31</b>
6.1	Klassifikation von Wetterlagen für die Überschreitungstage	31
6.1.1	Wetterlage 6. - 8. Januar	32
6.1.2	Wetterlage 12. - 17. Januar	33
6.1.3	Wetterlage 18. - 20. Januar	34
6.1.4	Wetterlage 21. - 27. Januar	35
6.1.5	Wetterlage 5. - 7. Februar	36
6.1.6	Wetterlage 9. - 11. Februar	37
6.1.7	Wetterlage 16. - 19. Februar	38
6.1.8	Wetterlage 9. - 11. März	39
6.1.9	Wetterlage 25. März	40
6.1.10	Wetterlage 8. - 10. Oktober	41
6.1.11	Wetterlage 31. Oktober - 2. November	42

6.1.12	Wetterlage 7. - 8. Dezember	43
6.1.13	Wetterlage 19. - 23. Dezember	44
6.1.14	Wetterlage 28. - 30. Dezember	45
6.2	Trajektorienanalyse	46
6.3	Immissionsmessdatenanalyse	48
6.3.1	Allgemeine Analyse	48
6.3.2	Windrichtungsabhängige Analyse der Messwerte	52
6.3.2.1	Schadstoffwindrosen	52
6.3.2.2	Differenzen-Windrosen	61
6.3.3	Immissionsverhältnisse	68
6.3.4	Großräumige Belastungssituation	71
6.4	Klassifizierung bezüglich Einfluss des Ferntransports	81
6.5	Einflussmatrizen	84
6.6	Regionale Ausbreitungsrechnungen	93
6.6.1	RCG-Modell	94
6.6.2	Eingangsdaten	95
6.6.2.1	Meteorologische Daten	95
6.6.2.2	Emissionsdaten	95
6.6.3	Berechnungen	95
6.6.4	Ergebnisse	96
6.7	Lokale Ausbreitungsrechnungen	108
6.7.1	Ungefasste Quellen	109
6.7.1.1	Mögliche Quellen	109
6.7.1.2	Identifikation und Modellierung der Quellen	109
6.7.2	Immissionsmodellierung	116
6.7.2.1	Modellgebiete	116
6.7.2.2	Meteorologische Zeitreihen	118
6.7.2.3	Rauigkeiten	118
6.7.2.4	Emissionen	118
6.7.2.5	Modellergebnisse	125
6.8	Bestimmung des Einflusses des Ferntransports auf die Messstationen	136
6.9	Verursacheranteile	140
<b>7</b>	<b>Schlussfolgerungen</b>	<b>143</b>
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>147</b>
<b>9</b>	<b>Literatur</b>	<b>149</b>
<b>A</b>	<b>Trajektorienanalyse</b>	<b>157</b>
A.1	Vogelsang	157
A.2	Eisenhüttenstadt	165
A.3	Frankfurt (Oder)	173
A.4	Hasenholz	181
A.5	Cottbus	189



## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 2-1:	PM10-Tagesmittelwertüberschreitungen 2010	13
Abbildung 2-2:	Häufigkeitsverteilung der PM10-Tagesmittelwerte > 50 µg/m <sup>3</sup>	13
Abbildung 3-1:	Flächennutzung in Brandenburg 2010	16
Abbildung 3-2:	Untersuchungsgebiet mit Lage der fünf Messstationen	17
Abbildung 5-1:	Ergänzung des Geländemodells außerhalb von Brandenburg	24
Abbildung 5-2:	Lage der Messstationen	27
Abbildung 5-3:	Schematische Darstellung der Bearbeitung der Emissionen von Hausbrand und Kleinverbrauchern	29
Abbildung 6-1:	Wetterkarte vom 06.01.2010	32
Abbildung 6-2:	Wetterkarte vom 15.01.2010	33
Abbildung 6-3:	Wetterkarte vom 20.01.2010	34
Abbildung 6-4:	Wetterkarte vom 25.01.2010	35
Abbildung 6-5:	Wetterkarte vom 06.02.2010	36
Abbildung 6-6:	Wetterkarte vom 09.02.2010	37
Abbildung 6-7:	Wetterkarte vom 17.02.2010	38
Abbildung 6-8:	Wetterkarte vom 11.03.2010	39
Abbildung 6-9:	Wetterkarte vom 25.03.2010	40
Abbildung 6-10:	Wetterkarte vom 09.10.2010	41
Abbildung 6-11:	Wetterkarte vom 02.11.2010	42
Abbildung 6-12:	Wetterkarte vom 06.12.2010	43
Abbildung 6-13:	Wetterkarte vom 19.12.2010	44
Abbildung 6-14:	Wetterkarte vom 06.12.2010	45
Abbildung 6-15:	Beispiel für vier 3D-Rückwärtstrajektorien	47
Abbildung 6-16:	Zeitreihen der PM10-Tagesmittelwerte	49
Abbildung 6-17:	Korrelationsmatrix der Tagesmittelwertzeitreihen	50
Abbildung 6-18:	Beispiel für die Analyse der Schadstoffbelastung	52
Abbildung 6-19:	Schadstoffwindrosen PM10 für das Jahr 2010	54
Abbildung 6-20:	Schadstoffwindrosen PM10 für die Überschreitungstage 2010	55
Abbildung 6-21:	Schadstoffwindrosen PM10 2010 für das Jahr und für die Überschreitungstage	56
Abbildung 6-22:	PM10-Differenzen-Windrosen für 2010 zur Abschätzung des Gradienten im Hintergrund	63
Abbildung 6-23:	PM10-Differenzen-Windrosen für die jeweiligen Überschreitungstage 2010 zur Abschätzung des Gradienten im Hintergrund	64
Abbildung 6-24:	PM10-Differenzen-Windrosen für 2010 zur Abschätzung des städtischen Beitrags	66
Abbildung 6-25:	PM10-Differenzen-Windrosen für die jeweiligen Überschreitungstage 2010 zur Abschätzung des städtischen Beitrags	67
Abbildung 6-26:	Großräumige PM10-Belastung als OI-Interpolation (Teil 1)	73
Abbildung 6-27:	Großräumige PM10-Belastung als OI-Interpolation (Teil 2)	74
Abbildung 6-28:	Großräumige PM10-Belastung als OI-Interpolation (Teil 3)	75
Abbildung 6-29:	Großräumige PM10-Belastung als OI-Interpolation (Teil 4)	76
Abbildung 6-30:	Großräumige PM10-Belastung als OI-Interpolation (Teil 5)	77
Abbildung 6-31:	Großräumige PM10-Belastung als OI-Interpolation (Teil 6)	78
Abbildung 6-32:	Großräumige PM10-Belastung als OI-Interpolation (Teil 7)	79
Abbildung 6-33:	Großräumige PM10-Belastung als OI-Interpolation (Teil 8)	80
Abbildung 6-34:	Einflussmatrizen Vogelsang	87
Abbildung 6-35:	Einflussmatrizen Eisenhüttenstadt	87
Abbildung 6-36:	Einflussmatrizen Frankfurt (Oder)	88

Abbildung 6-37:	Einflussmatrizen Hasenholz	88
Abbildung 6-38:	Einflussmatrizen Cottbus	89
Abbildung 6-39:	Einflussmatrizen Neuglobsow	89
Abbildung 6-40:	Einflussmatrizen Lütze	90
Abbildung 6-41:	Einflussmatrizen Spreewald	90
Abbildung 6-42:	Einflussmatrizen Melpitz	91
Abbildung 6-43:	Einflussmatrizen Niesky	91
Abbildung 6-44:	Einflussmatrix „Brandenburg“ als Mittel aller Stationen	92
Abbildung 6-45:	Mittlere relative Beiträge des Ferntransports, modelliert mit RCG	98
Abbildung 6-46:	Relative Beiträge des Ferntransports (Teil 1)	100
Abbildung 6-47:	Relative Beiträge des Ferntransports (Teil 2)	101
Abbildung 6-48:	Relative Beiträge des Ferntransports (Teil 3)	102
Abbildung 6-49:	Relative Beiträge des Ferntransports (Teil 4)	103
Abbildung 6-50:	Relative Beiträge des Ferntransports (Teil 5)	104
Abbildung 6-51:	Relative Beiträge des Ferntransports (Teil 6)	105
Abbildung 6-52:	Relative Beiträge des Ferntransports (Teil 7)	106
Abbildung 6-53:	Relative Beiträge des Ferntransports (Teil 8)	107
Abbildung 6-54:	Häufigkeitsverteilungen der Windgeschwindigkeiten in Hasenholz und Cottbus	113
Abbildung 6-55:	Lage und Netzschilderung der LASAT-Modellgebiete	117
Abbildung 6-56:	PM10-Emissionen im äußeren Modellgebiet Vogelsang	120
Abbildung 6-57:	PM10-Emissionen im äußeren Modellgebiet Eisenhüttenstadt	121
Abbildung 6-58:	PM10-Emissionen im äußeren Modellgebiet Frankfurt (Oder)	122
Abbildung 6-59:	PM10-Emissionen im äußeren Modellgebiet Hasenholz	123
Abbildung 6-60:	PM10-Emissionen im äußeren Modellgebiet Cottbus	124
Abbildung 6-61:	PM10-Tagesmittelwerte der Zusatzbelastung (Teil 1)	126
Abbildung 6-62:	PM10-Tagesmittelwerte der Zusatzbelastung (Teil 2)	127
Abbildung 6-63:	PM10-Tagesmittelwert der Zusatzbelastung für ausgewählte Tage, Modellgebiet Cottbus	130
Abbildung 6-64:	PM10-Tagesmittelwert der Zusatzbelastung für ausgewählte Tage, Modellgebiet Eisenhüttenstadt	131
Abbildung 6-65:	PM10-Tagesmittelwert der Zusatzbelastung für ausgewählte Tage, Modellgebiet Frankfurt (Oder)	132
Abbildung 6-66:	PM10-Tagesmittelwert der Zusatzbelastung für ausgewählte Tage, Modellgebiet Hasenholz	133
Abbildung 6-67:	PM10-Tagesmittelwert der Zusatzbelastung für ausgewählte Tage, Modellgebiet Vogelsang	134
Abbildung A-1:	3-D-Rückwärtstrajektorien für Vogelsang (Teil 1)	157
Abbildung A-2:	3-D-Rückwärtstrajektorien für Vogelsang (Teil 2)	158
Abbildung A-3:	3-D-Rückwärtstrajektorien für Vogelsang (Teil 3)	159
Abbildung A-4:	3-D-Rückwärtstrajektorien für Vogelsang (Teil 4)	160
Abbildung A-5:	3-D-Rückwärtstrajektorien für Vogelsang (Teil 5)	161
Abbildung A-6:	3-D-Rückwärtstrajektorien für Vogelsang (Teil 6)	162
Abbildung A-7:	3-D-Rückwärtstrajektorien für Vogelsang (Teil 7)	163
Abbildung A-8:	3-D-Rückwärtstrajektorien für Vogelsang (Teil 8)	164
Abbildung A-9:	3-D-Rückwärtstrajektorien für Eisenhüttenstadt (Teil 1)	165
Abbildung A-10:	3-D-Rückwärtstrajektorien für Eisenhüttenstadt (Teil 2)	166
Abbildung A-11:	3-D-Rückwärtstrajektorien für Eisenhüttenstadt (Teil 3)	167
Abbildung A-12:	3-D-Rückwärtstrajektorien für Eisenhüttenstadt (Teil 4)	168
Abbildung A-13:	3-D-Rückwärtstrajektorien für Eisenhüttenstadt (Teil 5)	169

Abbildung A-14:	3-D-Rückwärtstrajektorien für Eisenhüttenstadt (Teil 6)	170
Abbildung A-15:	3-D-Rückwärtstrajektorien für Eisenhüttenstadt (Teil 7)	171
Abbildung A-16:	3-D-Rückwärtstrajektorien für Eisenhüttenstadt (Teil 8)	172
Abbildung A-17:	3-D-Rückwärtstrajektorien für Frankfurt (Oder) (Teil 1)	173
Abbildung A-18:	3-D-Rückwärtstrajektorien für Frankfurt (Oder) (Teil 2)	174
Abbildung A-19:	3-D-Rückwärtstrajektorien für Frankfurt (Oder) (Teil 3)	175
Abbildung A-20:	3-D-Rückwärtstrajektorien für Frankfurt (Oder) (Teil 4)	176
Abbildung A-21:	3-D-Rückwärtstrajektorien für Frankfurt (Oder) (Teil 5)	177
Abbildung A-22:	3-D-Rückwärtstrajektorien für Frankfurt (Oder) (Teil 6)	178
Abbildung A-23:	3-D-Rückwärtstrajektorien für Frankfurt (Oder) (Teil 7)	179
Abbildung A-24:	3-D-Rückwärtstrajektorien für Frankfurt (Oder) (Teil 8)	180
Abbildung A-25:	3-D-Rückwärtstrajektorien für Hasenholz (Teil 1)	181
Abbildung A-26:	3-D-Rückwärtstrajektorien für Hasenholz (Teil 2)	182
Abbildung A-27:	3-D-Rückwärtstrajektorien für Hasenholz (Teil 3)	183
Abbildung A-28:	3-D-Rückwärtstrajektorien für Hasenholz (Teil 4)	184
Abbildung A-29:	3-D-Rückwärtstrajektorien für Hasenholz (Teil 5)	185
Abbildung A-30:	3-D-Rückwärtstrajektorien für Hasenholz (Teil 6)	186
Abbildung A-31:	3-D-Rückwärtstrajektorien für Hasenholz (Teil 7)	187
Abbildung A-32:	3-D-Rückwärtstrajektorien für Hasenholz (Teil 8)	188
Abbildung A-33:	3-D-Rückwärtstrajektorien für Cottbus (Teil 1)	189
Abbildung A-34:	3-D-Rückwärtstrajektorien für Cottbus (Teil 2)	190
Abbildung A-35:	3-D-Rückwärtstrajektorien für Cottbus (Teil 3)	191
Abbildung A-36:	3-D-Rückwärtstrajektorien für Cottbus (Teil 4)	192
Abbildung A-37:	3-D-Rückwärtstrajektorien für Cottbus (Teil 5)	193
Abbildung A-38:	3-D-Rückwärtstrajektorien für Cottbus (Teil 6)	194
Abbildung A-39:	3-D-Rückwärtstrajektorien für Cottbus (Teil 7)	195
Abbildung A-40:	3-D-Rückwärtstrajektorien für Cottbus (Teil 8)	196

## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 2-1:	Kenngößen der PM10-Messwerte der fünf Stationen	11
Tabelle 2-2:	PM10-Tagesmittelwertüberschreitungen 2010	12
Tabelle 3-1:	Klimadaten 2010	15
Tabelle 4-1:	Gegenüberstellung der Überschreitungstage in Ostbrandenburg und der Episodentage 2010	22
Tabelle 5-1:	Lage und Charakterisierung der fünf Messstationen	26
Tabelle 5-2:	Heizgradtage und Skalierungsfaktoren zur Fortschreibung der Hausbrandemissionen	30
Tabelle 6-1:	Zeitabschnitte der Wetterlage an den Überschreitungstagen	31
Tabelle 6-2:	Verteilung der Stunden auf die Windrichtungssektoren und Belastungsklassen an den Überschreitungstagen in Hasenholz	58
Tabelle 6-3:	Verteilung der Stunden auf die Windrichtungssektoren für die einzelnen Überschreitungstage in Hasenholz	59
Tabelle 6-4:	Anzahl der Stunden mit Windrichtungen außerhalb der häufigsten Sektoren an den Überschreitungstagen	60
Tabelle 6-5:	Statistische Kenngößen der PM2.5 zu PM10-Verhältnisse in Eisenhüttenstadt, Hasenholz und Cottbus	68
Tabelle 6-6:	PM2.5/PM10-Verhältnisse in Eisenhüttenstadt, Hasenholz und Cottbus an den Überschreitungstagen	69
Tabelle 6-7:	Klassifizierung bezüglich Einfluss des Ferntransports 1	83
Tabelle 6-8:	Mögliche emissionsrelevante Flächenobjekte in ATKIS/ALK	111
Tabelle 6-9:	Abmessungen und horizontale Auflösung der Netze	118
Tabelle 6-10:	PM10-Emissionen für die Modellgebiete	119
Tabelle 6-11:	Mit LASAT berechnete PM10-Tagesmittelwerte der Zusatzbelastung	128
Tabelle 6-12:	Mit LASAT berechneten PM10-Tagesmittelwerte der Zusatz- an der gemessenen Gesamtbelastung	128
Tabelle 6-13:	Anzahl der Tage > 50 µg/m <sup>3</sup> bei Reduktion der gemessenen Gesamtbelastung	135
Tabelle 6-14:	Klassifizierung bezüglich Einfluss des Ferntransports 2	137
Tabelle 6-15:	PM10-Verursacheranteile an den fünf Stationen	141

# 1 Einführung

Die Zielsetzung dieses Projekts ist die Untersuchung der Belastungssituation an den vier Messstationen im urbanen Hintergrund in Cottbus, Eisenhüttenstadt, Frankfurt (Oder) und Vogelsang (Brieskow-Finkenheerd) sowie der Messstation Hasenholz (Buckow) im ländlichen Hintergrund in Ostbrandenburg und insbesondere die Klärung der Fragen

- welche Beiträge lokale Verursacher zu den hohen PM10-Konzentrationen leisten,
- inwieweit besonders ungünstige Wetterlagen für eine spezifische Luftschadstoffverfrachtung und mangelnde „Verdünnung“ der Luftschadstoffkonzentrationen gesorgt haben,
- inwieweit Ferntransportprozesse einen Beitrag zur Gesamtbelastung geleistet haben und
- welche Maßnahmen zu ergreifen sind, um die Grenzwerte auf Dauer einzuhalten und dabei den rechtlichen Rahmen zu beachten.

Die im Rahmen des Projekts im einzelnen durchgeführten Arbeiten bestehen aus

- einer Sachstandsanalyse und Literaturrecherche,
- der Immissionsmessdatenanalyse für die fünf Stationen,
- Ausbreitungsrechnungen für den Umkreis der Stationen,
- der Bestimmung des Einflusses des Ferntransports auf die Immissionsbelastung und
- einer darauf basierenden Ausweisung der Verursacheranteile.

Da es an den betrachteten Stationen für 2010, mit Ausnahme von Schwermetallen und PAK in Vogelsang, keine Inhaltsstoffmessungen gibt, konnte für die hier vorliegenden Untersuchungen nicht auf die ansonsten zur PM10-Verursacheranalyse sehr hilfreichen Analysen von Inhaltsstoffen zurückgegriffen werden.

Alle Arbeiten werden in enger Abstimmung mit dem Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (LUGV) Brandenburgs durchgeführt.

## **Anmerkung:**

Im Text sowie in den Tabellen, Abbildungen und Karten wird der Punkt als Dezimaltrennzeichen verwendet.



## 2 Ausgangssituation

An den fünf Messstationen Vogelsang, Eisenhüttenstadt, Frankfurt (Oder), Hasenholz und Cottbus wurden im Jahr 2010 insgesamt 187 Überschreitungen des Tagesgrenzwerts der 39. BImSchV (2010) für PM10 in Höhe von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  gemessen, wobei die Anzahl der Überschreitungsfälle an den einzelnen Stationen zwischen 36 und 41 liegt. Die Jahresmittelwerte und die Anzahl der Überschreitungstage sind in Tabelle 2-1 zusammengestellt. Die Lage der Stationen und ihre Charakterisierung kann Abbildung 3-2 und Tabelle 5-1 entnommen werden.

**Tabelle 2-1: Kenngrößen der PM10-Messwerte der fünf Stationen**

Messstation	PM10-Messwerte	
	Anzahl Tage $> 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Jahresmittelwert
Vogelsang	38	29
Eisenhüttenstadt	41	27
Frankfurt (Oder)	36	28
Hasenholz	36	24
Cottbus	36	27

Die 187 Überschreitungsfälle verteilen sich auf insgesamt 48 Kalendertage. An 46 der 48 Kalendertage wurde an mindestens zwei Stationen PM10-Tagesmittelwerte  $> 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  gemessen, an 39 Tagen an mindestens drei und an 35 Tagen an mindestens vier Stationen. An 22 Tagen wiesen alle Stationen Tagesmittelwerte  $> 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  auf.

In Tabelle 2-2 sind alle Überschreitungsfälle der fünf Stationen aufgeführt. Zusammenhängende Tage sind dabei abwechselnd weiß und grau hinterlegt. In Abbildung 2-1 sind die Messwerte grafisch dargestellt.

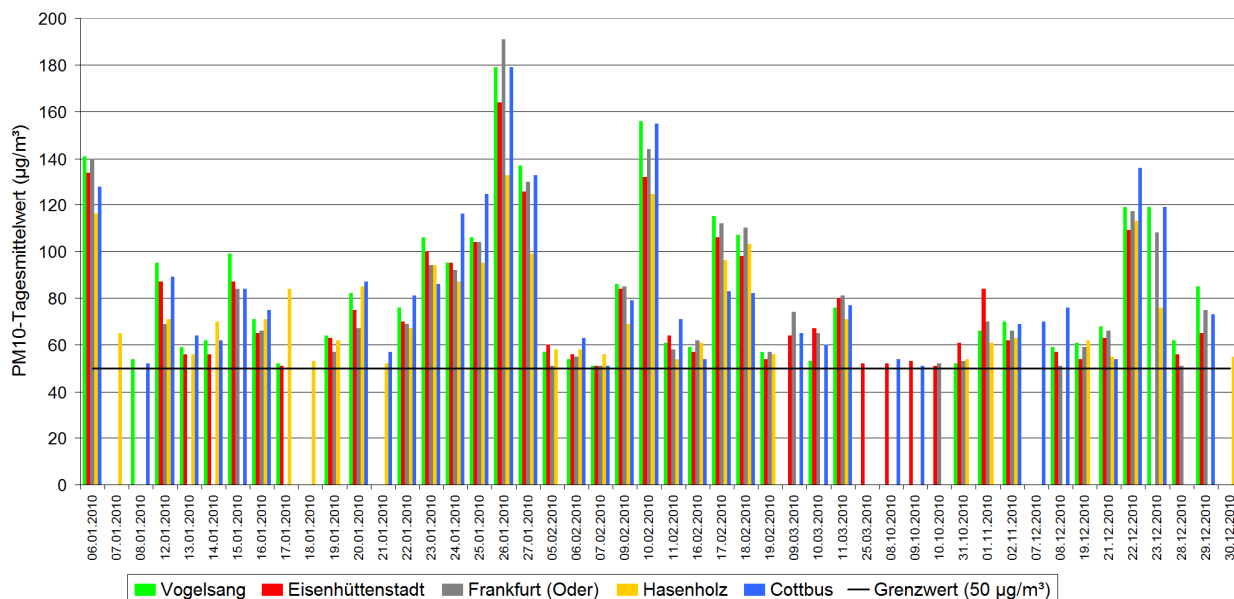
Insgesamt erreichen die Tagesmittelwerte an den fünf Stationen Werte bis zu  $191 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Der Maximalwert wurde am 26.01.2010 in Frankfurt (Oder) gemessen. Die Maxima der vier anderen Stationen traten ebenfalls an diesem Tag auf und liegen zwischen  $133$  und  $179 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Eine Häufigkeitsverteilung der Messwerte findet sich in Abbildung 2-2. 30 % der Messwerte der Überschreitungstage sind  $\leq 60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , weitere ca. 50 % liegen zwischen  $60$  und  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und bei knapp über 20 % der Überschreitungen wurden über  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  gemessen.



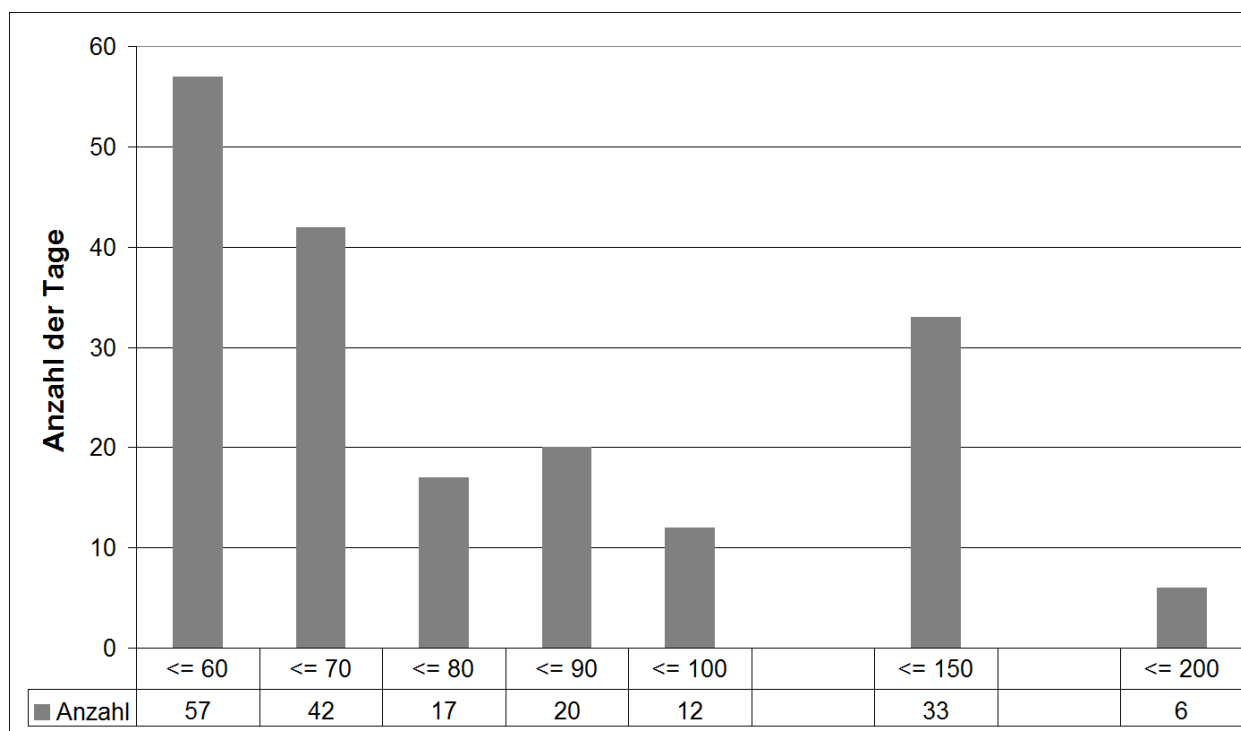
**Tabelle 2-2: PM10-Tagesmittelwertüberschreitungen an den fünf Stationen 2010**

Datum	PM10-Tagesmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]				
	Vogel-sang	Eisenhüt-tenstadt	Frankfurt (Oder)	Hasen-holz	Cottbus
06.01.10	141	134	140	116	128
07.01.10				65	
08.01.10	54				52
12.01.10	95	87	69	71	89
13.01.10	59	56		56	64
14.01.10	62	56		70	62
15.01.10	99	87	84		84
16.01.10	71	65	66	71	75
17.01.10	52	51		84	
18.01.10				53	
19.01.10	64	63	57	62	
20.01.10	82	75	67	85	87
21.01.10				52	57
22.01.10	76	70	69	67	81
23.01.10	106	100	94	94	86
24.01.10	95	95	92	87	116
25.01.10	106	104	104	95	125
26.01.10	179	164	191	133	179
27.01.10	137	126	130	99	133
05.02.10	57	60	51	58	
06.02.10	54	56	55	58	63
07.02.10	51	51	51	56	51
09.02.10	86	84	85	69	79
10.02.10	156	132	144	125	155
11.02.10	61	64	58	54	71
16.02.10	59	57	62	61	54
17.02.10	115	106	112	96	83
18.02.10	107	98	110	103	82
19.02.10	57	54	57	56	
09.03.10		64	74		65
10.03.10	53	67	65		60
11.03.10	76	80	81	71	77
25.03.10		52			
08.10.10		52			54
09.10.10		53			51
10.10.10		51	52		
31.10.10	52	61	53	54	
01.11.10	66	84	70	61	
02.11.10	70	62	66	63	69
07.12.10					70
08.12.10	59	57	51		76
19.12.10	61	54	59	62	
21.12.10	68	63	66	55	54
22.12.10	119	109	117	113	136
23.12.10	119		108	76	119
28.12.10	62	56	51		
29.12.10	85	65	75		73
30.12.10				55	51
Anzahl	38	41	36	36	36





**Abbildung 2-1: PM10-Tagesmittelwertüberschreitungen an den fünf Stationen 2010**



**Abbildung 2-2: Häufigkeitsverteilung der an den fünf Stationen gemessenen PM10-Tagesmittelwerte  $> 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$**



## 3 Untersuchungsgebiet

### 3.1 Brandenburg

Brandenburg weist eine Gesamtfläche von 29'483 km<sup>2</sup> auf, mit einer räumlichen Ausdehnung von ca. 244 km in Nord-Süd-Richtung und ca. 234 km in West-Ost-Richtung. Brandenburg hat insgesamt 1'322 km gemeinsame Grenzen mit den fünf Bundesländern Mecklenburg-Vorpommern, Berlin, Sachsen-Anhalt, Sachsen und Niedersachsen sowie 267 km mit dem europäischen Nachbarn Polen (AfS BB, 2010).

Die naturräumliche Gliederung zeigt Platten- und Hügellandschaften, die von einem ausgedehnten Netz an Fließgewässern und Seen durchzogen sind. Die großen Flussläufe sind Elbe, Oder, Havel, Spree und Schwarze Elster. Die höchste Erhebung des Landes ist mit 201 m der Kutschenberg in den Kmehlener Bergen, an der Landesgrenze zu Sachsen. Das Höhengniveau Brandenburgs liegt meist zwischen 30 und 50 m über NN (MUGV, 2009).

Mit Stand 31.12.2010 hatte Brandenburg 2'503'273 Einwohner (AfS BB, 2011), somit ergibt sich eine Bevölkerungsdichte von 85 Einwohnern pro km<sup>2</sup>. Diese liegt deutlich unter dem Bundesdurchschnitt von 229 Einwohnern pro km<sup>2</sup> (Stand 31.12.2010, Statistikportal, 2011).

#### 3.1.1 Klima

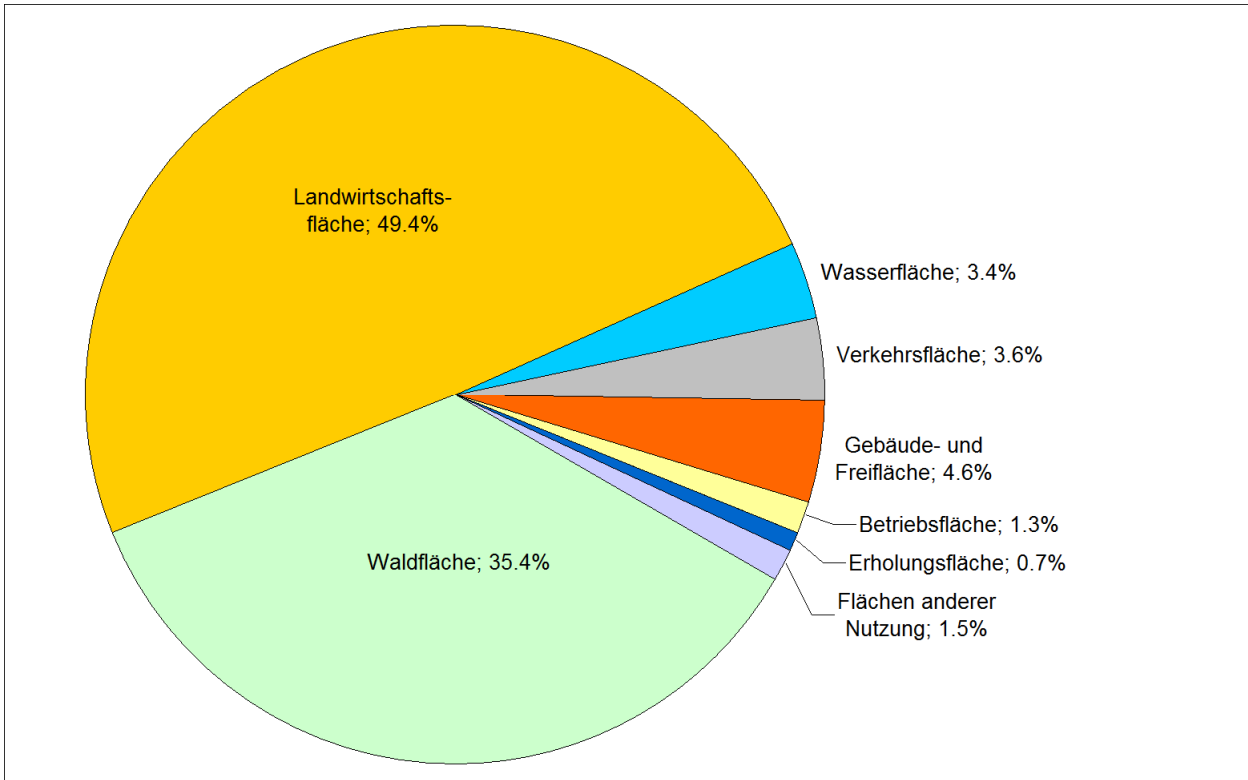
Das Klima in Brandenburg ist tendenziell trocken und eher kontinental geprägt, es können sich relativ große Schwankungen zwischen den Jahreszeiten zeigen (DWD, 2011). Tabelle 3-1 stellt Klimadaten des Jahres 2010 der Wetterstation Potsdam (AfS BB, 2011) und des Deutschen Wetterdienstes (DWD, 2011) für Brandenburg zusammen.

**Tabelle 3-1: Klimadaten 2010**

Klima	Einheit	Wetterstation Potsdam (AfS BB, 2011)	Brandenburg (DWD, 2011)
Temperatur (Jahresmittel)	° C	8.3	8.7
Sonnenscheindauer (Jahressumme)	Std.	1'605	1'634
Niederschlag (Jahressumme)	mm	647	557
Sommertage (mindestens 25 ° C)	Anzahl	49	k. A.
Frosttage (Minimum unter 0 ° C)	Anzahl	106	k. A.

#### 3.1.2 Flächennutzung

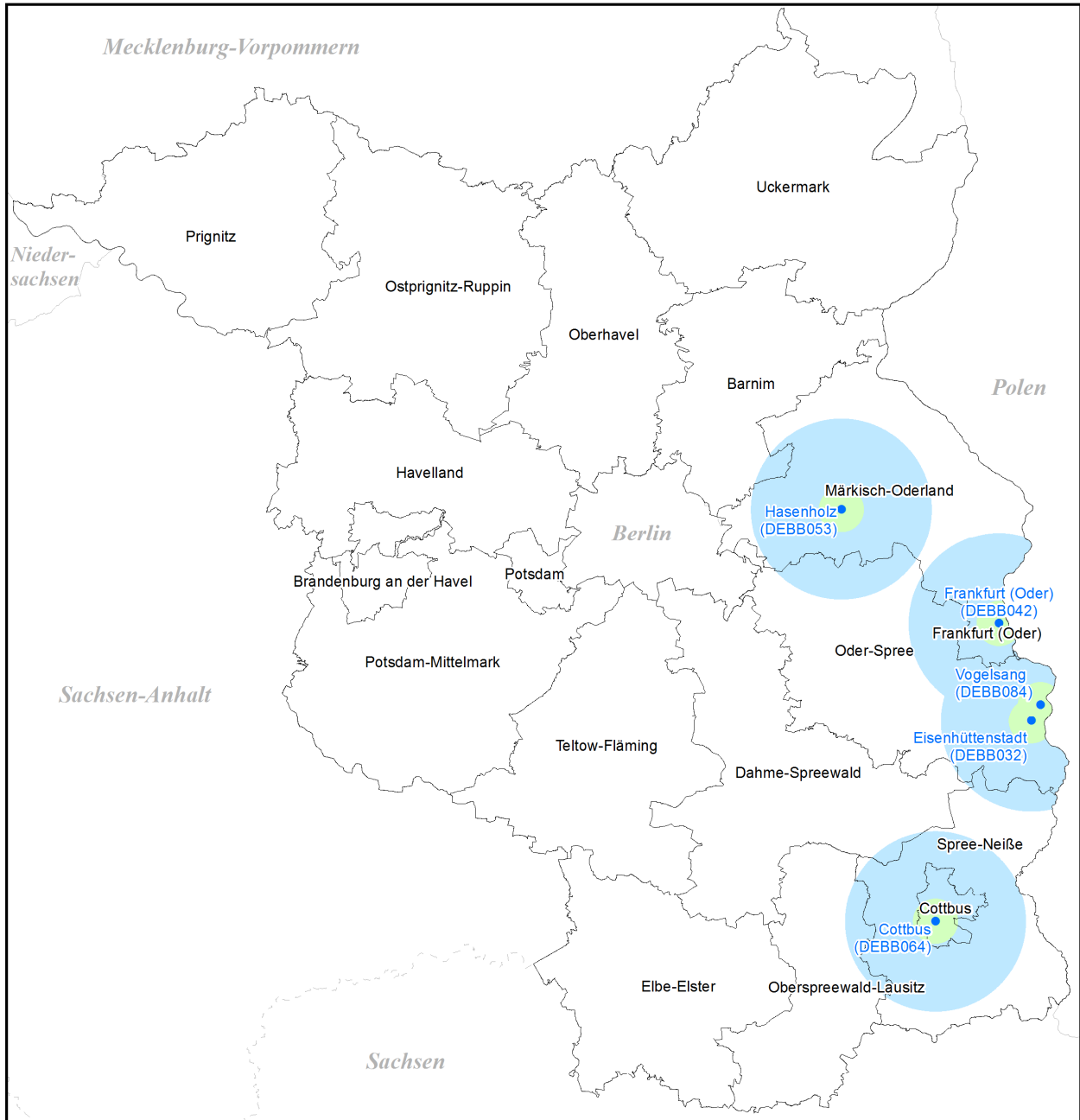
Abbildung 3-1 führt die Flächennutzung in Brandenburg für das Jahr 2010 auf. Der Anteil der Landwirtschaftsfläche beträgt in Brandenburg nahezu 50 %. Mehr als ein Drittel des Landes ist von Wald bedeckt. Verkehrs- und Wasserflächen machen einen annähernd gleichen Anteil aus.



**Abbildung 3-1: Flächennutzung in Brandenburg 2010 (Daten aus AfS BB, 2011)**

### 3.2 Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet der vorliegenden Untersuchung ist gemäß der Lage der fünf Stationen der Osten Brandenburgs. Für die Betrachtungen zum Ferntransport dehnen sich die Betrachtungen naturgemäß über das Gebiet Brandenburgs hinaus aus. Innerhalb Ostbrandenburgs gibt es für die lokalen Ausbreitungsmodellierungen (s. Abschnitt 6.7) jeweils Untersuchungsgebiete im 20- und 5-km-Umkreis um die fünf Messstationen. In Abbildung 3-2 ist das Land Brandenburg mit den fünf Messstationen (s. auch Abschnitt 5.2) sowie den Untersuchungsgebieten für die lokalen Ausbreitungsmodellierungen dargestellt.

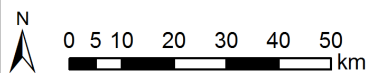


**Analyse der PM10-Grenzwertüberschreitungen im Jahre 2010 im ländlichen und urbanen Hintergrund in Ostbrandenburg**

Kartographie:  
IVU  
IVU Umwelt GmbH  
Stand: 31.11.2011

**Untersuchungsgebiet mit Modellgebieten der lokalen Ausbreitungsmodellierung**

- Messstationen
- Staaten
- Lankreise Brandenburg
- Bundesländer
- 5km-Umkreise um Messstationen
- 20km-Umkreise um Messstationen



Kartengrundlage, bereitgestellt vom LUGV: Nutzung der Geobasisdaten mit Genehmigung des LGB Brandenburg, GB-G 02/09  
Nutzung sonstiger Daten mit Schreiben vom 18.11.2011

**Abbildung 3-2: Untersuchungsgebiet mit Lage der fünf Messstationen sowie den Untersuchungsgebieten für die lokalen Ausbreitungsrechnungen**



## 4 Sachstandsanalyse

### 4.1 Allgemeines

Unter Feinstaub wird die Gesamtheit an Partikeln in der Luft, die einer definierten Größenklasse entsprechen, verstanden. Mit PM10 werden demnach die Partikel bezeichnet, die einen aerodynamischen Durchmesser von bis zu 10 µm haben<sup>1</sup>. Ein schwankender, aber in aller Regel hoher, Anteil des gemessenen PM10 ist aus der deutlich feineren Fraktion der Größenklasse PM2.5.

Unabhängig von der Herkunft (natürlich oder anthropogen) wird Feinstaub in primäre und sekundäre Partikel unterschieden. Primäre Partikel werden unmittelbar in die Atmosphäre emittiert (z. B. durch Verbrennungsanlagen oder als Seesalz). Sekundäre Partikel werden in der Atmosphäre durch Umwandlung aus gasförmigen Vorläufersubstanzen gebildet. Relativ gut erforscht sind dabei z. B. die Prozesse, die unter starkem Einfluss der meteorologischen Bedingungen auf dem Transportweg zur Bildung von Sulfat, Nitrat und Ammonium führen. Als Hauptquellgruppen anthropogener Vorläufersubstanzen werden stationäre und mobile Verbrennungsanlagen, Landwirtschaft, Lösemittel Einsatz, chemische Industrie und Petrochemie betrachtet (z. B. GDCh et al, 2010). Die sekundären Partikel sind der PM2.5 bzw. PM1-Fraktion zuzuordnen. Gleiches gilt für Auspuffpartikel von Kraftfahrzeugen. Größere Partikel entstehen i. d. R. durch mechanischen Abrieb oder Erosionsprozesse.

PM10 kann in der Atmosphäre über mehrere 100 km, unter bestimmten Bedingungen – insbesondere für die kleineren Fraktionen – auch bis zu über 1000 km, transportiert werden, da es dort eine hohe „Lebensdauer“ hat, die bis zu einigen Tagen betragen kann. Dementsprechend können Quellen primärer Partikel oder von Vorläufersubstanzen sekundärer Partikel weit von den Orten entfernt sein, an denen die daraus resultierenden Belastungen gemessen werden.

Weite Transporte treten dabei i. d. R. für PM2.5 auf, da die größeren Partikel sedimentieren. Dementsprechend ist bei hohen Anteilen von Partikeln > 2.5 µm aerodynamischem Durchmesser im PM10 von geringen Transportwegen auszugehen und diese Partikelfraktion kann als typisch für lokale Quellen betrachtet werden. Je höher der PM2.5-Anteil am PM10 ist, desto mehr ist von längeren Transportwegen und/oder hohen Anteilen sekundärer Partikel auszugehen. Als typische PM2.5 zu PM10-Verhältnisse können für Verkehrsstationen etwa 65 % und für ländliche Stationen bzw. bei hohen Ferntransportanteilen Werte > 70 % bezeichnet werden (Bruckmann et al. 2009, 2010).

Die Überschreitung des PM10-Kurzzeitgrenzwerts mit mehr als 35 Tagen mit Tagesmittelwerten über 50 µg/m<sup>3</sup> unterliegt deutlich stärkeren Schwankungen zwischen einzelnen Jahren als der Jahresmittelwert. Dies wird deutlich, wenn man die Anzahl der Überschreitungstage des PM10-Grenzwerts einzelner Stationen mit dem Jahresmittelwert über mehrere Jahre vergleicht (UBA, 2011).

---

<sup>1</sup> Gemäß EU (2008a) sind PM10 die Partikel, die einen größe selektierenden Lufteinlass gemäß der Referenzmethode für die Probenahme und Messung von PM10, EN 12341, passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser von 10 µm eine Abscheidewirksamkeit von 50 % aufweist.

## 4.2 Literaturlauswertung

In einer Literaturrecherche und Sachstandsanalyse wurden aktuelle Veröffentlichungen zu großräumigen grenzüberschreitenden Luftschadstofftransporten ausgewertet. Dazu wurden entsprechende Veröffentlichungen recherchiert, erfasst und beschafft. Diese Veröffentlichungen sind im Abschnitt 9 „Literatur“ aufgeführt. Die Veröffentlichungen wurden gesichtet und hinsichtlich der Ursachen erhöhter regionaler Hintergrundbelastungen für den Schadstoff PM10 zusammenfassend ausgewertet. Besonders relevante Quellen werden im folgenden vorgestellt.

Bezüglich der Feinstaubbelastung 2010 wird in UBA (2011) konstatiert, dass 2010 deutschlandweit gegenüber dem Zeitraum 2000 bis 2009 ein Jahr mit geringeren Feinstaubbelastungen war, das nur wenig über dem Niveau der vorangegangenen drei Jahre liegt. Gleichzeitig wird der Einfluss meteorologischer Bedingungen an Stationen im ländlichen Hintergrund betont, wo der Januar so viele Überschreitungstage aufweist, wie sie sonst bis zum Sommer registriert werden. Als eine Ursache dafür wird der großräumig eingeschränkte Luftmassenaustausch durch kalte, stabile Wetterlagen Anfang des Jahres 2010, das sehr winterlich mit übermäßig häufigen Wetterlagen mit östlichen Winden begann, ausgemacht. Zu weiteren Auswertungen des Umweltbundesamtes wird auf den Abschnitt 4.3 verwiesen.

Im Jahresbericht 2010 zur Luftqualität in Brandenburg (LUGV, 2011) wird ebenfalls auf die besondere Situation des Jahres eingegangen, und es werden, insbesondere auch im Vergleich zu UBA (2011) und unter Berücksichtigung der Tatsache, dass die Verletzungen des PM10-Kurzzeitgrenzwertes nur an Hintergrundstationen im östlichen Brandenburg auftraten, deutliche Hinweise auf PM10-Ferntransportepisoden im Winterhalbjahr ausgemacht.

Birmili et al. (2011) kommen in einer Untersuchung zu PM10-Überschreitungen hoch belasteter Orte (verkehrsnahe Stationen) für die Jahre 2005 - 2009 u. a. zu folgendem Ergebnis: "In den Regionen A (Ostbrandenburg und Ostsachsen), B (Berlin und Umland) und C (Mitteldeutschland) hingegen tritt zu diesen Mechanismen der Feinstaubeintrag aus Quellgebieten in östlicher Richtung hinzu. Grenzwertüberschreitungen sind in den Regionen A-C bei östlicher Luftströmung am wahrscheinlichsten. Diese können am ehesten im Winter, aber auch im Frühjahr und Herbst auftreten. Hinzu kommt die in allen Regionen A-C vorkommende stagnierende Winterwetterlage (Hochdruckeinfluss), bei der ein wesentlicher Beitrag örtlicher und regionaler Quellen nicht ausgeschlossen werden kann." In einem ergänzenden Kapitel zu den Besonderheiten des Januar/Februar 2010 stellen die Autoren zu den häufigen Überschreitungen fest „In diesen zwei Monaten spielt zweifelsfrei die winterliche Ostanströmung die Hauptrolle für die extrem hohen PM10-Werte. Die Wetterlage CS-A2 trat in beiden Monaten insgesamt an 13 Tagen, CS-ST an vier Tagen auf.“ und „...gelangen zur eindeutigen Schlussfolgerung, dass die Häufigkeit der Überschreitungen des Tagesmittelwertes in einem einzelnen Winter wesentlich durch das Auftreten der stagnierenden Winterwetterlage bzw. der östlichen Winterwetterlage gesteuert ist.“

In Bruckmann et al. (2010) untersuchen die Autoren eine Episode hoher Feinstaubbelastung im Januar 2010 in Europa und stellen fest, dass die kalte und schneereiche Witterung des Januar und Februar 2010 mit dazu beigetragen hat, dass an mehreren Messstationen das Kontingent von 35 Tagen mit Tagesmitteln größer  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  für PM10 bereits weitgehend ausgeschöpft ist. Mehrfach kam es in diesem Zeitraum zu Ferntransporten von Feinstaub aus Osteuropa. Eine besonders ausgeprägte Episode hoher Feinstaubwerte vom 23. bis 28.01.2010 erstreckte sich von Südpolen und dem



Osten der Tschechischen Republik bis zum Ärmelkanal und führte in einem breiten Band über Europa zu PM10-Tagesmittelwerten über  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . In Osteuropa wurden vereinzelt Tagesmittelwerte um  $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und Stundenmittelwerte um  $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$  gemessen. Die Auswertungen deuten „darauf hin, dass lokale Staubquellen eine untergeordnete Rolle spielen; Typisch war ein regionales, grenzüberschreitendes Feld hoher Feinstaubkonzentrationen mit einem deutlichen Gefälle von Ost nach West.“

In Ift (2011) bzw. Spindler et al. (2010) stellen die Autoren auf Basis von langjährigen Untersuchungen an der Station Melpitz fest: „Seit dem Rückgang der regionalen Emissionen nach 1990 sei der atmosphärische Ferntransport und das Zusammentreffen mit stagnierenden Wetterlagen besonders im Winter zunehmend die Ursache für Tage mit erhöhten Feinstaubkonzentrationen in den ländlichen Regionen Ostdeutschlands. Trockene kontinentale Luftmassen, wie sie bei Ostwind nach Deutschland gelangen, begünstigen den Ferntransport von Spurenstoffen durch geringe turbulente Mischung und oft fehlende Auswaschung durch Niederschläge. Die Luftmassen kommen aus Russland, Weißrussland oder der Ukraine und passieren auf ihrem Weg auch die Kohle- und Industriegebiete der Slowakei, Polens und Tschechiens. Die enthaltenen PM10-Partikel haben einen höheren Anteil an Sulfat und Kohlenstoff. Ihre Massekonzentration ist höher als die von Partikeln, die mit Westwind herantransportiert werden - dies deutet auf den Einfluss anthropogener Quellen hin. In Kombination mit stabilen, austauscharmen Hochdruckwetterlagen, kann es bevorzugt im Winter zu Situationen kommen, bei denen im Extremfall bereits die Belastung in ländlichen Regionen über dem Grenzwert von 50 Mikrogramm pro Kubikmeter im Tagesmittel liegt. In den Jahre 2005 bis 2010 war dies insgesamt an 69 Tagen in Melpitz der Fall, davon entfallen nur 7 Tage auf das Sommerhalbjahr (Mai bis Oktober), aber 61 auf das Winterhalbjahr.“

### 4.3 Episoden in Deutschland

In UBA (2012) wurden deutschlandweit für die Jahre 2005 bis 2011 Episoden bestimmt, die durch schlechte meteorologische Ausbreitungsbedingungen, die in Verbindung mit Emissionen die großflächige PM10-Belastung bestimmen, gekennzeichnet sind. Um den meteorologischen Einfluss auf die Höhe und die räumliche und zeitliche Ausdehnung der PM10-Belastung zu charakterisieren, wurden im Umweltbundesamt dazu folgende Kriterien zur Definition einer PM10-Episode eingeführt:

- mindestens 10% aller Stationen in Deutschland zeigen PM10-Tagesmittelwerte  $> 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- wenigstens 2 aufeinander folgende Tage erfüllen das obige Kriterium
- ist ein Tag, an dem weniger als 10 % der Stationen Werte  $> 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  aufweisen, in einer Abfolge mehrerer Tage eingeschlossen, so wird diese Abfolge von Tagen trotzdem als Episode betrachtet.

In Tabelle 4-1 sind diese Episodentage den Überschreitungstagen in Ostbrandenburg gegenübergestellt.

Dabei wird deutlich, dass nur 6 der Überschreitungstage in Ostbrandenburg nicht innerhalb einer der 13 Episoden des Umweltbundesamts für 2010 liegen. Mit dem 5.2. und 28.2. liegen 2 weitere Tage direkt vor den UBA-Episoden und deuten damit auf ein zeitlich vorgezogenes Auftreten der Episode in Ostbrandenburg hin. Mit dem 8.-10.10. gibt es eine kurze Episode, die sich nach den hier vorliegenden Daten auf Ostbrandenburg beschränkt. Auch der 19.12. lässt sich nicht direkt zu einer UBA-Episode zuordnen.

**Tabelle 4-1: Gegenüberstellung der Überschreitungstage in Ostbrandenburg und der Episodentage 2010 aus UBA (2012)**

Datum	Episode UBA	Überschreitungs- Tag in Ost- brandenburg	Datum	Episode UBA	Überschreitungs- Tag in Ost- brandenburg
06.01.10	E1	x	09.03.10	E4	x
07.01.10	E1	x	10.03.10	E4	x
08.01.10	E1	x	11.03.10	E4	x
09.01.10	E1		12.03.10	E4	
10.01.10	E1		13.03.10	E4	
11.01.10	E1		18.03.10	E5	
12.01.10	E1	x	19.03.10	E5	
13.01.10	E1	x	24.03.10	E6	
14.01.10	E1	x	25.03.10	E6	x
15.01.10	E1	x	19.04.10	E7	
16.01.10	E1	x	20.04.10	E7	
17.01.10	E1	x	08.10.10		x
18.01.10	E1	x	09.10.10		x
19.01.10	E1	x	10.10.10		x
20.01.10	E1	x	12.10.10	E8	
21.01.10	E1	x	13.10.10	E8	
22.01.10	E1	x	14.10.10	E8	
23.01.10	E1	x	31.10.10	E9	x
24.01.10	E1	x	01.11.10	E9	x
25.01.10	E1	x	02.11.10	E9	x
26.01.10	E1	x	02.12.10	E10	
27.01.10	E1	x	03.12.10	E10	
05.02.10		x	04.12.10	E10	
06.02.10	E2	x	07.12.10	E11	x
07.02.10	E2	x	08.12.10	E11	x
08.02.10	E2		19.12.10		x
09.02.10	E2	x	21.12.10	E12	x
10.02.10	E2	x	22.12.10	E12	x
11.02.10	E2	x	23.12.10	E12	x
15.02.10	E3		28.12.10		x
16.02.10	E3	x	29.12.10	E13	x
17.02.10	E3	x	30.12.10	E13	x
18.02.10	E3	x	31.12.10	E13	
19.02.10	E3	x	<b>Anzahl</b>	<b>61</b>	<b>48</b>

#### 4.4 Klassifizierung von Verkehrsmessstellen für Brandenburg

In einer Untersuchung zu brandenburgischen Verkehrsmessstellen mit mehr als 35 PM10-Tagesmittelwerten  $> 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  im Jahr 2010 (LUGV, 2011b) wurden die Tage mit dominantem Ferntransportanteil bestimmt sowie für diese Tage auch notiert, wenn sie in einer Berliner Auswertung als ferntransportdominiert klassifiziert wurden. Diese Auswertung wurde in die Klassifizierung in Abschnitt 6.4 übernommen.

## 5 Daten

In diesem Abschnitt werden die den Untersuchungen zugrunde liegenden Eingangsdaten beschrieben.

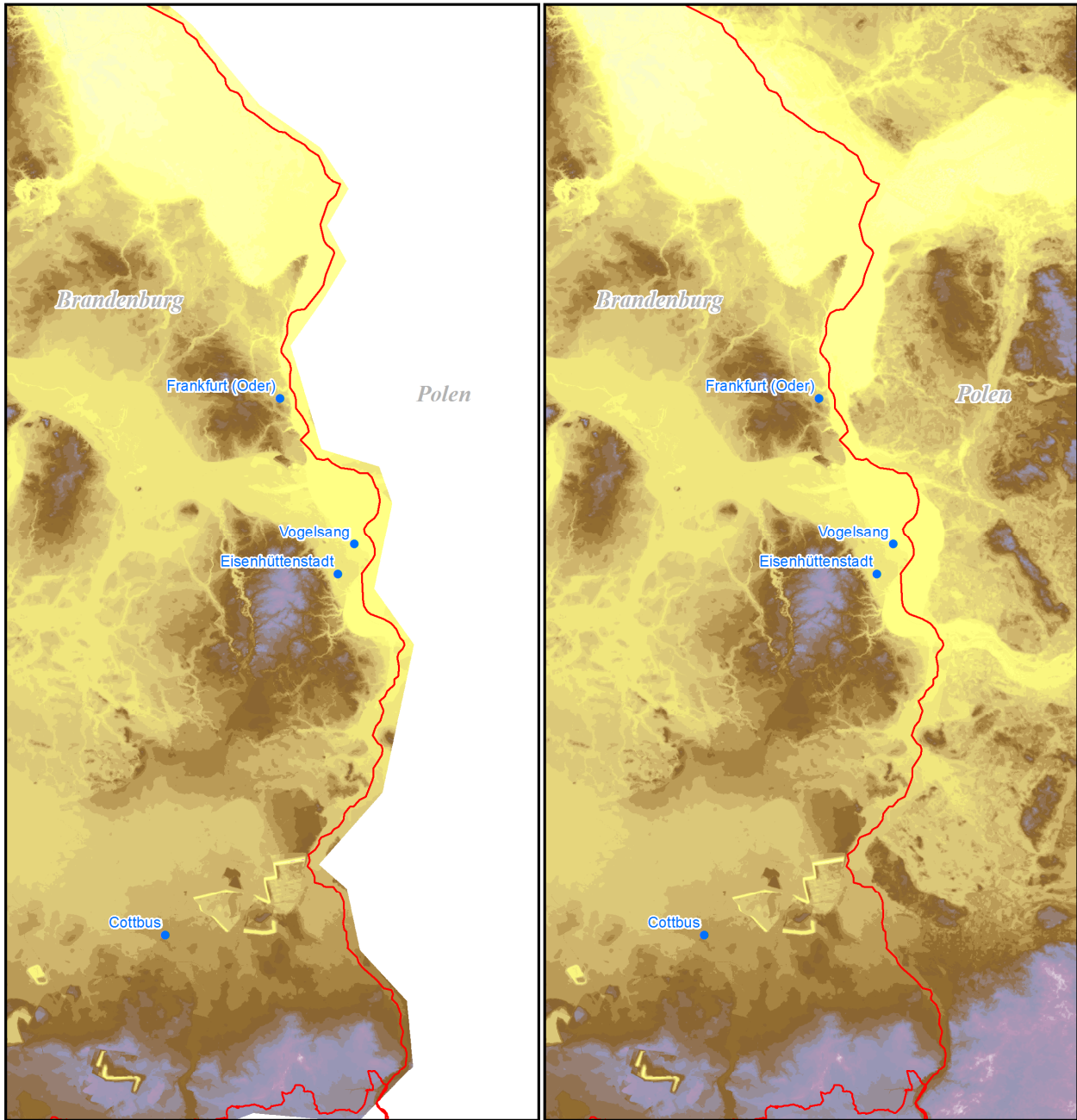
### 5.1 Geographische Basisdaten

#### 5.1.1 Gelände

Für die Ausbreitungsrechnungen im Umkreis von 20 km Entfernung um die Messstationen (s. Abschnitt 6.7) ist bei der Modellierung der Wind- und Turbulenzfelder die Topographie zu berücksichtigen. Die dafür nötigen digitalen Geländedaten wurden vom LUGV in Form des Digitalen Geländemodells 25 (DGM-25) der Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg mit einer Gitterauflösung von 25 m bereitgestellt.

Da die lokale Ausbreitungsmodellierung mit LASAT rechteckige Modellgebiete benötigt und die zu betrachteten Stationen teilweise sehr grenznah sind, reichen die Modellgebiete für alle Stationen außer Hasenholz über Brandenburg hinaus nach Polen. Zur Ermittlung der Wind- und Turbulenzfelder sind auch für diese polnischen Teile topographische Daten erforderlich. Um diese Datenlücken zu füllen, wurde auf des DGM der Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) aus dem Jahr 2000 zurückgegriffen, das fast weltweit in ca. 90 m Auflösung zur Verfügung steht (CGIAR, 2008). Prinzipiell stehen für Europa aus dieser Mission beim DLR seit Dezember 2010 kostenfrei auch Daten in 25 m Auflösung zur Verfügung (DLR, 2011). Diese sind aber nicht flächendeckend vorhanden, sondern nur in einem diagonalen Streifenmuster, das die benötigten Gebiete nicht vollständig abdeckt, und konnten daher nicht verwendet werden.

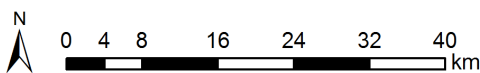
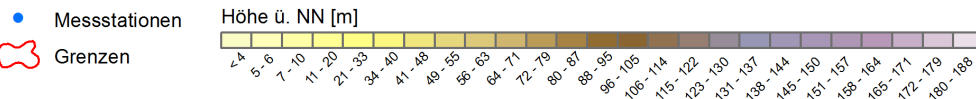
Die SRTM-DGM-Daten in 90 m Auflösung wurden beschafft, im GIS auf 25 m Auflösung umgerechnet und anschließend mit dem vorhandenen DGM für Brandenburg kombiniert. In Abbildung 5-1 ist für den Ostteil des Untersuchungsgebiets links das DGM25 aus Brandenburg und rechts das um die SRTM-Daten ergänzte DGM für Brandenburg und Polen dargestellt.



**Analyse der PM10-Grenzwertüberschreitungen im Jahre 2010 im ländlichen und urbanen Hintergrund in Ostbrandenburg**

Kartographie:  
ivU Umwelt GmbH  
Stand: 31.01.2012

DGM25 für Ostbrandenburg (links) ergänzt um umgerechnete 90m-DGM-Daten aus der Shuttle Radar Topography Mission (rechts)



Kartengrundlage, bereitgestellt vom LUGV: Nutzung der Geobasisdaten mit Genehmigung des LGB Brandenburg, GB-G 02/09  
 Nutzung sonstiger Daten mit Schreiben vom 18.11.2011  
 SRTM-DGM-Daten: Jarvis A., Reuter, H.J., Nelson, A., Guevara, E., 2008: Hole-filled seamless SRTMdata V4, International Centre for Tropical Agriculture (CIAT), available from <http://srtm.csi.cgiar.org>

**Abbildung 5-1: Ergänzung des Geländemodells außerhalb von Brandenburg**

### 5.1.2 Flächennutzung

Für die Ausbreitungsrechnungen im Umkreis von 20 km Entfernung um die Messstationen (s. Abschnitt 6.7) war zu eruieren, inwieweit sich in den Emissionskatasterdaten (s. Abschnitt 5.5) nicht enthaltene, sogenannte „ungefasste Quellen“ aus der Flächennutzung ableiten und gegebenenfalls in den Berechnungen berücksichtigen lassen. Die dafür nötigen digitalen Daten zur Landnutzung wurden vom LUGV für die Teilbereiche von Brandenburg, in denen die Untersuchungsgebiete der lokalen Ausbreitungsrechnungen liegen, als Auszüge aus

- dem Digitalen Basis-Landschaftsmodell (Basis-DLM) mit Stand 01.07.2011 der Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg auf der Grundlage der Festlegungen des Objektartenkatalogs des Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystems (ATKIS) für die Objektbereiche
  - Siedlung,
  - Verkehr,
  - Vegetation und Gewässer und
- der „Folie 021 Tatsächliche Nutzung“ der Automatisierten Liegenschaftskarte (ALK) bereitgestellt.

### 5.1.3 Bodenerosion

Zur Ermittlung der Emissionen der ungefassten Quellen im Rahmen der Ausbreitungsrechnungen im Umkreis von 20 km Entfernung um die Messstationen (s. Abschnitt 6.7) war auch zu prüfen, inwieweit die Bodenerosion auf Basis des Bodenerosionskatasters Brandenburg (Wurbs et al., 2008) berücksichtigt werden kann. Daten zur Bodenerosion wurden vom LUGV für die Teilbereiche von Brandenburg, in denen die Untersuchungsgebiete der lokalen Ausbreitungsrechnungen liegen, als flächendeckende Klassifizierung der Bodenoberfläche in Polygone in jeweils einer der fünf Stufen der „Bodenerosionsgefährdung durch Wind“

- Stufe 0: keine
- Stufe 1: sehr gering
- Stufe 2: gering
- Stufe 3: mittel
- Stufe 4: hoch

bereitgestellt.

## 5.2 Digitale Karten und Luftbilder

Zur Einordnung räumlicher Situationen und zur Überprüfung einzelner Daten wurden vom LUGV für die Teilbereiche von Brandenburg, in denen die Untersuchungsgebiete der lokalen Ausbreitungsrechnungen liegen,

- die Digitale Topographische Regionalkarte 1:100'000 (TG100RK) mit Stand 2011,
- die Digitale Topographische Karte 1:10'000 (DTK10) mit Ständen zwischen 1998 und 2008 sowie
- Digitale Orthophotos 40 cm grau (DOP40) aus Befliegungen der Jahre 2006 – 2009 bereitgestellt.



### 5.3 Luftschadstoff-Messwerte

Für die fünf zu untersuchenden Hintergrund-Messstationen Cottbus, Eisenhüttenstadt, Frankfurt (Oder), Hasenholz (Buckow) und Vogelsang (Brieskow-Finkenheerd) in Ostbrandenburg wurden vom LUGV Lagekoordinaten der Stationen bereitgestellt, die in Tabelle 5-1 zusammen mit den Stationscharakterisierungen gemäß LUA Brandenburg (2010) und den dort verwendeten Messverfahren dargestellt sind.

Die Kenngrößen der Messwerte sowie die Messwerte der einzelnen Überschreitungstage finden sich in der Beschreibung der Ausgangssituation in Abschnitt 2 in Tabelle 2-1 und Tabelle 2-2.

**Tabelle 5-1: Lage und Charakterisierung der fünf Messstationen**

Messstelle	Stationskennung	Rechtswert	Hochwert	Charakterisierung; Lage	Messung	
					PM10	PM2.5
Cottbus	DEBB064	3454059	5733036	städtisches Gebiet, Hintergrund; Gartenstraße	grav.	grav.
Eisenhüttenstadt	DEBB032	3475241	5777368	vorstädtisches Gebiet, Industrie; Karl-Marx-Str. 35a	kont.	kont.
Frankfurt (Oder)	DEBB042	3468110	5798953	städtisches Gebiet, Hintergrund; Markendorfer Str.	grav.	-
Hasenholz	DEBB053	3433250	5824208	ländliches Gebiet (regional), Hintergrund	grav./kont.	kont.
Vogelsang	DEBB084	3477237	5781062	vorstädtisches Gebiet, Hintergrund; Straße der Jugend	grav.	-

grav. = gravimetrische Messung, kont. = kontinuierliche Messung

Zur besseren Charakterisierung der großräumigen Belastungssituation und zur Differenzbildung von Messwerten im Rahmen der messwertbasierten räumlichen Verursacheranalyse entsprechend Abschnitt 6.3.2.1.2 werden Messdaten weiterer repräsentativer Hintergrundmessstationen in Brandenburg sowie, nach Möglichkeit, den benachbarten Bundesländern und Staaten benötigt. Messdaten aus Polen und der Tschechischen Republik stehen in der geforderten zeitlichen Auflösung im AirBase-System (EEA, 2011) für das Jahr 2010 erst ab dem Frühjahr 2012 – und damit für das vorliegende Projekt zu spät – zur Verfügung. Die Auswahl weiterer repräsentativer Hintergrundstationen musste sich daher auf Deutschland beschränken, und es wurden in Absprache mit dem LUGV die folgenden Stationen ausgewählt und vom LUGV Stationsdaten und PM10-Messwerte bereitgestellt:

- UBA-Messstation Neuglobsow in Nordbrandenburg,
- Lütte (Belzig) in Westbrandenburg,
- Spreewald in Ostbrandenburg,
- UBA-Messstation Melpitz in Nordsachsen sowie
- Niesky in Nordostsachsen.

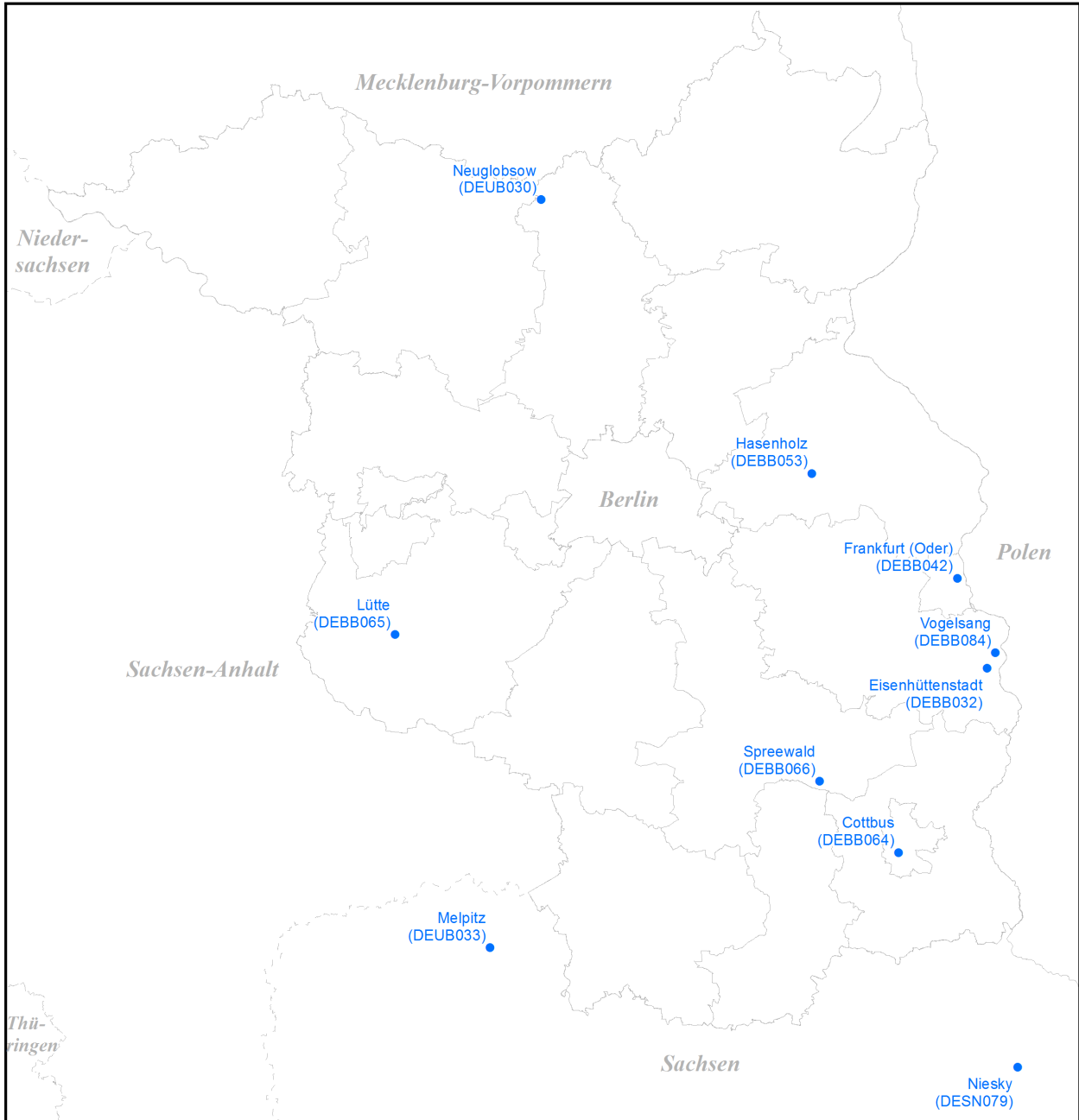
Für weitere mögliche Auswertungen wurden vom LUGV zusätzlich Daten kontinuierlicher Messungen der Verkehrsmessstationen

- Cottbus, Bahnhofstraße (PM10 und P2.5) und
- Frankfurt (Oder), Leipziger Straße (PM10)

bereitgestellt.

Die Lage der Messorte kann Abbildung 5-2 entnommen werden. Für alle Stationen wurden vom LUGV Stunden- und/oder Tageswerte der gemessenen PM10-Konzentra-

tionen bereitgestellt. Zusätzlich wurden für weitere Auswertungen – wo vorhanden – PM2.5-Messdaten bereitgestellt.

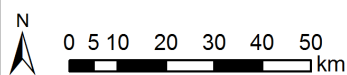


**Analyse der PM10-Grenzwertüberschreitungen im Jahre 2010 im ländlichen und urbanen Hintergrund in Ostbrandenburg**

Kartographie:  
IVU  
IVU Umwelt GmbH  
Stand: 31.11.2011

**Lage der Messstationen**

- Messstationen
- ◊ Bundesländer
- ◊ Lankreise Brandenburg
- ◊ Staaten



Kartengrundlage, bereitgestellt vom LUGV: Nutzung der Geobasisdaten mit Genehmigung des LGB Brandenburg, GB-G 02/09  
Nutzung sonstiger Daten mit Schreiben vom 18.11.2011

**Abbildung 5-2: Lage der Messstationen**

## 5.4 Meteorologische Daten

### 5.4.1 Strömung

Für die windrichtungsabhängige Auswertung der Immissionsmessdaten gemäß Abschnitt 6.3.2 werden stündliche Zeitreihen der Windrichtung benötigt. Diese stehen prinzipiell auch an den Messstationen selbst zur Verfügung. Allerdings kann dort nicht immer von ungestörten Anströmverhältnissen ausgegangen werden und die dort ermittelten Windrichtungen spiegeln nicht unbedingt die großräumigere Windrichtung zum Messzeitpunkt wieder.

Daher wurden für die fünf Stationen sowie die zusätzlichen PM10-Hintergrundstationen für das Jahr 2010 mit dem meteorologischen diagnostische Analysesystem TRAMPER (Tropospheric Realtime Applied Procedures for Environmental Research) zur Bereitstellung zeitlich und räumlich hoch aufgelöster meteorologischer Felder (Reimer & Scherer, 1992; Kerschbaumer & Reimer, 2003) Zeitreihen der Windrichtung in stündlicher Auflösung ermittelt, die in den Auswertungen der Immissionsmessdaten gemäß Abschnitt 6.3.2 verwendet wurden.

Zusätzlich werden für die lokalen Ausbreitungsrechnungen gemäß Abschnitt 6.7 meteorologischen Zeitreihen in stündlicher Auflösung mit Angaben zu Windrichtung, Windgeschwindigkeit und Ausbreitungsklasse benötigt, die für die fünf Stationen für das Jahr 2010 ebenfalls mit dem TRAMPER-System ermittelt wurden.

### 5.4.2 Temperatur

Zur zeitlichen Verteilung der Emissionen durch Hausbrand (s. Abschnitt 5.5.3) auf die Tage des Jahres mit Hilfe von Heizgradtagen wurden Zeitreihen der Tagesmitteltemperatur benötigt, die vom LUGV für die fünf Stationen für die Jahre 2004 und 2010 bereitgestellt wurden.

Für das Jahr 2004 lagen Temperaturwerte der Stationen Cottbus, Eisenhüttenstadt und Hasenholz vor. Für Frankfurt (Oder) wurden nach Vorgabe des Auftraggebers die Werte der Station Eisenhüttenstadt übernommen, für Vogelsang aufgrund der räumlichen Nähe ebenfalls. 2010 sind die Werte von Eisenhüttenstadt und Frankfurt (Oder) ebenfalls identisch, für Vogelsang lag 2010 eine eigene Zeitreihe vor.

## 5.5 Emissionsdaten

Für die Emissionsquellen Straßenverkehr und genehmigungsbedürftige Anlagen wurden vom LUGV die Emissionsdaten bereitgestellt, die auch im Projekt „Einfluss des Verkehrs und seiner Entwicklung auf die Luftqualität im Land Brandenburg“ (IVU Umwelt, 2012) Verwendung finden. Diese Daten wurden für die fünf Untersuchungsgebiete der lokalen Ausbreitungsrechnungen (s. Abschnitt 6.7) übernommen und für die Verwendung in der Ausbreitungsrechnung aufbereitet. Dabei wurden jeweils alle Quellen berücksichtigt, die innerhalb der jeweiligen Untersuchungsgebiete liegen.

### 5.5.1 Genehmigungsbedürftige Anlagen

Die Daten zu den genehmigungsbedürftigen Anlagen wurden vom LUGV entsprechend dem Projekt „Einfluss des Verkehrs und seiner Entwicklung auf die Luftqualität im Land Brandenburg“ (IVU Umwelt, 2012) für das Bezugsjahr 2008 bereitgestellt und für die Verwendung in der Modellierung aufbereitet. Für 12 Quellen in den Untersuchungsge-



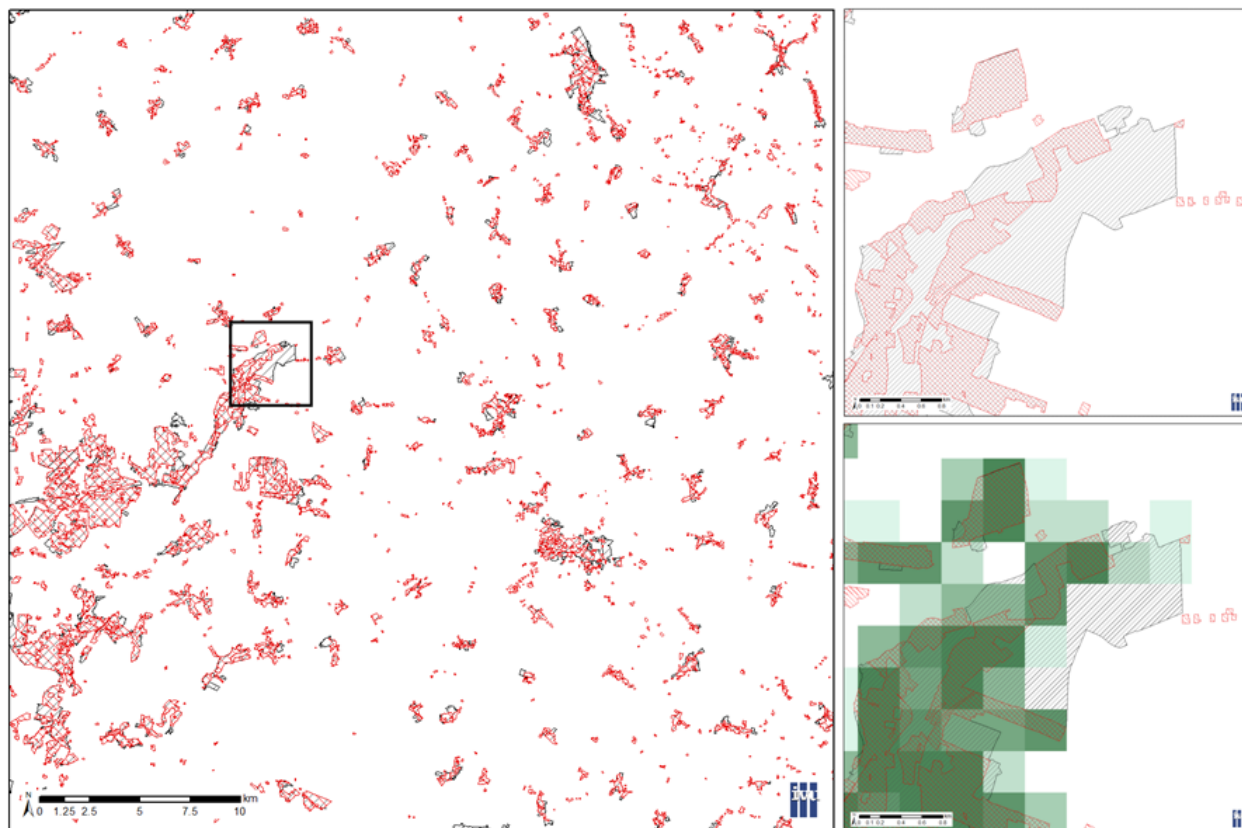
bieten wurden fehlende Höhenangaben nach Absprache mit dem LUGV auf 8 m gesetzt. Bei allen Quellen, bei denen keine Angaben zu Volumenstrom und/oder Temperatur verfügbar waren und damit keine Berechnung der effektiven Schornsteinhöhe möglich ist, wurde die Höhe, wie z. B. auch in PAREST (2010), auf das 1.5fache der angegebenen Höhe gesetzt und keine Berechnung der effektiven Schornsteinhöhe durchgeführt.

### 5.5.2 Kfz-Verkehr

Die Emissionen des Straßenverkehrs wurden aus dem Projekt „Einfluss des Verkehrs und seiner Entwicklung auf die Luftqualität im Land Brandenburg“ (IVU Umwelt, 2012) für das Bezugsjahr 2010 übernommen und für die Modellierung aufbereitet.

### 5.5.3 Hausbrand und Kleinverbraucher

Für den Hausbrand und die Kleinverbraucher wurden vom LUGV Emissionsdaten für die Siedlungsflächen der Ortschaften in Ostbrandenburg für das Bezugsjahr 2004 bereitgestellt. Diese Emissionsdaten wurden innerhalb der Ortschaften auf alle AKTIS-Flächen, die als „Wohnbauflächen“ (Objektart 2111) oder „Flächen gemischter Nutzung“ (Objektart 2113) klassifiziert sind, entsprechend dem jeweiligen Flächenanteil verteilt und anschließend zu Flächenquellen entsprechend der Rasterzellen der Rechengitter der lokalen Ausbreitungsrechnungen (s. Abschnitt 6.7) umgewandelt. In Abbildung 5-3 findet sich eine schematische Darstellung dieser Bearbeitung.



Verteilung der Emissionen von den Ortschaften (grau schraffiert) auf „Wohnbauflächen“ und „Flächen gemischter Nutzung“ (rot schraffiert) und anschließende Rasterung entsprechend dem Rechengitter der lokalen Ausbreitungsrechnung (grüne Flächen)

**Abbildung 5-3: Schematische Darstellung der Bearbeitung der Emissionen von Hausbrand und Kleinverbrauchern**

Die Fortschreibung der Emissionsdaten, die für das Bezugsjahr 2004 geliefert wurden, auf das Bezugsjahr 2010 wurde auf Basis der Temperaturzeitreihen der Jahre 2004 und 2010 (Abschnitt 5.4.2) an den fünf Messstationen durchgeführt. Dazu wurden für jede Zeitreihe und jedes Bezugsjahr die Heizgradtage nach VDI 3807 Blatt 1 (VDI, 2007) wie folgt als Summe über alle Heiztage des jeweiligen Jahres, bezogen auf die individuelle Heizgrenze von hier 15°C, ermittelt:

$$G_{15} = \sum(t_{hg} - t_a)$$

mit  $t_{hg} = 15^\circ\text{C}$  und  $t_a$  als der mittleren Außentemperatur des jeweiligen Heiztages. Die Werte für 2010 und 2004 wurden stationsweise in Relation gesetzt (Tabelle 5-2). Es wurde angesetzt, dass von den vorliegenden Emissionen 2004 15 % durch Warmwassererzeugung entstanden und damit näherungsweise temperaturunabhängig sind und 85% durch Heizung. Der Skalierungsfaktor SF zur Fortschreibung der Hausbrandemissionen 2004 auf 2010 wurde dann für jede der fünf Stationen berechnet zu:

$$SF = 0.15 + 0.85 \cdot HGT_{2010}/HGT_{2004}$$

mit  $HGT_{2010}$  als Heizgradtage für das Bezugsjahr 2010 und  $HGT_{2004}$  als Heizgradtage für das Bezugsjahr 2004 (Tabelle 5-2). Demnach erhöhen sich die Hausbrandemissionen 2004 aufgrund der kalten Witterung im Bezugsjahr 2010 für die einzelnen Gebiete um 18 % bis 26 %. Die entsprechenden Emissionswerte für PM10 sind in Tabelle 6-10 angegeben.

**Tabelle 5-2: Heizgradtage und Skalierungsfaktoren SF zur Fortschreibung der Hausbrandemissionen 2004 auf 2010**

	<b>Cottbus</b>	<b>Eisenhüttenstadt</b>	<b>Frankfurt (Oder)</b>	<b>Hasenholz</b>	<b>Vogelsang</b>
2004 [°C]	2153.71	2113.03	2113.03	2481.67	2113.03
2010 [°C]	2629.77	2754.85	2754.85	3014.02	2612.95
2010/2004 [-]	1.2210	1.3037	1.3037	1.2145	1.2366
<b>SF [-]</b>	<b>1.1879</b>	<b>1.2582</b>	<b>1.2582</b>	<b>1.1823</b>	<b>1.2011</b>

#### 5.5.4 Ungefasste Emissionen

Bezüglich der ungefassten Emissionen wird auf Abschnitt 6.7.1 verwiesen.

## 6 Analysen

### 6.1 Klassifikation von Wetterlagen für die Überschreitungstage

Die PM10-Belastungssituation wird von den meteorologischen Bedingungen beeinflusst und dieser Einfluss wird insbesondere auch an Hintergrundmessstationen deutlich (UBA, 2011, 2012). Vergleiche mit lokalen meteorologischen Parametern zeigen, dass dabei die großräumigen Witterungsabläufe die lokalen PM10-Konzentrationen stark beeinflussen können. Für die Überschreitungstage wurden daher die Großwetterlagen analysiert.

Die insgesamt 48 episodisch auftretenden Überschreitungstage im ostbrandenburgischen Untersuchungsgebiet lassen sich in 14 Zeitabschnitte einteilen, die sich als Hochdrucklagen oder präfrontale Übergangslagen mit Zwischenhocheinfluss zeigten. Sie sind in Tabelle 6-1 als Übersicht zusammengestellt<sup>2</sup>.

**Tabelle 6-1: Zeitabschnitte der Wetterlage an den Überschreitungstagen**

Zeitraum	Mischungshöhe (MH) in m / Wettersituation	Anströmung
6. - 8. Januar	MH < 300, schwaches Zwischenhoch	Südost
12. - 17. Januar	MH < 500, nordeuropäisches Hoch	lang anhaltend Südost
18. - 20. Januar	MH < 400, präfrontal	kurzzeitig Südost
21. - 27. Januar	MH 500 → 50, nordeuropäisches Hoch	Südost
5. - 7. Februar	MH < 400, Übergang	schwachwindig
9. - 11. Februar	MH 300 - 800, Tief über südlichem Europa	Ost - Südost
16. - 19. Februar	MH 100 - 400, präfrontal	Südost
9. - 11. März	MH 50-1000, NW-europ. Hoch und medit. Tief	schwachwindig
25. März	MH 100-1000, präfrontal	schwach Südost
8. - 10. Oktober	MH 400 → 50, Hochdrucklage	Südost
31. Oktober - 2. November	MH 100 → 500, präfrontal	schwachwindig
7. - 8. Dezember	MH 100 - 400, Zwischenhoch	schwachwindig
19. - 23. Dezember	MH 50 - 400, präfrontal und Hochkeil	schwachwindig
28. - 30. Dezember	MH 50 - 300, Zwischenhoch	schwach Südost

Daran anschließend werden die Wetterlagen in diesen 14 Zeitabschnitten beschrieben und eine Einschätzung bezüglich der Auswirkungen auf die PM10-Belastung gegeben. Die Situation wird jeweils mit der Darstellung einer Wetterkarte (Berliner Wetterkarte, 2011) verdeutlicht. Diese für die Zeitabschnitte dargestellten Wetterkarten zeigen eine typische Wetterlage während des jeweiligen Zeitabschnitts mit Höhenlinien der geopotentiellen Höhe im 850hPa-Niveau (dünne durchgezogene Linien), Isothermen der pseudopotentiellen Temperatur (dünne gestrichelte Linien) und Wetterfronten (dicke durchgezogene Linien, Dreiecke kennzeichnen Kaltfronten, Halbkreise Warmfronten). Als lokale Messungen sind die Werte der Radiosondenmessungen im 850hPa-Niveau dargestellt mit Temperatur, Taupunktdifferenz, geopotentieller Höhe und Windfahnen, die anzeigen, aus welcher Richtung der Wind kommt. Zusätzlich sind bodennahe Luftmassen gekennzeichnet mit T (tropisch), S (subtropisch), P (polar), A (arktisch) mit vorgestellter Ursprungskennung m (maritim), c (kontinental), x (unbestimmt) und einer sekundären, angehängten Kennung für die Veränderung während des Transports.

<sup>2</sup> Eine Zuordnung zur Wetterlagenklassifikation nach z. B. Hess & Brezowsky würde über diese Einteilung hinaus keine weitere Strukturierung liefern und ist daher hier nicht sinnvoll.



### 6.1.1 Wetterlage 6. - 8. Januar

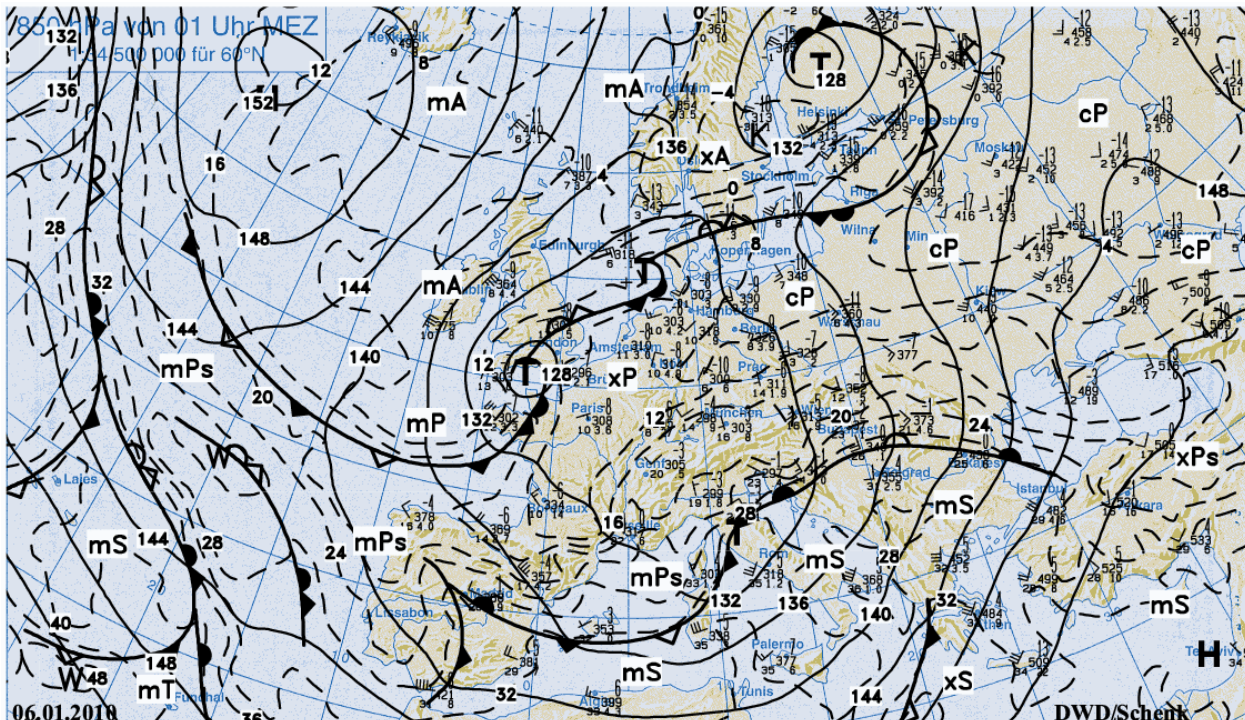


Abbildung 6-1: Wetterkarte vom 06.01.2010

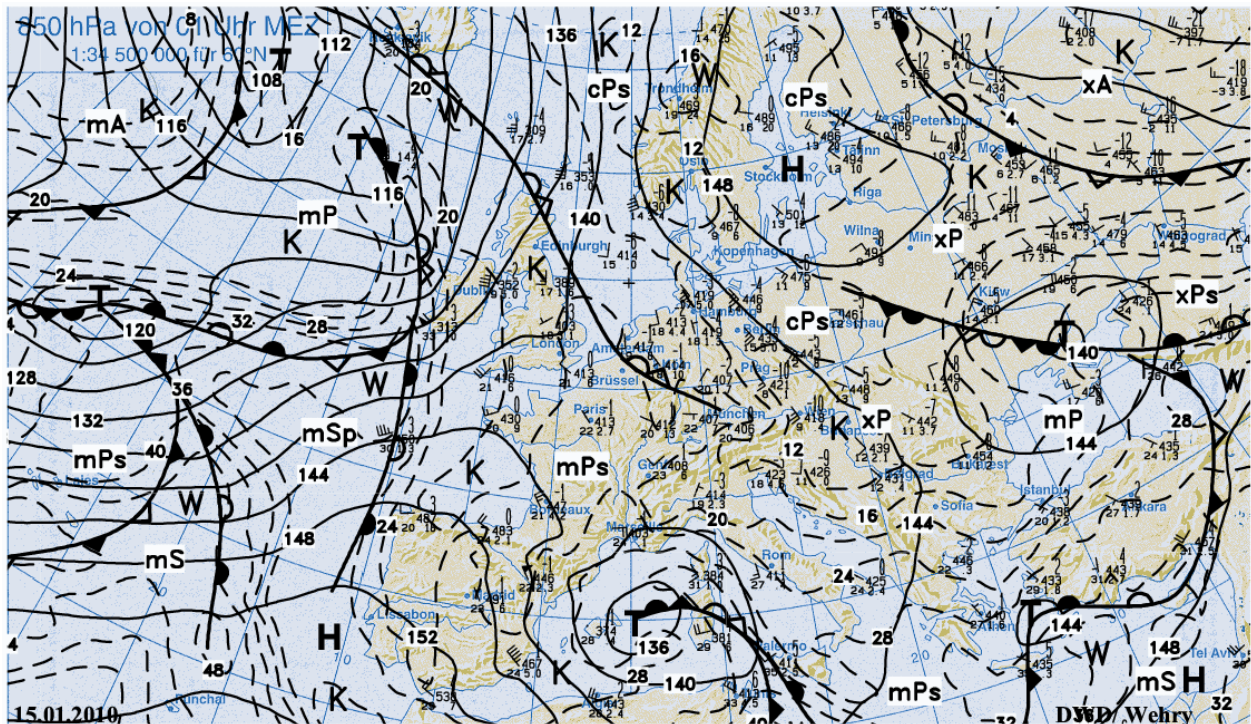
Ein steuernder und kräftiger Höhentrog schwenkte am 6.1. nach Zentraleuropa und blieb bis zum 7.1. ortsfest. Dabei kam es zu einem starken Rückgang der Bodentemperaturen in seinem Einflussbereich. So führte er in Großbritannien zu einem starken Wintereinbruch mit Tiefsttemperaturen in 2 m Höhe von  $-18\text{ °C}$  und in Skandinavien wurden unter steigendem Bodenluftdruck und aufklarendem Himmel sehr starke Fröste mit Temperaturen zwischen  $-30$  und  $-40\text{ °C}$  beobachtet. Über Südeuropa hinweg zog ein Tiefdruckgebiet von Spanien über Mittelitalien zum Balkan, dass auf seiner Rückseite zu einem großräumigen Kaltluftvorstoß auch im Mittelmeerraum führte.

Deutschland befand sich dabei im Bereich schwacher Luftdruckgegensätze und Schneelage. Die Temperaturen in Ostdeutschland sanken auch am Tage regional unter  $-10\text{ °C}$  und in der Nacht wurden in den Aufklarungsgebieten in Südbrandenburg und Sachsen-Anhalt  $-19$  bis  $-22\text{ °C}$  gemessen. Am 6.1. sank die Mischungsschicht bei schwachen Winden aus Süd bis Ost unter 100 Meter.

Diese kurze Ruhephase wurde am 7.1. durch ein Tiefdruckgebiet beendet, das sich über Spanien und Italien hinweg mit starken Niederschlägen nach Osteuropa verlagerte und in Brandenburg die schwache Hochdruckbrücke mit geringer Luftströmung auch aus Südosten verdrängte.

Die Zwischenhochlage mit tiefliegender Temperaturinversion und Mischungsschichthöhe war mit meist schwachen Winden, zum Teil aus östlichen Richtungen verbunden, was zu einer Erhöhung der PM10-Konzentrationen führte.

### 6.1.2 Wetterlage 12. - 17. Januar



**Abbildung 6-2: Wetterkarte vom 15.01.2010**

Unter weiterer Abschwächung der Luftdruckgradienten verlagerte sich am 12.1. ein Tiefdruckgebiet vom Balkan nach Osten, das zu Schneefällen besonders in Norddeutschland führte. Eine Hochdruckzone mit Schwerpunkt über Südschweden änderte ihre Position im Vergleich zum Vortag nicht. In ihrem Bereich wurden auch die kältesten Werte gemessen.

So setzte sich in Nordosten Deutschlands die bereits ungewöhnlich lang andauernde winterliche Witterungsperiode fort und es bestand eine bodennahe östliche Strömung, mit der weiter Kaltluft aus den Kontinentalbereichen Russlands zu uns gelangte.

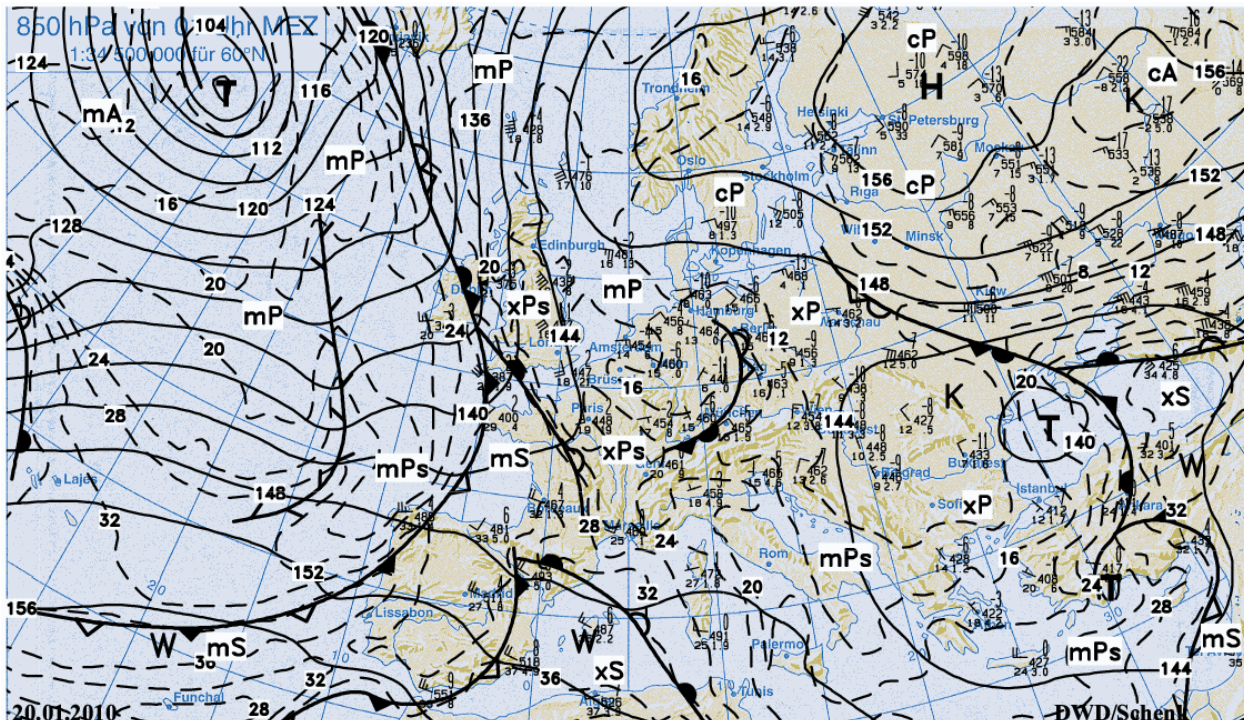
Am 14.1. wanderte das kräftige Bodenhoch mit seinem Schwerpunkt von Mittelschweden zum Baltikum. An der Südflanke setzte sich in einer flachen Schicht kalte Luft aus Osteuropa durch. Im westlichen Teil Deutschlands blieb hingegen mildere Luft von Westen her wetterbestimmend.

Am 17.1. griffen dann die Niederschlagsfelder eines okkludierenden Frontensystems auf den Westen Deutschlands über und bei mäßigem Südostwind erstreckte sich von Westmecklenburg bis zum Berliner Raum eine Schneefallzone.

Mit teilweise niedrigen Temperaturinversionen und Schneelage ergab sich eine lang anhaltende Südostlage, mit der Feinstaub herangeführt wurde.



### 6.1.3 Wetterlage 18. - 20. Januar



**Abbildung 6-3: Wetterkarte vom 20.01.2010**

Das Hochdruckgebiet über Osteuropa verstärkte sich. An seiner Südflanke stellte sich eine großräumige östliche Strömung ein, die durch Tiefdruckausläufer von Westen her in Mitteleuropa kurzzeitig gestört wurde. Im Verlauf dieses Zeitabschnitts stellte sich die Strömung über Deutschland wieder ein. Damit gelangte kurzzeitig wieder sehr kalte Luft von Osten her nach Deutschland und die geschlossene Schneedecke wurde erhalten.

Vor einer neuen, von Westen heranziehenden Front war Ostdeutschland nur kurz im Einfluss dieser östlichen Luftströmung, die mit niedrigen Mischungshöhen verbunden war. Neben Ferntransporten kam es zur lokalen Erhöhung von PM10-Konzentrationen.

### 6.1.4 Wetterlage 21. - 27. Januar

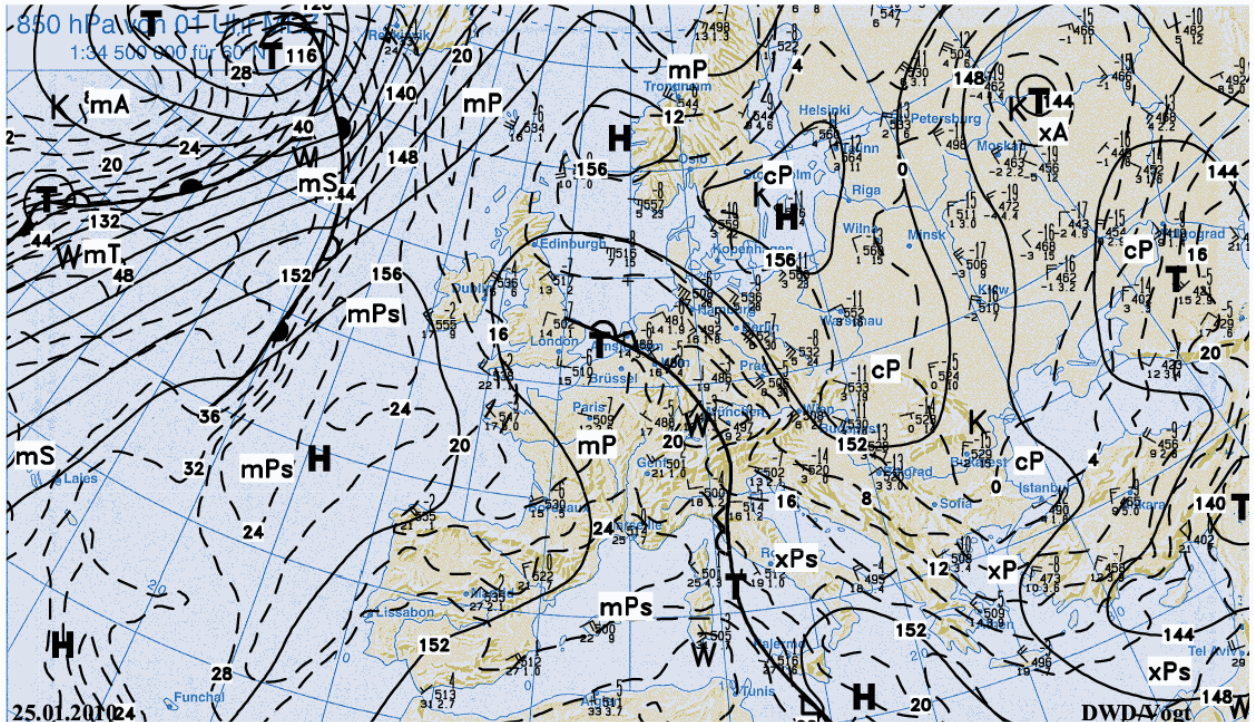


Abbildung 6-4: Wetterkarte vom 25.01.2010

Über Nordosteuropa blieb das umfangreiche Hochdruckgebiet nahezu unverändert .

Bis zum 27.1. stieg über Osteuropa und zum Teil auch Skandinavien der Luftdruck weiter und daher reichte eine östliche Strömung von Südwestsibirien bis nach Mitteleuropa, und im größten Teil Europas herrscht nun wieder Frostwetter mit einer Schneedecke.

Nach Wetterberuhigung führte eine mehrere Tage anhaltende Winterlage mit zeitweise sehr niedrigen Mischungshöhen und Südostströmung zu Ferntransporten mit erhöhten PM10-Konzentrationen.



### 6.1.5 Wetterlage 5. - 7. Februar

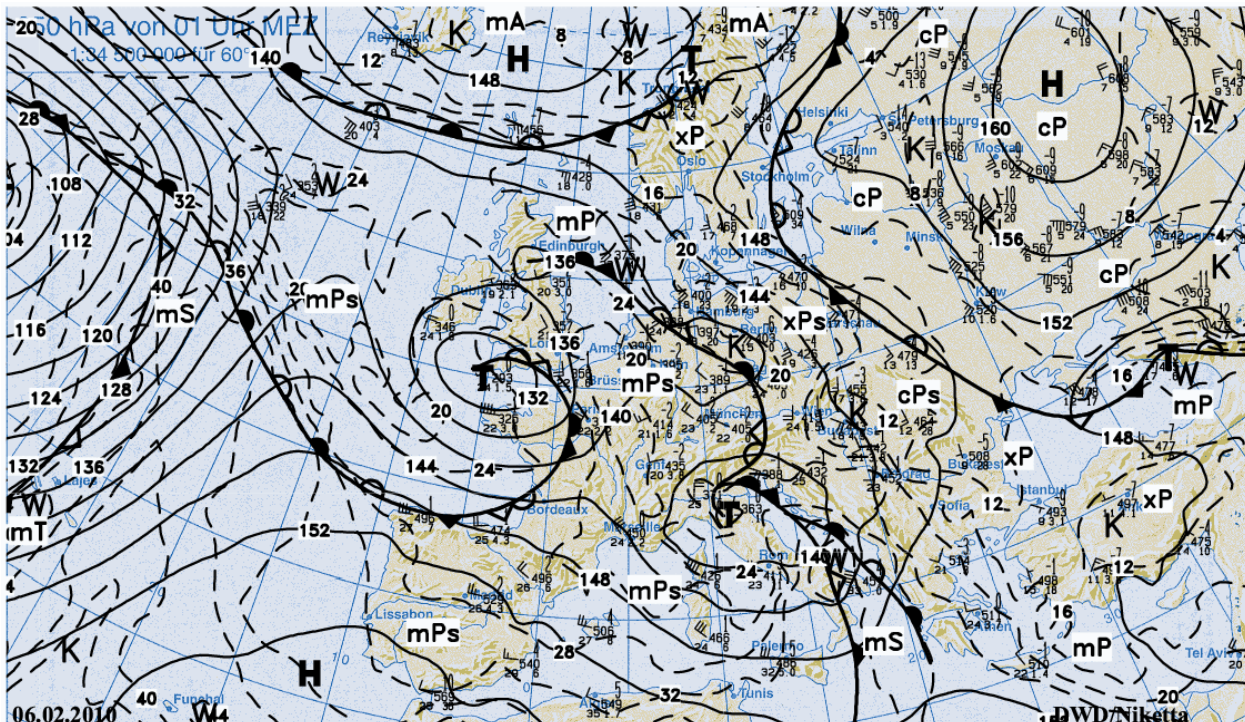


Abbildung 6-5: Wetterkarte vom 06.02.2010

Deutschland lag im Bereich einer Warmfront über Norddeutschland. Sie trennte recht milde Meeresluft über Deutschland von arktischer Kaltluft über Skandinavien bzw. Osteuropa. Zum 7.2. drehte die über Ostdeutschland die Strömung zunehmend auf Ost und es konnte die über Polen und Weißrussland lagernde Kaltluft wieder nach Deutschland einfließen. Die Schneedecke bestand weiterhin.

Dieser Zeitabschnitt war durch eine Wetterlagenumstellung bestimmt. Kurzzeitig war es sehr schwachwindig und die Mischungshöhen lagen unter 400 m, was eine lokale Konzentrationszunahme von PM10 begünstigte.





### 6.1.7 Wetterlage 16. - 19. Februar

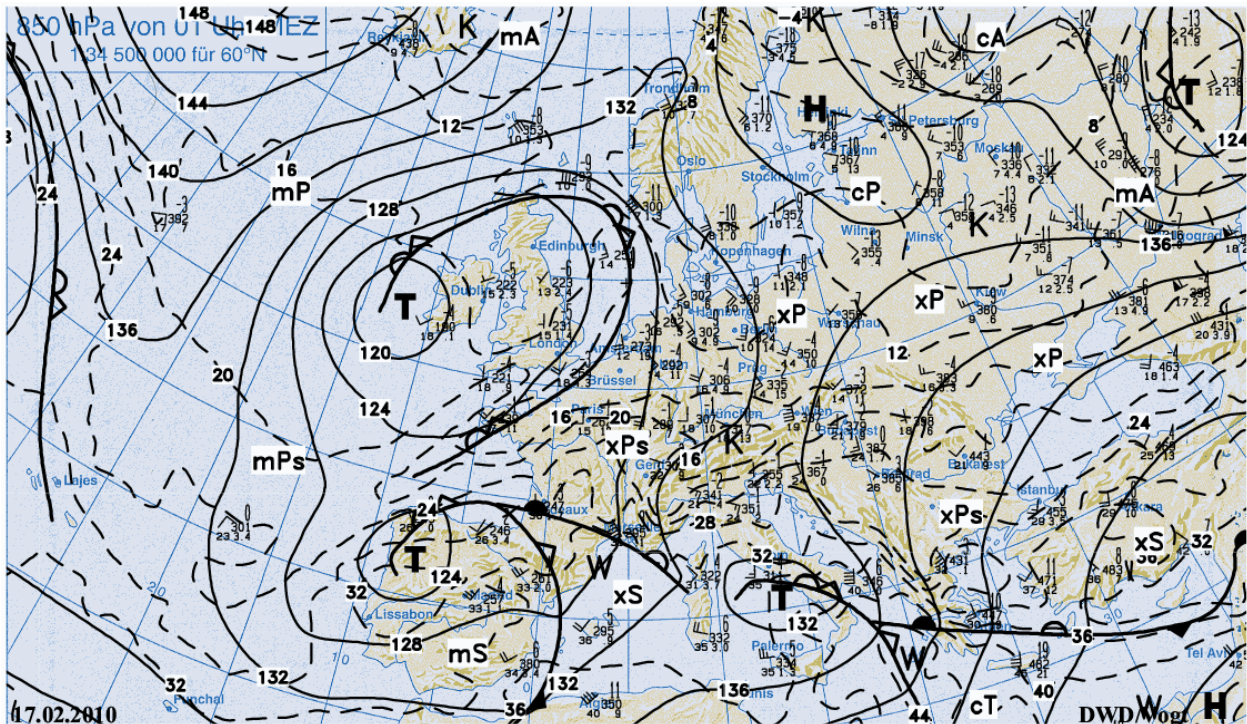


Abbildung 6-7: Wetterkarte vom 17.02.2010

Im Randbereich eines Tiefdruckgebietes beeinflussten Ausläufer über dem Mittelmeer den Südwesten Europas und auch noch Ostdeutschland, wo zwar nicht viel Niederschlag fiel, aber zunehmend wieder Bewölkung und auch etwas mildere Luft auftrat.

Es überwog starke Bewölkung und besonders in der Westhälfte und im Norden kam es zu zeitweiligen Niederschlägen, die teils als Schnee, teils als Regen oder Nieselregen fielen. Die Schneedecke hatte aber noch Bestand.

Vor dem Herannahen einer Wetterfront von Westen her bestand eine Südostströmung mit Mischungsschichthöhen von 100 bis 400 m mit möglichen Ferntransporten von PM10. Vor Durchgang der Front kam es zu lokalen Konzentrationserhöhungen von Luftbeimengungen.



### 6.1.8 Wetterlage 9. - 11. März

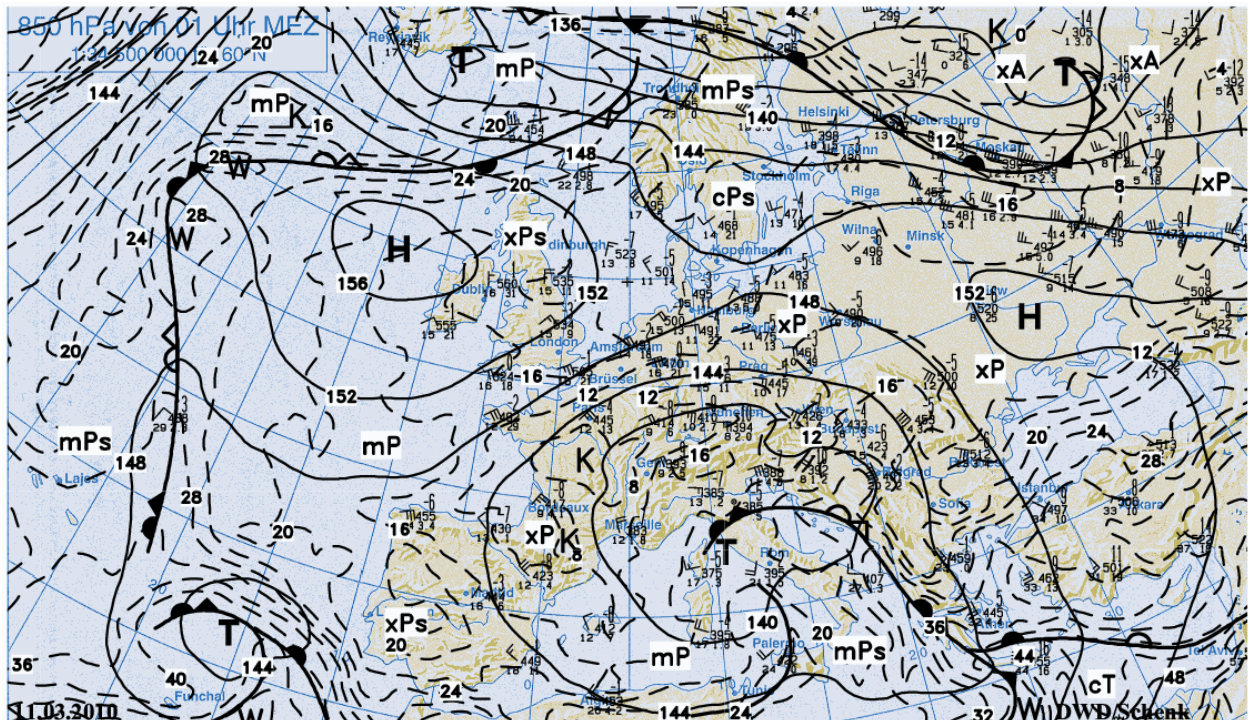


Abbildung 6-8: Wetterkarte vom 11.03.2010

Ein schwaches Hochdruckgebiet lag über der nördlichen Nordsee, während der Mittelmeerraum unter Tiefdruckeinfluss lag. In Begleitung von Nebel und Hochnebel schien in weiten Teilen Deutschlands die Sonne.

Im ostdeutschen Raum war es in diesem Zeitabschnitt sehr schwachwindig, was eine Anreicherung von Luftbeimengungen förderte. Zeitweise waren auch Ferntransporte aus Ost möglich.

### 6.1.9 Wetterlage 25. März

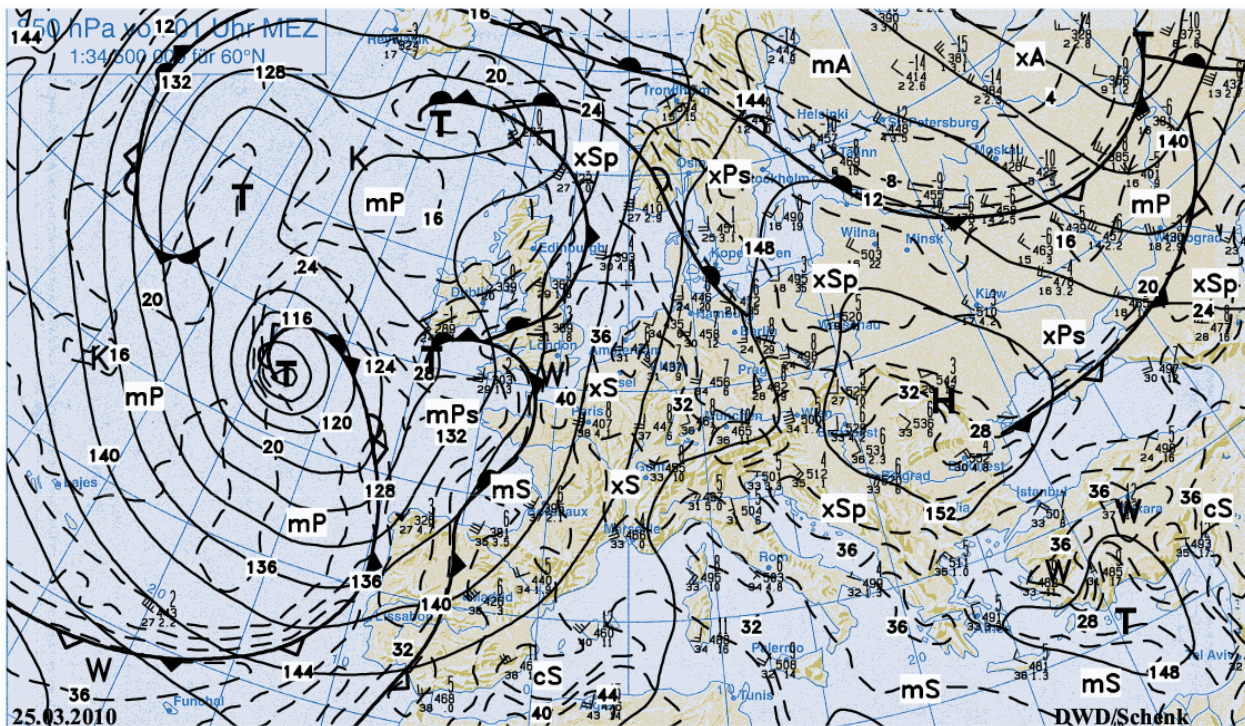


Abbildung 6-9: Wetterkarte vom 25.03.2010

Mit einer Kaltfront von Westen her übergreifend wurde eine sehr milde Frühlingswetterlage beendet. In der Folge stellte sich eine Westwetterlage mit unbeständigem und regnerischem Wetter ein.

Der 25.3. war durch die präfrontale Wettersituation kurzzeitig mit einem schwachen Südostwind gekennzeichnet, was zu einer kurzzeitigen Akkumulation von PM10 führte.



### 6.1.10 Wetterlage 8. - 10. Oktober

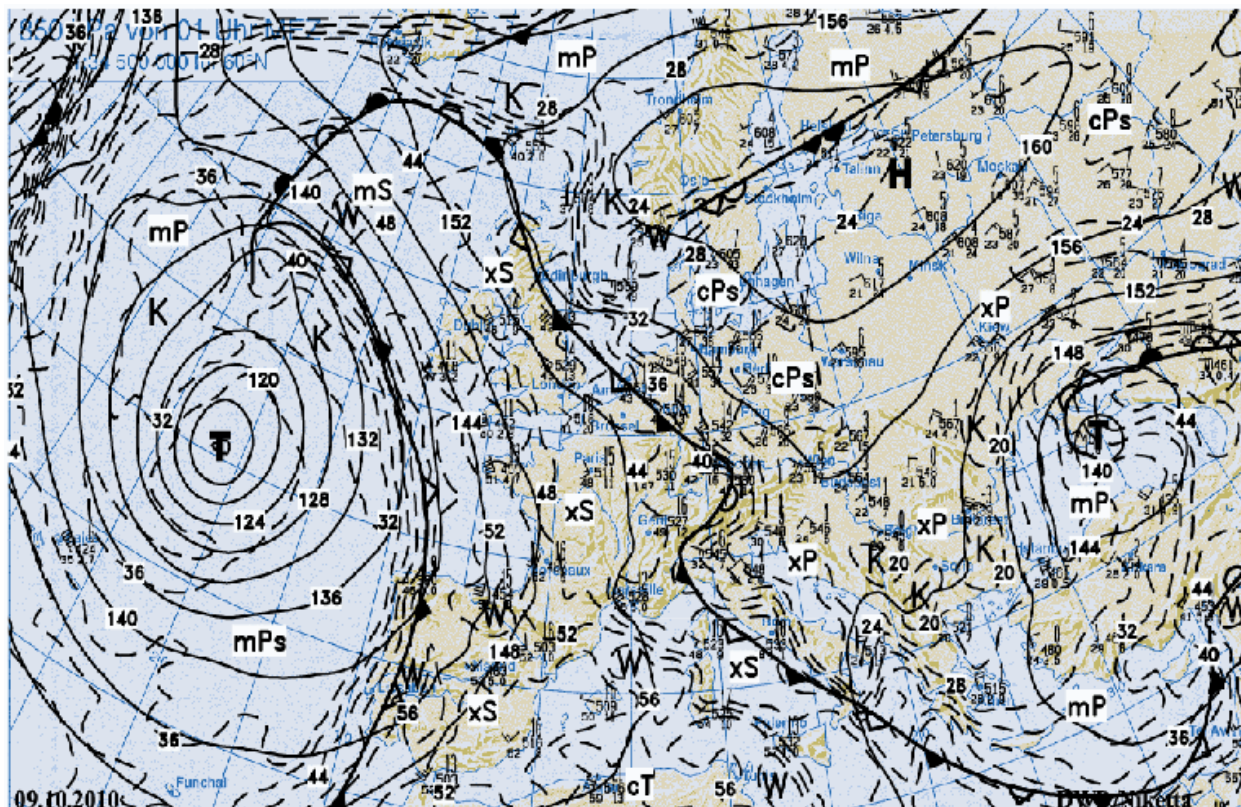


Abbildung 6-10: Wetterkarte vom 09.10.2010

Über Deutschland lag eine Luftmassengrenze, die recht milde Luft über West- und Nordeuropa von kalten Luftmassen über Osteuropa trennte. Ostdeutschland lag im Bereich der kalten Luft. Das Hoch über Osteuropa verlagerte sich unter Abschwächung westwärts nach Zentraleuropa und war am 11.10. nur noch als Hochkeil zu erkennen, der einem Hochdruckgebiet über der Nordmeer anschloss.

Mit der Hochdrucklage ergaben sich innerhalb des Zeitabschnitts sehr niedrige Mischungsschichthöhen die mit einer südöstlichen Strömung und Schadstofftransporten verbunden waren.

### 6.1.11 Wetterlage 31. Oktober - 2. November

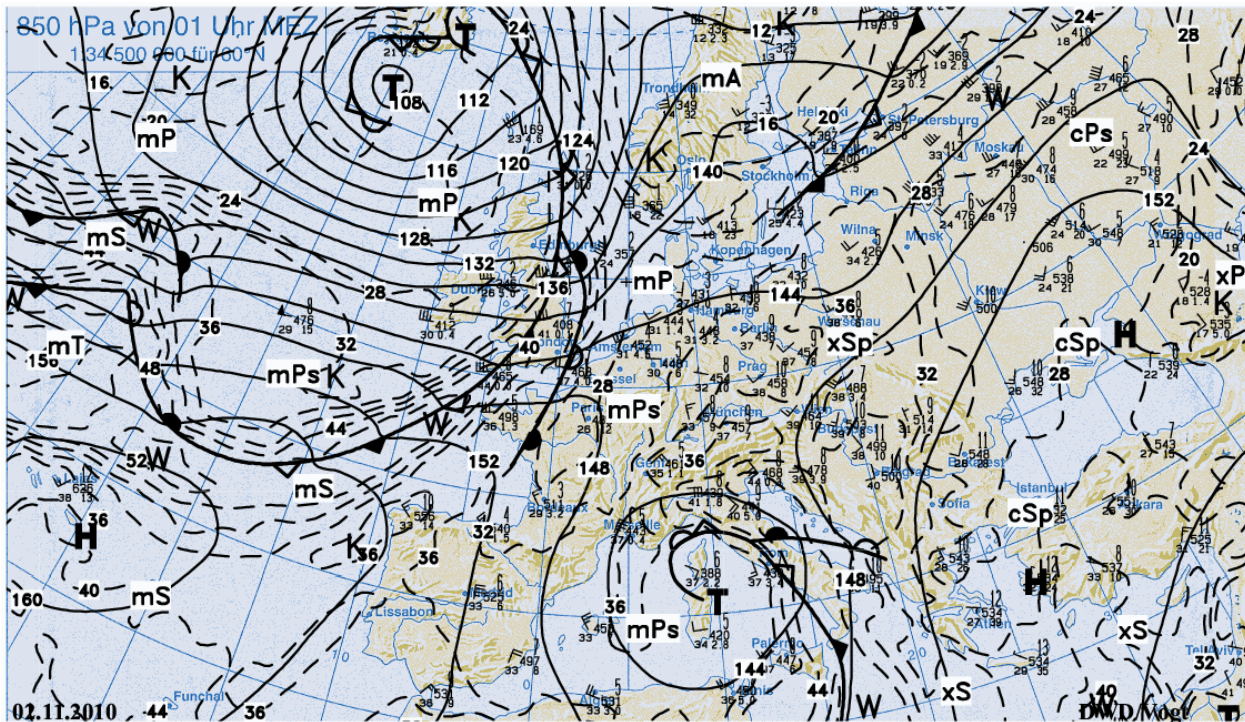


Abbildung 6-11: Wetterkarte vom 02.11.2010

Der Oktober 2010 war in Ostdeutschland in diesem Jahr gegenüber dem längjährigen Mittel zu kalt und trocken. Hochdruckgebiete bestimmten den Wetterablauf wesentlich. In diesem Zeitabschnitt kam in das mitteleuropäische Wettergeschehen langsam wieder ein Wechsel zu Westwetterlagen mit Tiefdruckstörungen ein. Anfang November stellte sich nachfolgend eine windige und vorübergehend milde Phase ein.

In diesem Übergangszeitabschnitt von einer Hochdrucklage zu Westwetterlage ergab sich vor dem Eintreffen einer Wetterfront eine schwachwindige Situation aus unterschiedlichen Richtungen in der die Anreicherung von PM10 begünstigt wurde.



### 6.1.12 Wetterlage 7. - 8. Dezember

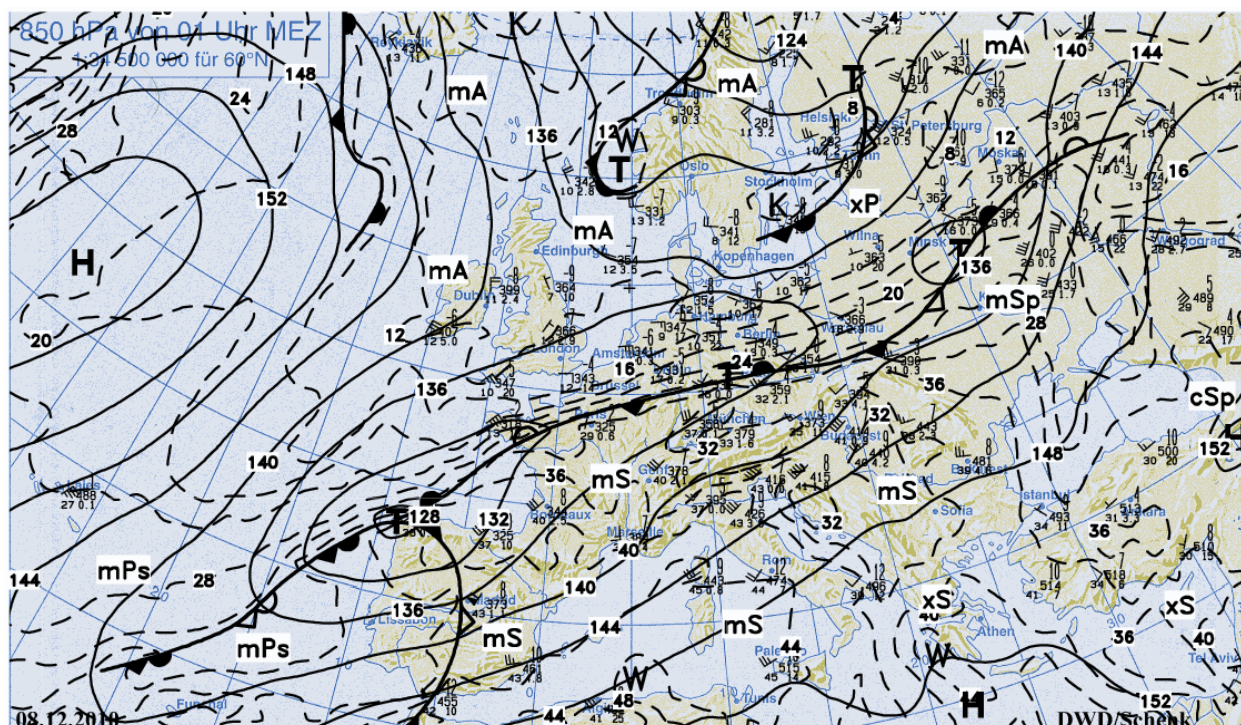


Abbildung 6-12: Wetterkarte vom 06.12.2010

Über Mitteleuropa verstärkte sich langsam der Temperaturgegensatz zwischen der von Norden einfließenden Luft subpolaren und arktischen Ursprungs und subtropischer Luft über dem südlichen Europa. Die Luftmassengrenze, die von den Azoren über Frankreich, die Alpen und Polen bis nach Russland reichte, verursachte eine östliche Strömung über Ostdeutschland.

Nördlich der Luftmassengrenze gelegen, wurde Ostdeutschland von schwachen Zwischenhochdruck beeinflusst. Zusammen mit niedrigen Mischungshöhen und zeitweise sehr schwachen, meist östlichen Winden war eine Konzentrationszunahme von PM10 begünstigt.



### 6.1.13 Wetterlage 19. - 23. Dezember

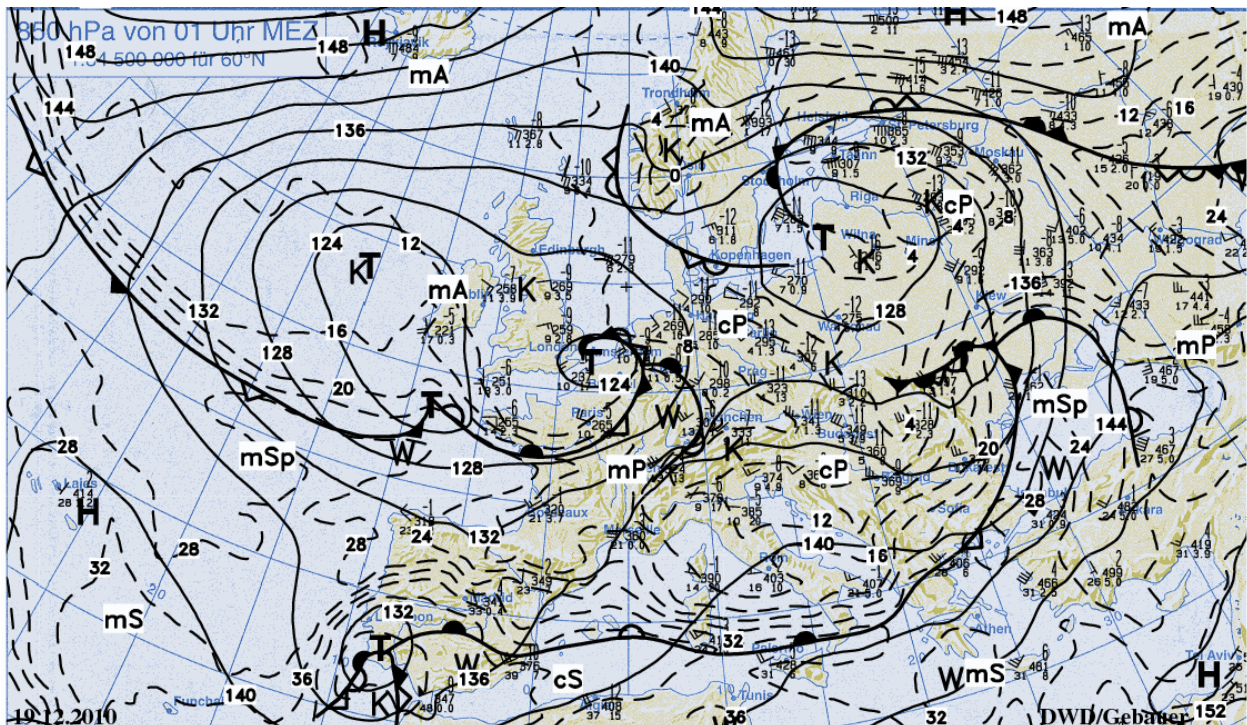


Abbildung 6-13: Wetterkarte vom 19.12.2010

Über Mitteleuropa lag in der Höhe ein lang gestrecktes Tiefdruckgebiet, das vom Nordatlantik westlich Irlands bis nach Polen reichte. In den vergangenen Tagen und diesem Zeitabschnitt wanderten kleine Tiefdruckgebiete über dem südlichen und zentralen Europa nach Osten. Es gab es zeitweise Schneefall, Kälte und die Temperaturen sanken über Schneeflächen verbreitet unter  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Ostdeutschland war jetzt von einem schwachen Hochdruckkeil beeinflusst. Vor Eintreffen einer westlich gelegenen Wetterfront in Brandenburg ergaben sich über der Schneedecke sehr niedrige Mischungsschichthöhen. Verbunden mit schwachen Bodenwinden ergab sich eine Anreicherung von PM10, die ab dem 21. durch Ferntransport verstärkt wurde.

### 6.1.14 Wetterlage 28. - 30. Dezember

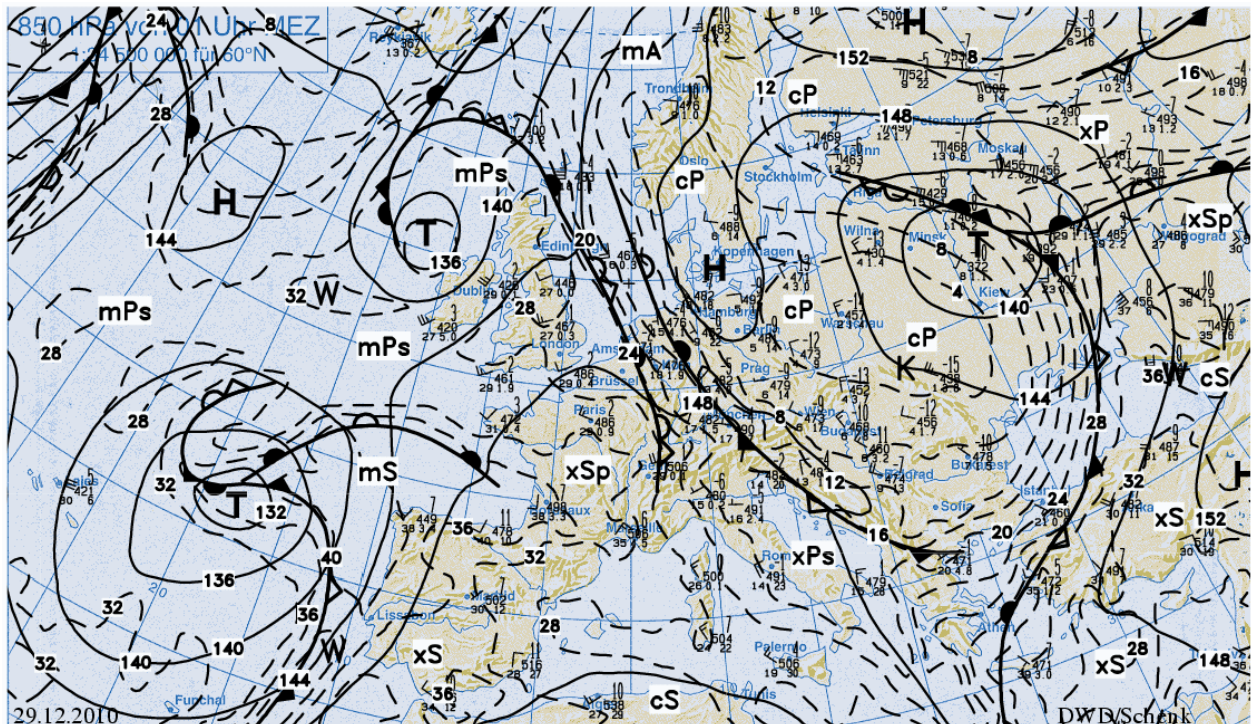


Abbildung 6-14: Wetterkarte vom 06.12.2010

Anfangs kam es von der Elbmündung bis zur Uckermark und ins Osterzgebirge zu unerwartet starken Schneefällen. Damit erhöhten sich die ohnehin außergewöhnlich hohen Schneedecken weiter und die Temperaturen lagen verbreitet unter  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Ostdeutschland lag weiterhin im Bereich eines Zwischenhochdruckgebietes und mit der starken Schneedecke verbunden ergaben sich nun sehr niedrige Mischungsschichthöhen. Der Wind kam aus Südost bei geringen Stärken, so dass PM10-Transporte nach Ostdeutschland und eine Anreicherung von PM10 möglich waren.



## 6.2 Trajektorienanalyse

Um zwischen Beiträgen aus lokalen und überregionalen Quellen zu differenzieren, sind Rückwärtstrajektorien ein wichtiges Hilfsmittel, mit dem mögliche Quellareale und -richtungen identifiziert werden können. Die Erstellung und Analyse der Trajektorien wurde mit dem diagnostischen Analysesystem TRAMPER (Reimer & Scherer, 1992; Kerschbaumer & Reimer, 2003) durchgeführt und basiert auf meteorologischen Datensätzen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) in Form von Radiosonden- und Pilotmeldungen der synoptischen Aerologiestationen sowie stündlichen und dreistündlichen Beobachtungen von Teilen der synoptischen Beobachtungsnetze der in der World Meteorological Organisation (WMO) organisierten Wetterdienste. Gegenüber einem prognostisch-numerischen Modellierungsansatz hat diese diagnostische Methode den Vorteil, dass sie sich wesentlich auf vorhandene meteorologische Messungen stützt und daher eine unmittelbare Diskussion lokaler Wetterphänomene in Verbindung mit den Immissionsmessungen erlaubt.

Für die Trajektorienberechnungen wurden dreidimensionale Rückwärtstrajektorien an den jeweiligen Messstationen gestartet und für drei Tage „verfolgt“. Die zugrunde liegenden großräumigen meteorologischen Felder wurden in geographischen Koordinaten über ein numerisches Gitter der Maschenweite von ca. 20 km beschrieben, was als räumliche Auflösung ausreicht und keine Verdichtungen der Windmessungen erfordert, da in dieser Untersuchung bei den Trajektorien wesentlich die großräumigen Transporte betrachtet werden.

Die Trajektorienberechnungen finden auf raum- und zeitabhängigen isentropen Flächen (Flächen gleicher Entropie) statt, wobei in der planetarischen Grenzschicht ein Übergang zu einer orographieabhängigen Koordinatenfläche erfolgt. In der freien Atmosphäre werden mehrere Verfahren kombiniert. Drei verschiedene Berechnungen des Verlagerungsvektors werden vorgenommen:

- über ein dynamisches Windwegberechnungsverfahren unter Verwendung der Lagrange'schen Bewegungsgleichung,
- über einen rein kinematisch gewonnenen Verlagerungsvektor, der durch Iteration im Windfeld bestimmt wird und
- über einen Verlagerungsvektor, der sich unter der Annahme einer verschwindenden horizontalen Beschleunigung ergibt.

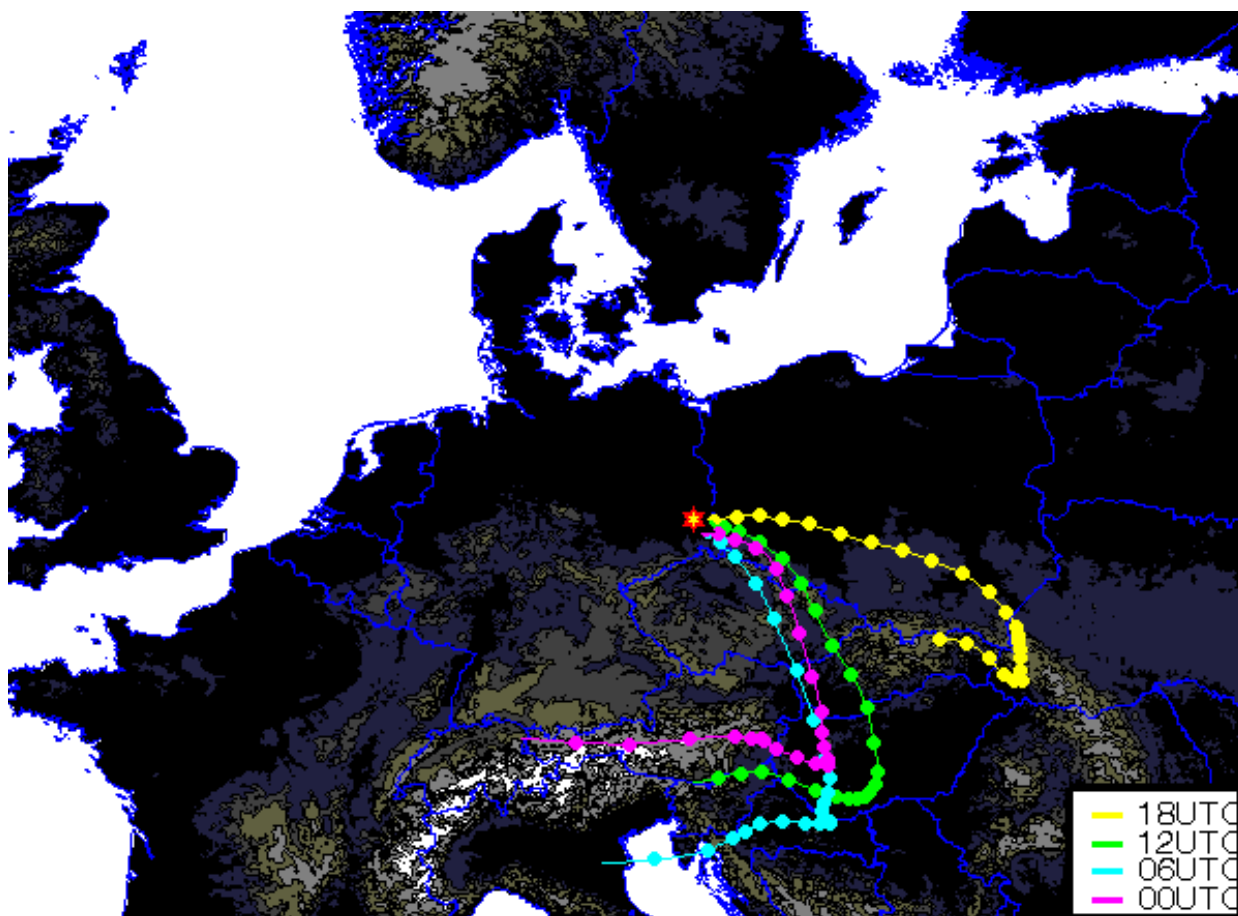
Mit den Endpunkten der drei Verlagerungsvektoren ergibt sich eine Lösungsfläche, in der der Ort optimaler Energiekonsistenz berechnet wird, indem die horizontale Energiegleichung iterativ in der Fläche geprüft wird.

Da die Analysen dreistündig bzw. einstündig vorliegen, wird über eine graduelle zeitabhängige Wichtung zu den beobachteten Windfeldern gewährleistet, dass für alle Trajektorien eine strikte Übereinstimmung von Windvektoren und Trajektorienorientierung an den Beobachtungsterminen besteht.

In der planetarischen Grenzschicht wird nur die kinematische Methode verwendet, da bei Trajektorien die Verwendung turbulenter Reibungsansätze problematisch ist und die Verwendung der beobachteten bodennahen Winde im Vordergrund steht. In dieser Untersuchung wird an jedem Ort eine Trajektorie gestartet, die dreidimensional die Entwicklung der Grenzschicht und der Verhältnisse in der freien Atmosphäre berücksichtigt.

Als Ergebnis dieser Analysen stehen für jeden der Überschreitungstage der fünf Stationen jeweils vier Rückwärtstrajektorien, die um 0:00, 6:00, 12:00 bzw. 18:00 Uhr an der jeweiligen Messstation gestartet wurden, zur Verfügung. Damit kann die Herkunft der Luftmassen verdeutlicht werden, wie Abbildung 6-15 beispielhaft zeigt. Die eigentlichen Trajektorienbilder der einzelnen Städte finden sich im Anhang A in Abbildung A-1 bis Abbildung A-40.

Entlang der Trajektorien sind 3-stündig Markierungen platziert. Aus dem Abstand zwischen den Punkten lässt sich auf die Windgeschwindigkeit schließen, während sich die Windrichtung aus der Tangente an dem jeweils betrachteten Intervall ergibt. Die veränderliche Windsituation des jeweils betrachteten Tages kann man im Vergleich der 4 Trajektorien und, sofern vorhanden, der des 00UTC-Termins des Folgetages erkennen.



**Abbildung 6-15:** Beispiel für vier 3D-Rückwärtstrajektorien eines bestimmten Tages für eine Messstation in 6h-Intervallen gestartet (0:00 = pink, 6:00 = hellblau, 12:00 = grün und 18:00 = gelb) mit Zwischenpunkten in 3h-Intervallen, jeweils verfolgt für 3 Tage

### 6.3 Immissionsmessdatenanalyse

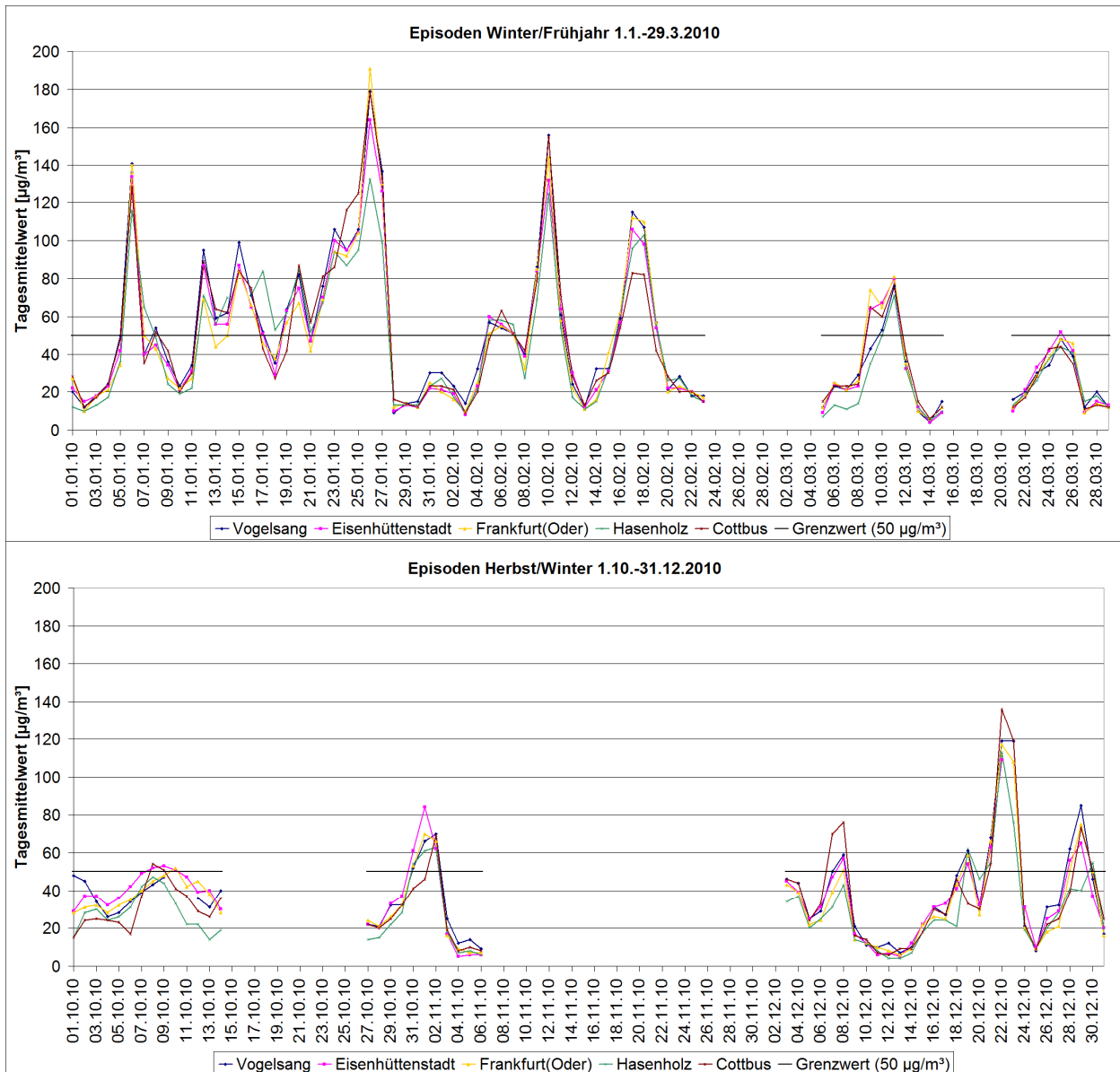
In diesem Abschnitt werden die Messdaten der fünf Stationen sowie weiterer repräsentativer Hintergrundstationen ausgewertet, dargestellt, klassifiziert und diskutiert.

#### 6.3.1 Allgemeine Analyse

Entsprechend der Beschreibung der Ausgangssituation in Abschnitt 2 wurden an den fünf Hintergrundstationen Vogelsang, Eisenhüttenstadt, Frankfurt (Oder), Hasenholz und Cottbus im Jahr 2010 insgesamt 187 PM10-Tagesmittelwerte  $> 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  gemessen, wobei die Anzahl der Überschreitungsfälle an den einzelnen Stationen zwischen 36 und 41 liegt und sich die Überschreitungsfälle auf insgesamt 48 Kalendertage verteilen. An 46 der 48 Kalendertage wurden an mindestens zwei Stationen PM10-Tagesmittelwerte  $> 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  gemessen, an 39 Tagen an mindestens drei und an 35 Tagen an mindestens vier Stationen. An 22 Tagen wiesen alle Stationen Tagesmittelwerte  $> 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  auf.

Ergänzend zu Tabelle 2-2, Abbildung 2-2 und Abbildung 2-1 sind in der folgenden Abbildung 6-16 – getrennt für Winter/Frühjahr und Herbst/Winter – die gemessenen PM10-Tagesmittelwerte der fünf Stationen als Zeitreihen dargestellt. In dieser Darstellung wurden zum einen die Messwerte  $\leq 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  für die Stationen aufgefüllt, die an einem der 48 Kalendertage unter dem Grenzwert blieben und zum anderen die Messwerte von jeweils einigen Tagen vor und nach den Überschreitungstagen bzw. zwischen Überschreitungstagen ergänzt, so dass sich ein aussagkräftiger Überblick über die Messdaten und deren zeitlichen Verlauf ergibt.





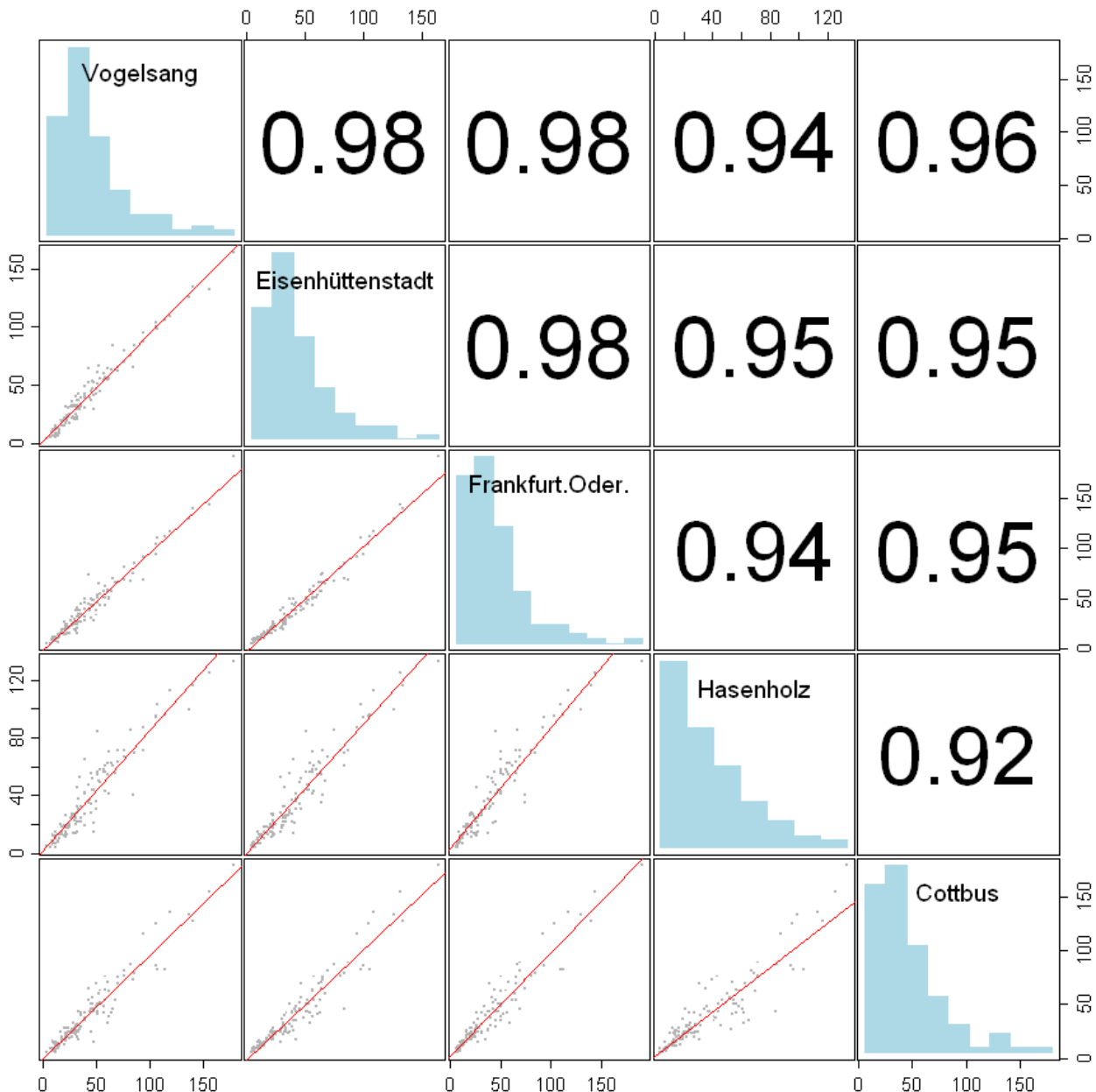
**Abbildung 6-16: Zeitreihen der PM10-Tagesmittelwerte an den fünf Stationen für Zeitabschnitte im Winter/Frühjahr (oben) und Herbst/Winter (unten)**

Abbildung 6-16 zeigt deutlich den sehr homogenen Verlauf der PM10-Tagesmittelwerte an allen fünf Stationen für alle Zeitabschnitte mit Überschreitungstagen. Vereinzelt singuläre Ausnahmen aus den homogenen Verläufen lassen sich lediglich ausmachen für Hasenholz am 17. Januar, an dem dort ein Anstieg gegenüber dem Vortag gemessen wurde, während an allen anderen Stationen die Wert sanken, sowie für Vogelsang am 1.-3. Oktober, wo dort ein Absinken von einem hohen Niveau gemessen wurde, während alle anderen Stationen einen Anstieg von einem niedrigen Niveau aufweisen, und für Cottbus, das in diesem Zeitabschnitt anfangs etwas verzögert mitläuft.

Aus Abbildung 6-16 wird insbesondere auch deutlich, dass an Tagen, an denen an manchen Stationen keine Überschreitungen gemessen werden, auch diese Stationen Werte von nur wenig unter  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und einen untereinander homogenen Verlauf aufweisen. So wird beispielsweise am 25. März mit  $52 \mu\text{g}/\text{m}^3$  nur in Eisenhüttenstadt eine Überschreitung gemessen, die anderen Stationen liegen aber mit  $44 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in Hasen-

holz und Cottbus sowie  $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in Vogelsang und Frankfurt (Oder) nicht weit vom Grenzwert entfernt und weisen gegenüber den jeweiligen Jahresmittelwerten, die zwischen  $24$  und  $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$  liegen, deutlich erhöhte Werte auf.

Ergänzend dazu sind in Abbildung 6-17 die Stundenwerte der Messstationen für die Modellierungszeiträume (s. Abschnitt 6.7.2.1) paarweise in Beziehung gesetzt und zusammen mit den Korrelationskoeffizienten dargestellt. Deren sehr hohe Werte zwischen  $0.92$  und  $0.98$  untermauern die beschriebenen Zusammenhänge statistisch.



Statistische Beziehungen zwischen den Stundenwerten von jeweils zwei Messstationen. Auf der Hauptdiagonalen der Matrix ist das Histogramm jeder Variable eingezeichnet. Über der Hauptdiagonalen ist der Korrelationskoeffizient nach Pearson aufgetragen. Unter der Hauptdiagonalen sind die Scatter-Plots jeweils zweier Größen mit einer linearen Regressionsgrade (rot) dargestellt.

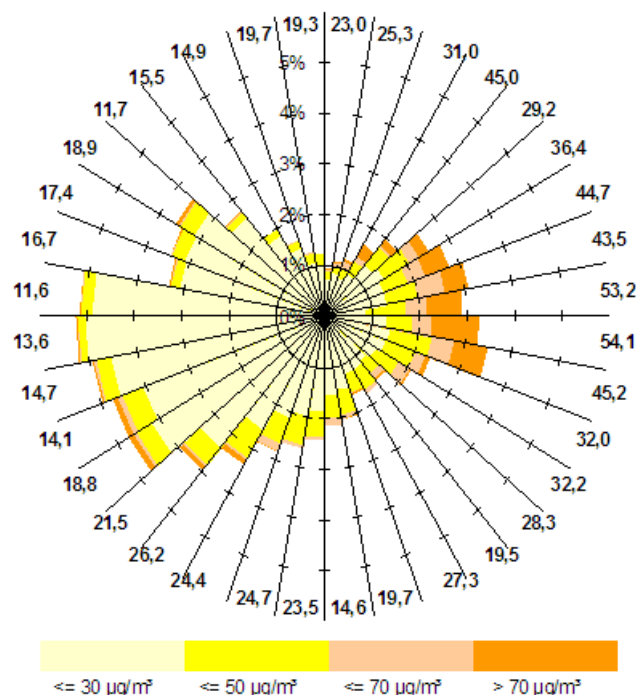
**Abbildung 6-17: Korrelationsmatrix der Tagesmittelwertzeitreihen der fünf Stationen**

Der sehr homogene Verlauf der Zeitreihen der PM10-Tagesmittelwerte für die Zeitabschnitte mit Überschreitungstagen an den fünf Stationen, die bis zu  $94 \text{ km}$  voneinander

entfernt sind und sich in einem Gebiet mit einer West-Ost-Ausdehnung von 44 km und einer Nord-Süd-Ausdehnung von 91 km verteilen, ist ein deutliches Indiz dafür, dass die Belastungen stark durch großräumigere Transportphänomene beeinflusst sind und die in diesen Zeiträumen gemessenen Spitzenkonzentrationen daher nur in einem geringen Umfang durch lokale Quellen im Umfeld der Stationen hervorgerufen werden.

### 6.3.2 Windrichtungsabhängige Analyse der Messwerte

Für die fünf Hintergrund-Messstationen Cottbus, Eisenhüttenstadt, Frankfurt (Oder), Hasenholz und Vogelsang sowie für die weiteren repräsentativen Hintergrundstationen gemäß Abschnitt 5.2 wurden vom LUGV auf Basis stündlicher Messwerte für PM10 und stündlicher Daten zur Windrichtung für das Jahr 2010 die Messwerte windrichtungsabhängig ausgewertet und Schadstoffwindrosen erstellt. Die Auswertungen erfolgten für das gesamte Jahr 2010 auf Basis von Stundenwerten, was zielführender ist als eine alternativ denkbare Auswertung auf Basis von Tagesmittelwerten, weil innerhalb einer Stunde die Windrichtung als weitgehend konstanter Parameter angenommen werden kann und nicht auf „mittlere tägliche Windrichtungen“ zurückgegriffen werden muss. In der folgenden Abbildung ist beispielhaft eine solche Schadstoffwindrose dargestellt.



**Abbildung 6-18: Beispiel für die Analyse der Schadstoffbelastung in Abhängigkeit der Meteorologie (Schadstoffwindrose). Für jeden 10°-Windrichtungssektor ist die Häufigkeit des Auftretens insgesamt (Länge der Segmente) sowie die Häufigkeit verschiedener Konzentrationsbereiche (Länge und Einfärbung der Teilsegmente) dargestellt. Zusätzlich ist im äußeren Ring für jeden Sektor der Konzentrationsmittelwert aufgeführt.**

#### 6.3.2.1 Schadstoffwindrosen

##### 6.3.2.1.1 Übersicht

In den folgenden Darstellungen finden sich die Schadstoffwindrosen gemäß Abschnitt 6.3.2 für die Messstationen entsprechend ihrer räumlichen Lage verortet. Abbildung 6-19 zeigt diese für alle Stunden des Jahres, Abbildung 6-20 stellt diese zusätzlich für die fünf Messstationen für die Stunden der jeweiligen Überschreitungstage dar. In Abbildung 6-21 werden jeweils beide Schadstoffwindrosen für die fünf Stationen gegenübergestellt. Da für die Station Melpitz 2010 nur PM10-Tagesmittelwerte und keine

stündlichen Messdaten vorlagen, wurde für die Erstellung der Schadstoffwindrose für Melpitz der gemessene Tagesmittelwert jeweils für alle Stunden des Tages angesetzt.

Die Darstellung der Schadstoffwindrosen der Jahresmittelwerte in Abbildung 6-19 zeigt für neun der zehn Stationen ein recht ähnliches Bild. Lediglich Niesky in Sachsen weicht mit einem hohen Anteil an Südwinden und einem geringeren Anteil an Ostwinden vom allgemeinen Bild ab, das durch vorherrschende Anströmung aus (süd-)westlichen und häufige Anströmung aus östlichen Richtungen gekennzeichnet ist. Unter diesen neun Stationen fallen Neuglobsow in Nordbrandenburg mit einer insgesamt gleichmäßiger und Melpitz in Sachsen mit einer geringer östlich ausgeprägten Verteilung auf.

Allen Stationen ist gemein, dass hohe Stundenmesswerte in relevanter Zahl nur in den östlichen Sektoren vorkommen und dementsprechend die Sektormittelwerte im Osten, je nach Station, um den Faktor drei bis fünf über den westlichen liegen. Lediglich in Melpitz wird nur ein Faktor zwei erreicht. Für die fünf untersuchten Stationen zeigen bereits die Schadstoffwindrosen der Jahresmittelwerte im Osten jeweils ein bis zwei Sektoren, deren Mittelwert über  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  liegt.

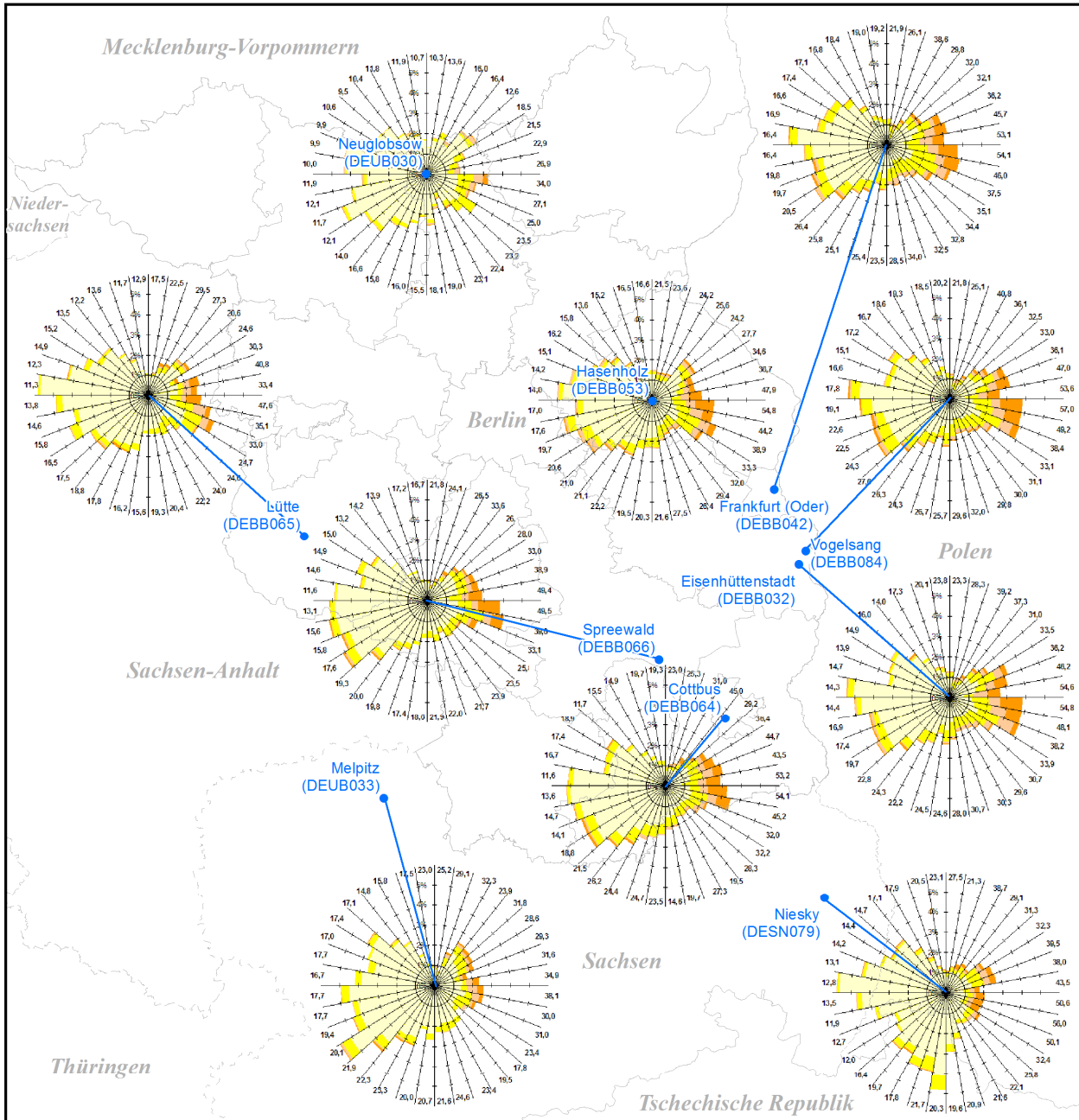
Die Darstellung der Schadstoffwindrosen für die Überschreitungstage in Abbildung 6-20 zeigt zunächst für alle fünf Stationen ein sehr einheitliches Bild. Fast alle Anströmungen kommen aus östlichen Bereichen mit einer deutlichen Konzentration auf die Bereiche  $60^\circ - 120^\circ$  bzw.  $50^\circ - 110^\circ$  in Cottbus und  $70^\circ - 130^\circ$  in Hasenholz. Alle anderen Anströmrichtungen kommen nur zu sehr geringen Anteilen vor.

Die gegenüber den Jahresmittelwerten völlig andere Situation wird besonders gut im direkten Vergleich in Abbildung 6-21 deutlich, die die Schadstoffwindrosen der einzelnen Stationen direkt gegenüber stellt. Dabei ist zum einen zu beachten, dass die Skala für die Überschreitungstage um den Faktor drei gestreckt ist und ein gefüllter Sektor 18 % entspricht gegenüber 6 % bei den Schadstoffwindrosen für das ganze Jahr. Zum anderen beziehen sich die Anteile in den einzelnen Sektoren auf verschiedene Datenkollektive, d. h. 2 % beinhalten bei den Schadstoffwindrosen für das ganze Jahr in etwa 175 Stunden und bei den Schadstoffwindrosen für die Überschreitungstage mit etwa 17 bis 20 Stunden nur ungefähr ein Zehntel davon.

Die bei den Jahresmittelwerten vorherrschenden (süd-)westlichen Anströmungen kommen an den Tagen mit PM10-Tagesmittelwertüberschreitungen nur sehr vereinzelt und mit absolut sehr geringen Stundenzahlen vor. Im Vergleich zeigt sich außerdem, dass fast alle Stundenwerte, die an den Überschreitungstagen auftreten, bei  $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$  oder höher liegen, während es im ganzen Jahr auch bei östlicher Anströmung durchaus relevante Anteile an Stundenwerten unter  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  gibt. Dementsprechend sind auch die Sektormittelwerte für die östlichen Anströmrichtungen an den Überschreitungstagen um etwa 60 % höher als im Jahresmittelwert und liegen alle deutlich über  $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Bei den Schadstoffwindrosen für die Überschreitungstage fällt auch auf, dass es an allen Stationen praktisch über die ganze Windrose verteilt Sektoren mit sehr hohen Stundenmittelwerten gibt, die aber nur von sehr wenigen Stunden verursacht werden. Dies wird im folgenden Abschnitt 6.3.2.1.2 näher betrachtet.





**Analyse der PM10-Grenzwertüberschreitungen im Jahre 2010 im ländlichen und urbanen Hintergrund in Ostbrandenburg**

**Schadstoffwindrosen PM10 für 2010 erstellt auf Basis von stündlichen Messdaten**

- Messstationen
- ◊ Bundesländer
- ◊ Lankreise Brandenburg
- ◊ Staaten

**Stundenwert**

$\leq 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$   
 $\leq 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$   
 $\leq 70 \mu\text{g}/\text{m}^3$   
 $> 70 \mu\text{g}/\text{m}^3$

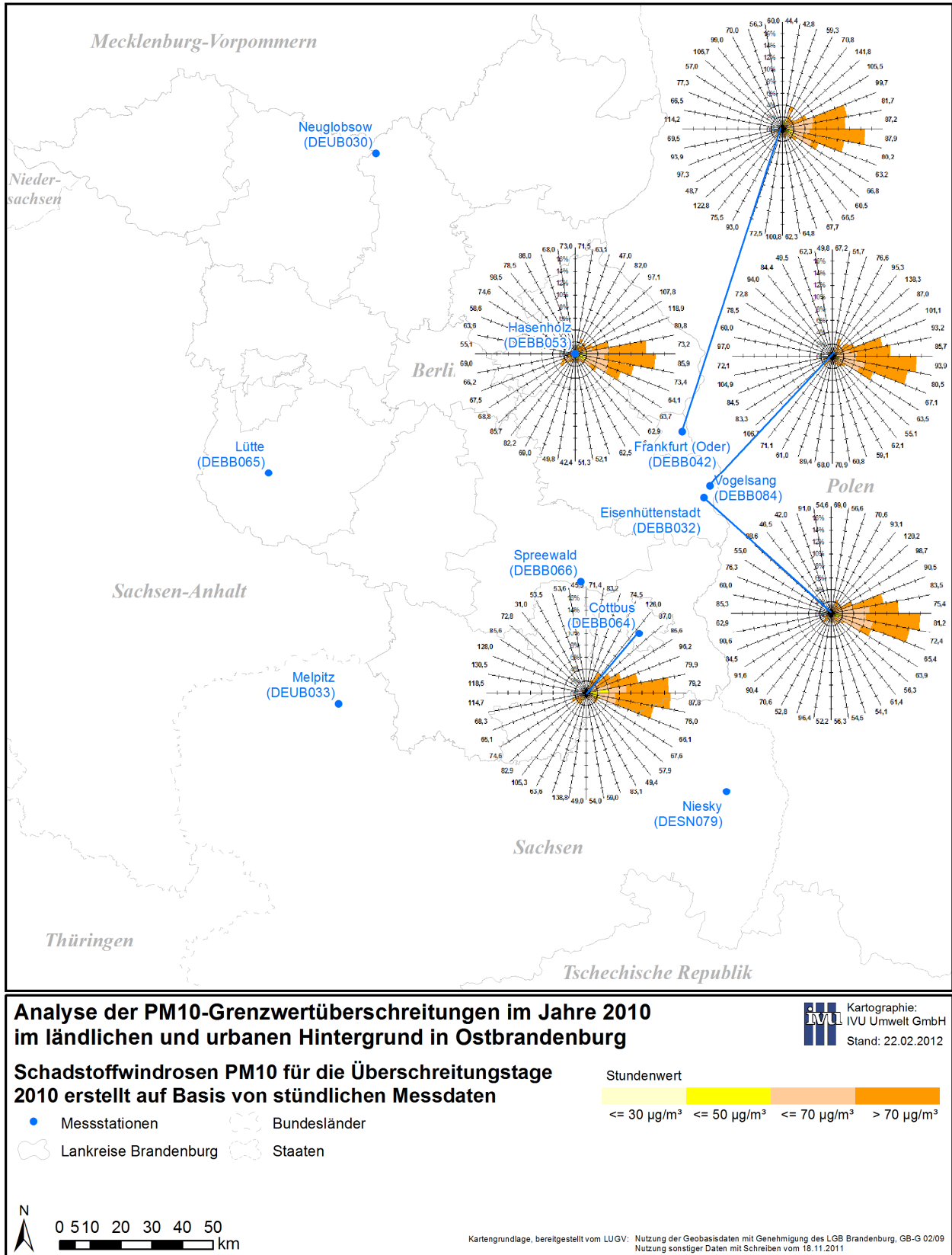
Für Melpitz lagen 2010 nur PM10-Tagesmittelwerte vor und daher wurde der gemessene Tagesmittelwert jeweils für alle Stunden des Tages angesetzt.

Kartographie: ivU Umwelt GmbH  
 Stand: 31.11.2011

Kartengrundlage, bereitgestellt vom LUGV: Nutzung der Geobasisdaten mit Genehmigung des LGB Brandenburg, GB-G 02/09  
 Nutzung sonstiger Daten mit Schreiben vom 18.11.2011

N  
 0 5 10 20 30 40 50 km

**Abbildung 6-19: Schadstoffwindrosen PM10 der fünf Stationen und weiterer repräsentativer Hintergrundstationen für das Jahr 2010**



**Abbildung 6-20: Schadstoffwindrosen PM10 der fünf Stationen für die jeweiligen Überschreitungstage 2010**

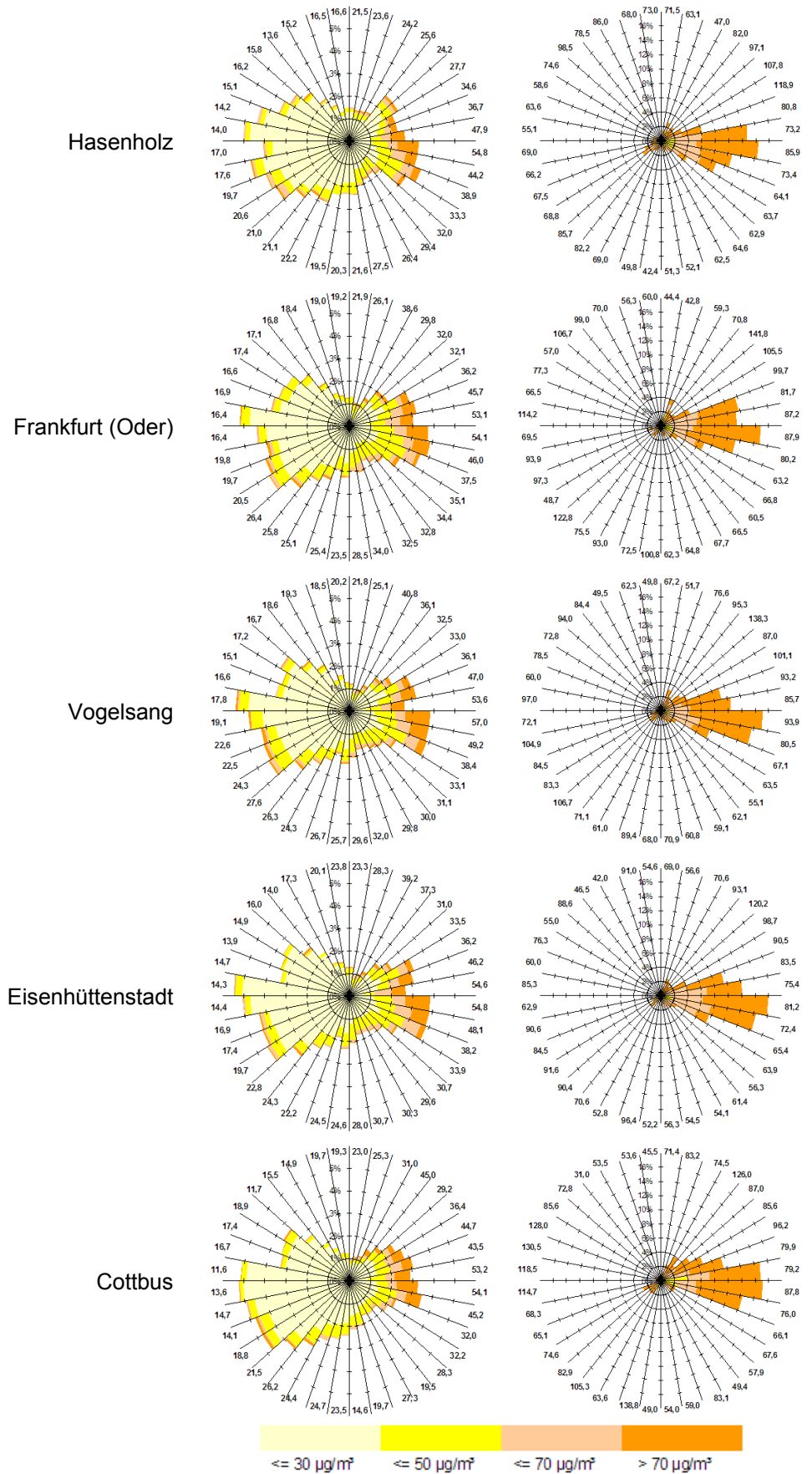


Abbildung 6-21: Schadstoffwindrosen PM10 der fünf Stationen 2010 für das Jahr (links) und für die jeweiligen Überschreitungstage (rechts)

### 6.3.2.1.2 Einzelbetrachtungen

Bei den Schadstoffwindrosen für die Überschreitungstage gibt es an allen Stationen außerhalb der jeweils am häufigsten auftretenden (süd-)östlichen Sektoren zwischen  $60^\circ - 120^\circ$  bzw.  $50^\circ - 110^\circ$  in Cottbus und  $70^\circ - 130^\circ$  in Hasenholz über die ganze Windrose verteilt Sektoren mit sehr hohen Stundenmittelwerten, die aber nur von sehr wenigen Stunden verursacht werden. Eine nähere Betrachtung zeigt, dass sich diese hohen Sektormittelwerte – je nach Station – auf 22 bis 26 der 36 bis 41 Überschreitungstage konzentrieren und durch jeweils maximal 26 bis 35 Stunden pro Sektor verursacht werden. Wenn man sich auf Stundenwerte  $> 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  beschränkt, ergeben sich entsprechend 20 bis 33 verursachende Stunden pro Sektor. In den häufigsten Fällen sind die jeweiligen Sektoren an den einzelnen Tagen nur durch sehr wenige Stunden vertreten. Es gibt aber auch Überschreitungstage, wie z. B. den 27. Januar, an dem bei allen Stationen über 24 Stunden aus den südwestlichen Richtungen  $170^\circ - 240^\circ$ , mit einem Schwerpunkt zwischen  $210^\circ$  und  $230^\circ$ , angeströmt werden, oder den 2. November, an dem alle Stationen den ganzen Tag aus den westlichen Richtungen  $200^\circ - 280^\circ$  angeströmt werden.

In Tabelle 6-2 sind beispielhaft für Hasenholz die Verteilung der Stunden auf die einzelnen Sektoren und die zugehörigen Mittelwerte für alle Überschreitungstage, d. h. die Eingangsdaten für die Schadstoffwindrose, zusammengestellt. In Tabelle 6-3 findet sich eine Darstellung, in der die Stunden auf die einzelnen Überschreitungstage aufgeschlüsselt sind.

In Tabelle 6-4 findet sich schließlich eine zusammenfassende Darstellung für alle Stationen, in der – farblich differenziert – die Anzahl aller Stunden mit Anströmungen außerhalb der jeweils sechs häufigsten Sektoren für die 37 Überschreitungstage aufgeführt ist, an denen solche Fälle an mindestens einer der Stationen vorkommen.

**Tabelle 6-2: Verteilung der Stunden auf die Windrichtungssektoren und Belastungsklassen an den Überschreitungstagen in Hasenholz**

Anzahl Stunden pro Sektor und Belastungsklasse an den Überschreitungstagen. Grau hervorgehoben sind die sechs häufigsten Sektoren.						
Sektor	≤ 30 µg/m <sup>3</sup>	≤ 50 µg/m <sup>3</sup>	≤ 70 µg/m <sup>3</sup>	> 70 µg/m <sup>3</sup>	Summe der Stunden	PM10-Mittelwert
undefiniert	0	1	6	6	13	81.1
0° - 10°	0	0	4	2	6	71.5
10° - 20°	2	1	5	4	12	63.1
20° - 30°	9	4	6	5	24	47.0
30° - 40°	1	0	6	6	13	82.0
40° - 50°	4	0	7	11	22	97.1
50° - 60°	0	2	3	11	16	107.8
60° - 70°	0	1	2	25	28	118.9
70° - 80°	0	8	19	26	53	80.8
80° - 90°	1	18	33	58	110	73.2
90° - 100°	0	19	26	79	124	85.9
100° - 110°	0	14	38	40	92	73.4
110° - 120°	1	18	35	21	75	64.1
120° - 130°	2	5	20	11	38	63.7
130° - 140°	0	4	9	4	17	62.9
140° - 150°	0	3	5	3	11	64.6
150° - 160°	0	6	2	4	12	62.5
160° - 170°	0	8	4	2	14	52.1
170° - 180°	0	4	5	0	9	51.3
180° - 190°	2	2	3	0	7	42.4
190° - 200°	1	2	1	1	5	49.8
200° - 210°	1	4	2	4	11	69.0
210° - 220°	3	1	3	6	13	82.2
220° - 230°	2	0	7	7	16	85.7
230° - 240°	2	3	15	7	27	68.8
240° - 250°	0	9	7	6	22	67.5
250° - 260°	3	2	2	5	12	66.2
260° - 270°	4	1	4	3	12	69.0
270° - 280°	0	3	5	1	9	55.1
280° - 290°	0	3	6	2	11	63.6
290° - 300°	0	5	4	2	11	58.6
300° - 310°	0	0	3	4	7	74.6
310° - 320°	0	0	0	6	6	98.5
320° - 330°	0	0	0	2	2	78.5
330° - 340°	0	0	1	2	3	86.0
340° - 350°	0	0	1	0	1	68.0
350° - 360°	0	0	0	1	1	73.0



**Tabelle 6-3: Verteilung der Stunden auf die Windrichtungssektoren für die einzelnen Überschreitungstage in Hasenholz**

Datum	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
06.01.10	1					1		4	3	1	2															1	3	3		1	1		2		1			
07.01.10																									1	11	11	1										
12.01.10									4	11	1	8																										
13.01.10									1	8	4	6	4	1																								
14.01.10										8	9	2	5																									
16.01.10												4	17	3																								
17.01.10												2	11	5			1	1		1			1	1	1													
18.01.10	2																											2	1	8	5	5						
19.01.10											3	8	2	5	1	1	1	1																				
20.01.10									1	8	15																											
21.01.10									4	14	6																											
22.01.10										2	9	11	2																									
23.01.10										5	12	7																										
24.01.10										4	8	12																										
25.01.10									3	5	14	2																										
26.01.10	3					1	7	10	1		1													1														
27.01.10																							1	5	6	6	5	1										
05.02.10									1	2	13	3	4	1																								
06.02.10									9	13	2																											
07.02.10		2	3	3	4	6	1		3	2																												
09.02.10									3	14	3	4																										
10.02.10						2	9	2	4	7																												
11.02.10		2	17	5																																		
16.02.10												1	5	6	6	5	1																					
17.02.10										4	14	6																										
18.02.10									3	4	1	1	1	1	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2														
19.02.10	2										1	3		1	1	4	4	1	1	2	1													2	1			
11.03.10		2	3	1	1	1	1																					1		1	1	2	4	2	2	1	1	
31.10.10											2	6	8	1	2		1	2	2																			
01.11.10	1	2	2	1	1		1				2	3	5											2	4	3	4	2	3	1	1	1	3					
02.11.10																																						
19.12.10	1								1	2	3	5	1	1		4	3	1	2																			
21.12.10							2	3	4	1	2		5	2			2	1	1	1																		
22.12.10									6	5	8	5																										
23.12.10			2	2		4	2	1	3	4	6																											
30.12.10																										3	5	7	3	6								
Summe	10	6	12	24	13	22	16	28	53	110	124	92	75	38	17	11	12	14	9	7	5	11	13	16	27	22	12	12	9	11	11	7	6	2	3	1	1	

Anzahl der Stunden pro Windrichtungssektor an den Überschreitungstagen (0 = undefiniert, 1 = 0° - 10°, ...). Grau hinterlegt sind die sechs häufigsten Sektoren. Farbgebung: hellorange > 3 Stunden, orange > 6 Stunden, rot > 10 Stunden.

**Tabelle 6-4: Anzahl der Stunden mit Windrichtungen außerhalb der häufigsten Sektoren an den Überschreitungstagen**

Datum	Vogelsang	Eisen- hüttenstadt	Frankfurt (Oder)	Hasenholz	Cottbus
06.01.10	12	12	12	17	16
07.01.10				24	
08.01.10	18				8
12.01.10	1	1	0	0	2
13.01.10	1	1		0	0
15.01.10	0	0	0		2
16.01.10	0	0	2	0	4
17.01.10	10	12		6	
18.01.10				22	
19.01.10	6	7	3	9	
23.01.10	0	0	0	0	2
26.01.10	14	15	12	19	8
27.01.10	24	24	24	24	24
07.02.10	20	20	20	19	19
10.02.10	13	14	13	17	14
11.02.10	24	24	24	24	24
16.02.10	15	15	14	12	24
17.02.10	0	0	0	0	13
18.02.10	15	15	15	16	20
19.02.10	15	15	14	18	
09.03.10		3	5		1
10.03.10	3	2	4		0
11.03.10	22	22	22	24	20
25.03.10		15			
10.10.10		2	2		
31.10.10	13	13	13	8	
01.11.10	13	11	17	13	0
02.11.10	24	24	24	24	24
07.12.10					6
08.12.10	13	13	14		9
19.12.10	22	22	19	11	
21.12.10	9	7	11	12	12
22.12.10	0	0	0	6	0
23.12.10	7	0	5	11	11
28.12.10	15	15	18		
29.12.10	20	17	19		15
30.12.10				24	24

Anzahl der Stunden außerhalb der jeweils sechs häufigsten Anströmsektoren (s. Text): hellorange > 6 Stunden, orange > 12 Stunden, rot > 20 Stunden.  
 Leere Zellen: kein Überschreitungstag an der entsprechenden Station.  
 Graue Markierung für zusammenhängende Tage entsprechend Tabelle 2-2 und Auftrennung in Abschnitte entsprechend Abschnitt 6.1

Betrachtet man diese Tage etwas genauer, dann ist zunächst festzustellen, dass relevante Stundenzahlen außerhalb der jeweils sechs häufigsten Sektoren sehr oft durch Anströmungen hervorgerufen werden, die ein Stück weiter südöstlich liegen, als die jeweiligen Hauptsektoren. Dies ist z. B. der Fall am 19.1., am 16.-19.2., am 25.3., am 31.10., am 19.12. und am 21.12.2010. Sieht man die übrigen Tage im Zusammenhang

mit den Beschreibungen der Wetterlagen aus Abschnitt 6.1, dann ist gut erkennbar, dass diese hohen Stundenzahlen an einzelnen Tagen nicht unbedingt ein Indiz für relevante Quellen in der entsprechenden Richtung sind. Solche Tage treten häufig am Ende von längeren Überschreitungsperioden auf. Sie werden dadurch hervorgerufen, dass solche Perioden i. d. R. mit dem Zusammenbruch bzw. Wechsel von Wetterlagen und dementsprechend mit Winddrehungen einhergehen, die die zuvor von außen ins Gebiet transportierten Schadstoffe in einer Art „Mitnahme-Effekt“ nochmals über das Gebiet verteilen und erneut zu hohen Werten führen. Dies tritt besonders deutlich z. B. am 26./27.01, 10./11.2 oder auch am 11.03.2010 auf. Weiterhin gibt es Tage, an denen insgesamt eher geringe Windgeschwindigkeiten bei drehenden Winden bzw. Winde aus verschiedenen Richtungen in Verbindung mit (sehr) niedrigen Mischungsschichthöhen vorherrschen und damit Bedingungen vorliegen, die zu einer Anreicherung der Belastungen, unabhängig von ihren Quellen, führen. Darunter sind auch Zeitabschnitte – die sich allerdings nicht in letzter Schärfe identifizieren lassen –, an denen es durch kurzzeitige Einströmungen ins Gebiet verursachte erhöhte Belastungen gab, die dann im Gebiet „umgewälzt und konserviert“ werden, wie z. B. am 6.-9.1.2010 oder 28.-30.12.2010.

### 6.3.2.2 Differenzen-Windrosen

Auf Basis eines mit dem LUVG abgestimmten Vorschlags wurden vom LUGV für die fünf Stationen windrichtungsabhängig Differenzbetrachtungen zu anderen Hintergrundstationen erstellt. Diese Differenzen wurden analog zu Abschnitt 6.3.2.1 auf stündlicher Basis gebildet. Bei solchen Differenzbetrachtungen können auch negative Werte auftreten. Dies kann zum einen in den lokalen Emissions- und Ausbreitungsbedingungen begründet sein, kann zum anderen aber auch durch unterschiedliche Messverfahren an den einzelnen Stationen hervorgerufen werden.

Diese Differenzen-Windrosen wurden sowohl für alle Stunden des Jahres 2010 als auch beschränkt auf die jeweiligen Überschreitungstage der fünf Stationen erstellt. Dies erfolgte einerseits mit dem Ziel, möglicherweise Aussagen zur Abschätzung des Gradienten im Hintergrund zu erhalten, auf Basis der Differenzen

- Hasenholz - Lütte
- Hasenholz - Neuglobsow
- Vogelsang - Lütte
- Vogelsang - Spreewald
- Vogelsang - Niesky
- Spreewald - Niesky
- Spreewald - Melpitz

und andererseits zur Unterstützung der Abschätzung des städtischen Beitrags als Differenzen

- Cottbus - Spreewald
- Cottbus - Vogelsang
- Cottbus - Niesky
- Eisenhüttenstadt - Vogelsang
- Frankfurt (Oder) - Hasenholz
- Frankfurt (Oder) - Vogelsang.

### 6.3.2.2.1 Gradient im Hintergrund

Die Differenzen-Windrosen auf Basis der Hintergrundstationen zu einer möglichen Abschätzung des Gradienten im Hintergrund sind in Abbildung 6-22 für alle Stunden des Jahres 2010 und in Abbildung 6-23 für die Stunden der jeweiligen Überschreitungstage der Stationen der Vollständigkeit halber abgebildet. Formal ist eine solche Differenzbildung relativ einfach möglich. Eine Interpretation ist allerdings sehr schwierig und stellt sich im Fall der Gradienten im Hintergrund auch als nicht zielführend dar, da

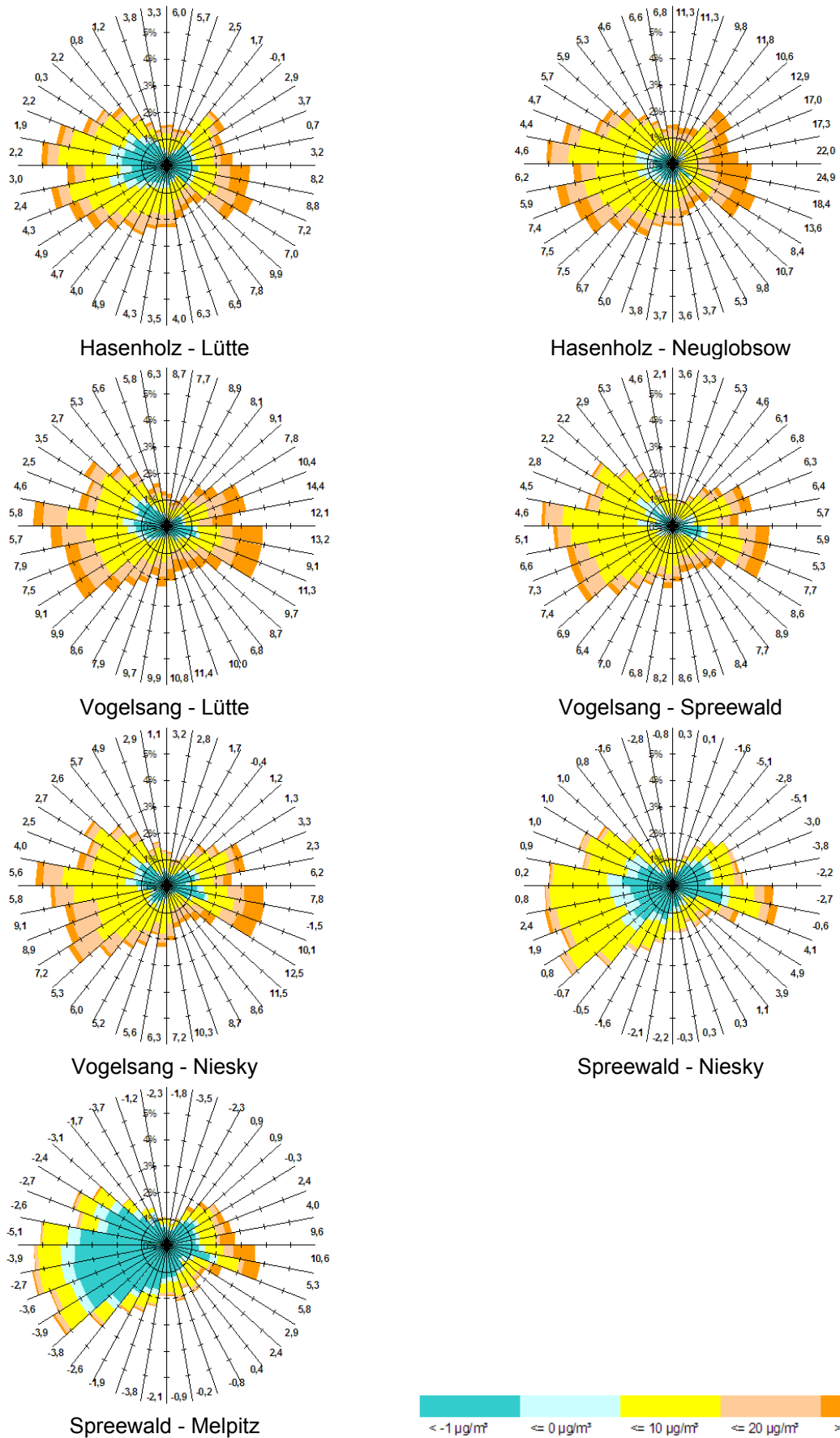
- die Stationen lokal z. T. deutlich verschiedenen Charakteristiken unterliegen, wie z. B. Lütte und Hasenholz
- zwischen den Stationen durchaus nennenswerte Quellgebiete liegen, die die Stationen – je nach Windrichtung – unterschiedlich beeinflussen und, nicht zuletzt,
- bei Differenzen-Windrosen auf Stundenbasis von Stationen, die z. T. bis zu 144 km voneinander entfernt sind, ein von Windrichtung und -geschwindigkeit abhängiger Zeitversatz<sup>3</sup> in den Differenzen zu berücksichtigen ist, dessen Bestimmung einen Aufwand erforderte, der hier aufgrund der sonst genannten Gründe nicht gerechtfertigt ist.

Dennoch zeigen zumindest die Differenzen-Windrosen für die Stunden der Überschreitungstage in Abbildung 6-23 in den dann dominierenden Anströmrichtungen aus 70° - 120° an den jeweils weiter östlich gelegenen Stationen höhere Werte als an den westlicheren. In dieses Bild passend zeigt die Differenzen-Windrose zwischen Vogelsang und Niesky, die in etwa auf dem gleichen Längengrad liegen und durch einen leichten Höhenrücken getrennt sind, ein sehr uneinheitliches Bild mit sehr viel mehr negativen Differenzen und keinem klaren Gradienten.

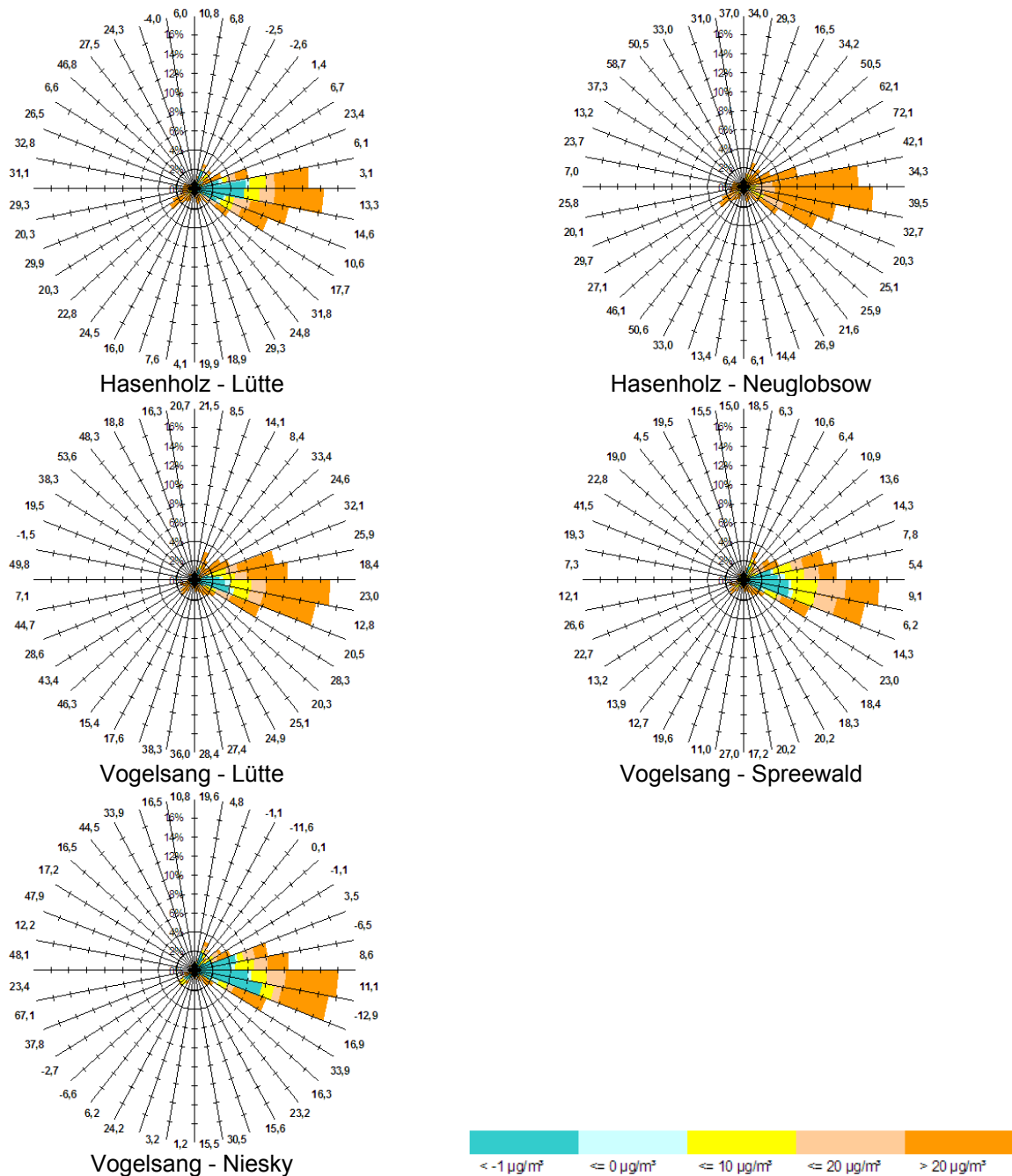
---

<sup>3</sup> Bei einer mittleren Windgeschwindigkeit von 3 m/s sind für 144 km Distanz etwa 13 Stunden erforderlich.





**Abbildung 6-22: PM10-Differenzen-Windrosen für 2010 zur Abschätzung des Gradienten im Hintergrund**



**Abbildung 6-23: PM10-Differenzen-Windrosen für die jeweiligen Überschreitungstage 2010 zur Abschätzung des Gradienten im Hintergrund**

### 6.3.2.2.2 Städtischer Beitrag

Die Differenzen-Windrosen, die zur Abschätzung des städtischen Beitrags aus den städtischen und ländlichen Hintergrundstationen gebildet wurden, sind in Abbildung 6-24 für alle Stunden des Jahres 2010 und in Abbildung 6-25 für die Stunden der jeweiligen Überschreitungstage der Stationen abgebildet.

Obschon ein möglicher Zeitversatz in den Differenzen<sup>4</sup> aufgrund der geringeren Entfernungen hier deutlich weniger zum Tragen kommt, ist auch beim Vergleich der Differen-

<sup>4</sup> Bei einer mittleren Windgeschwindigkeit von 3 m/s sind für die etwa 4 bis 59 km Distanz etwa 20 Minuten bis 5 Stunden erforderlich.

zen-Windrosen der städtischen Hintergrundstationen mit den ländlichen eine Interpretation nur sehr eingeschränkt möglich, da

- zwischen den städtischen Hintergrundstationen und den ländlichen Hintergrundstationen durchaus Quellen liegen können, die die Stationen – je nach Windrichtung – unterschiedlich beeinflussen und insbesondere
- Winde aus den Windrichtungssektoren, in denen die Windrichtung in Bezug auf die geographische Lage der Stationen (s. Abbildung 5-2) eine klassische Luv/Lee-Differenzbetrachtung ermöglichen würde, an den Überschreitungstagen äußert selten vorkommen und damit eine verlässliche Interpretation nicht erlauben.

Zur Verdeutlichung sind in Abbildung 6-25 die jeweils zwei bis vier Sektoren blau markiert, für die eine Luv/Lee-Differenzbildung adäquat ist. Selbst wenn man diese Betrachtungssektoren<sup>5</sup> in ihrer Größe verdoppeln würde, treten darin keine nennenswerten Fallzahlen auf.

Insgesamt lassen sich damit aufgrund der zur Verfügung stehenden Messwerte für die Überschreitungstage keine belastbaren Aussagen zu den städtischen Beiträgen an den Überschreitungstagen treffen.

Überträgt man gedanklich die blauen Sektoren aus Abbildung 6-25 in Abbildung 6-24 für alle Stunden des Jahres 2010, so ist erkennbar, dass auch diese Differenzen-Windrosen in den Sektoren zum großen Teil dünn besetzt sind. Innerhalb der Sektoren finden sich gegenüber den sonst in den jeweiligen Windrosen auftauchenden Differenzen nur bei Frankfurt (Oder)-Vogelsang und bei Eisenhüttenstadt-Vogelsang signifikante Unterschiede, so dass allenfalls diese Stationen für eine Differenzbildung zur Bestimmung des städtischen Beitrags geeignet scheinen, sofern nicht zu wenig Messwerte vorhanden sind. Dass eine Differenzbildung bei diesen Stationen besser möglich ist, dürfte nicht zuletzt auch deren räumlicher Nähe geschuldet sein.

---

<sup>5</sup> Wenn der Winkel zwischen zwei Stationen auf 5er-Schritte gerundet ohne Rest durch 10 teilbar ist, wurden 2 Sektoren ausgewählt (z. B. Cottbus-Spreewald), ansonsten drei (z. B. Cottbus-Vogelsang). Aufgrund der großen Nähe der Stationen wurden bei den Differenzen Eisenhüttenstadt-Vogelsang und Frankfurt (Oder)-Vogelsang die Bereiche auf vier Sektoren verdoppelt.

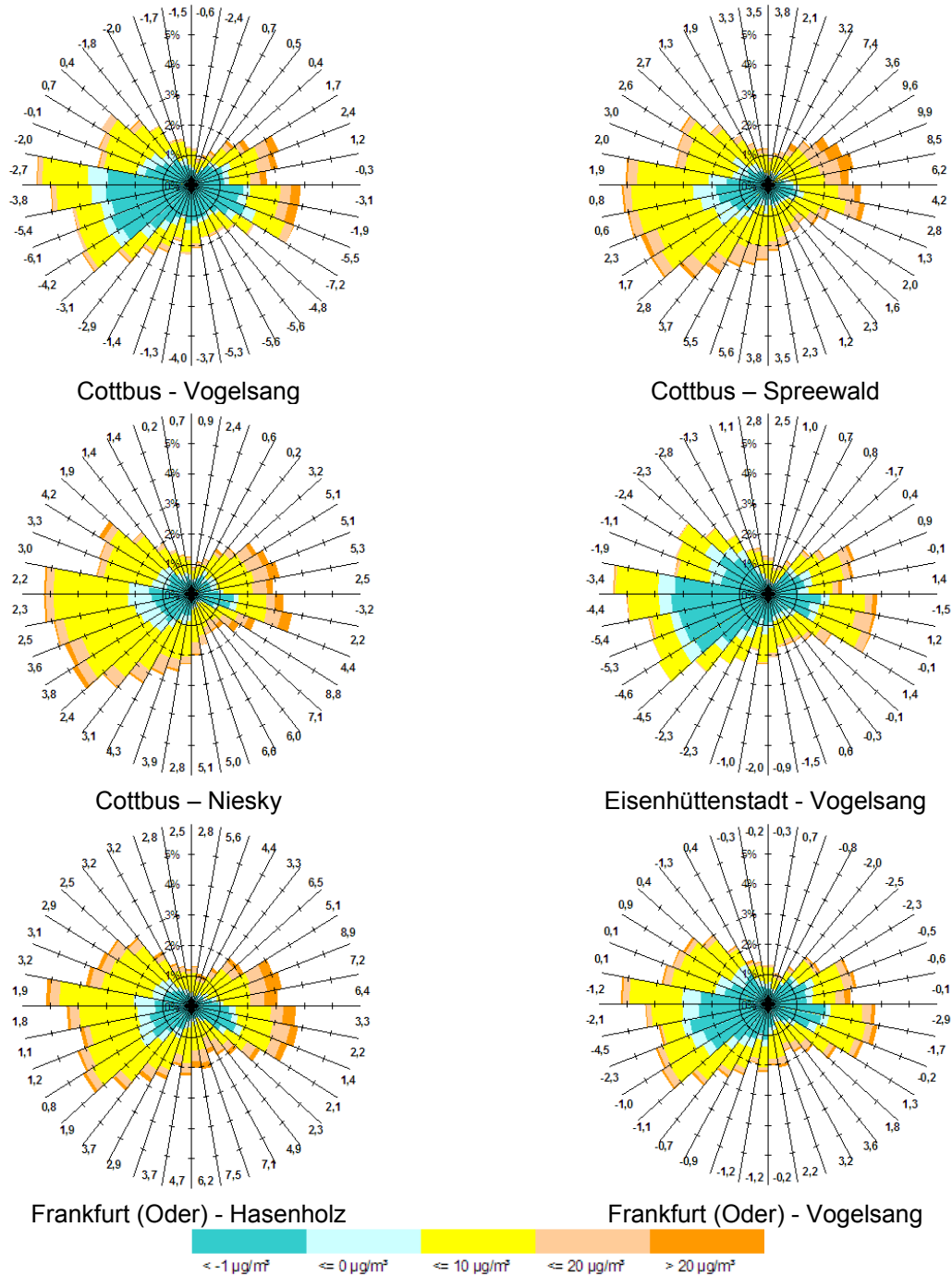
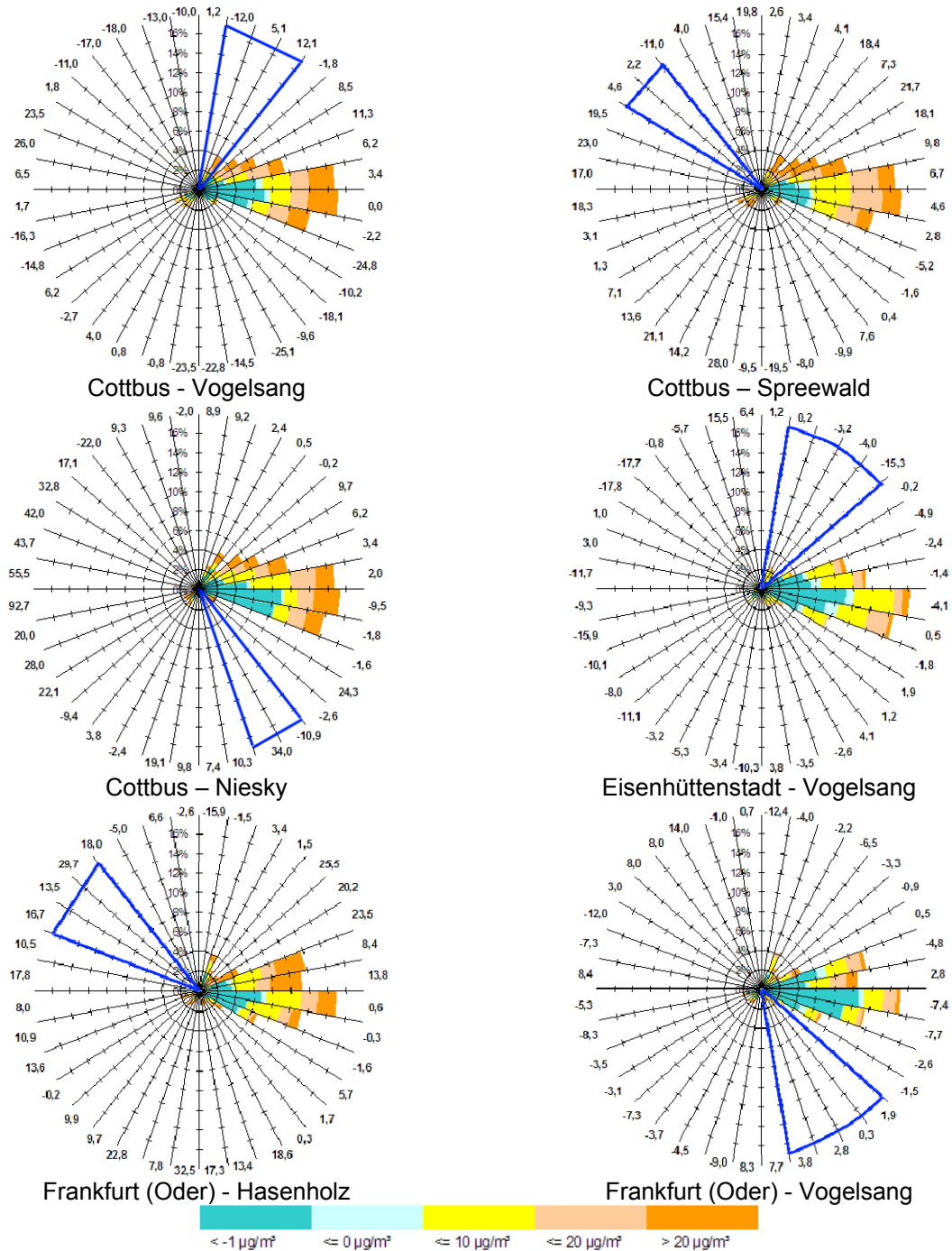


Abbildung 6-24: PM10-Differenzen-Windrosen für 2010 zur Abschätzung des städtischen Beitrags





Blau markiert sind die zwei bis vier Sektoren, für die eine Luv/Lee-Differenzbildung adäquat ist. Wenn der Winkel zwischen zwei Stationen auf 5er-Schritte gerundet ohne Rest durch 10 teilbar ist, wurden zwei Sektoren ausgewählt (z. B. Cottbus-Spreewald), ansonsten drei (z. B. Cottbus-Vogelsang). Aufgrund der großen Nähe der Stationen wurden bei den Differenzen Eisenhüttenstadt-Vogelsang und Frankfurt (Oder)-Vogelsang die Bereiche auf vier Sektoren verdoppelt.

**Abbildung 6-25: PM10-Differenzen-Windrosen für die jeweiligen Überschreitungstage 2010 zur Abschätzung des städtischen Beitrags**

### 6.3.3 Immissionsverhältnisse

Für die Stationen Eisenhüttenstadt, Hasenholz und Cottbus sowie die verkehrsbezogene Messstelle Cottbus lagen jeweils parallele Messungen für PM2.5 und PM10 mit gleichen Messverfahren vor, aus denen sich Verhältnisse von PM2.5 zu PM10 ableiten lassen.

Für die vier Stationen ergeben sich die in Tabelle 6-5 zusammengestellten Parameter hinsichtlich des PM2.5 zu PM10-Verhältnisses, die dort getrennt für die jeweiligen Überschreitungstage der Stationen und alle anderen Tage des Jahres aufgeführt sind. Bei der Station Cottbus Verkehr wurde die Auswertung entsprechend der Überschreitungstage der städtischen Hintergrundstation Cottbus aufgeteilt.

**Tabelle 6-5: Statistische Kenngrößen der PM2.5 zu PM10-Verhältnisse in Eisenhüttenstadt, Hasenholz und Cottbus**

Station	Eisenhüttenstadt	Hasenholz	Cottbus	Cottbus, Verkehr
Messverfahren	kontinuierlich	kontinuierlich	gravimetrisch	kontinuierlich
Minimum jeweilige ÜS-Tage	69 %	79 %	63 %	71 %
Mittel jeweilige ÜS-Tage	91 %	95 %	89 %	86 %
Median jeweilige ÜS-Tage	94 %	96 %	90 %	89 %
Maximum jeweilige ÜS-Tage	98 %	98 %	100 %	93 %
Minimum alle anderen Tage	43 %	32 %	22 %	28 %
Mittel alle anderen Tage	78 %	79 %	76 %	67 %
Median alle anderen Tage	80 %	82 %	77 %	67 %
Maximum alle anderen Tage	100 % *	100 % *	100 % *	100 %

ÜS-Tage: jeweilige Überschreitungstage der Station

\*: diese maximalen Anteile kommen bei tendenziell niedrigen Messwerten vor. So sind in dieser Gruppe alle PM10-Messwerte für Tage mit Anteilen  $\geq 98$  % für Eisenhüttenstadt und Hasenholz  $\leq 18 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und für Cottbus  $\leq 39 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Im Vergleich der jeweils zwei Auswerteperioden für die einzelnen Stationen werden die großen Unterschiede deutlich, die zwischen den mittleren Verhältnissen beider Perioden herrschen. Die Minimal-, Mittel- und Medianwerte sind bei allen Stationen an den Überschreitungstagen deutlich höher als an den übrigen Tagen. Entsprechend den in Abschnitt 4 dargestellten Sachverhalten, sind diese deutlich höheren Werte ein starker Hinweis auf erhöhte Ferntransportanteile an diesen Tagen<sup>6</sup>.

In der folgenden Tabelle 6-6 sind die PM2.5 zu PM10-Verhältnisse für die jeweiligen Überschreitungstage für die vier Stationen Eisenhüttenstadt, Hasenholz und Cottbus sowie die Verkehrsstation Cottbus im Einzelnen dargestellt. Dabei sind Werte  $< 80$  % rot dargestellt.

<sup>6</sup> Hohe Anteile an den Tagen ohne Überschreitung des Tagesgrenzwerts können auch für diese Tage ein Indiz für hohen Ferntransportanteile sein, auch wenn es an den entsprechenden Tagen nicht zu Überschreitungen kommt.

**Tabelle 6-6: PM2.5/PM10-Verhältnisse in Eisenhüttenstadt, Hasenholz und Cottbus an den Überschreitungstagen**

Datum	Eisenhüttenstadt	Hasenholz	Cottbus	Cottbus Verkehr
06.01.10	95%	96%	91%	90%
07.01.10		97%		
08.01.10			85%	88%
12.01.10	93%	95%	88%	89%
13.01.10	95%	98%	89%	92%
14.01.10	96%	97%	85%	90%
15.01.10	94%		90%	91%
16.01.10	95%	97%	85%	92%
17.01.10	96%	96%		
18.01.10		98%		
19.01.10	95%	96%		
20.01.10	96%	96%	87%	90%
21.01.10		96%	91%	84%
22.01.10	94%	95%	84%	85%
23.01.10	93%	96%	90%	89%
24.01.10	94%	95%	91%	89%
25.01.10	92%	96%	88%	87%
26.01.10	89%	96%	91%	84%
27.01.10		93%	90%	73%
05.02.10	95%	97%		
06.02.10	95%	96%	90%	90%
07.02.10	90%	94%	86%	81%
09.02.10	93%	96%	91%	84%
10.02.10	95%	96%	95%	90%
11.02.10	92%	96%	93%	91%
16.02.10	96%	96%	94%	85%
17.02.10	90%	95%	95%	90%
18.02.10	96%	97%	93%	89%
19.02.10	94%	96%		
09.03.10	69%		63%	71%
10.03.10	76%		73%	75%
11.03.10	85%	97%	77%	72%
25.03.10	77%			
08.10.10	81%		87%	80%
09.10.10	81%		88%	
10.10.10	80%			
31.10.10	90%	90%		
01.11.10	82%	92%		
02.11.10	94%	91%	91%	78%
07.12.10			99%	91%
08.12.10	95%		99%	93%
19.12.10	96%	97%		
21.12.10	94%	94%	96%	86%
22.12.10	95%	97%	91%	91%
23.12.10		79%	86%	87%
28.12.10	96%			
29.12.10	98%		100%	91%
30.12.10		96%	92%	92%

Eine Auswertung der jeweiligen Verhältnisse der PM10-Messwerte an den städtischen Hintergrundstationen und den Verkehrsstationen in Frankfurt (Oder) und Cottbus war nicht sinnvoll möglich, da dort jeweils Ergebnisse verschiedene Messverfahren (kontinuierlich und gravimetrisch) miteinander in Beziehung gesetzt werden müssten und dies laut Auskunft des LUGV nicht ohne weiteres sinnvoll möglich ist.

### 6.3.4 Großräumige Belastungssituation

Um eine bessere Vorstellung der räumlichen Verteilung der PM10-Belastung an den 48 Kalendertagen mit Überschreitungen des PM10-Tagesgrenzwerts an mindestens einer der fünf Stationen zu erhalten, wurden für diese Tage die in und um Brandenburg verfügbaren Messwerte aller Stationen, die in der UBA-Stationsdatenbank (UBA, 2010) bezüglich der „Art der Station“ nicht als „Verkehr“ klassifiziert sind, mit der Methode der Optimalen Interpolation (OI) gemäß Flemming & Stern (2004) in flächendeckende Konzentrationsfelder für Brandenburg interpoliert. In der hier verwendeten OI-Methodik werden als „first guess“ die mit dem RCG-Modell (s. Abschnitt 6.6) berechneten Hintergrundfelder verwendet. Abbildung 6-26 bis Abbildung 6-33 zeigen diese PM10-Belastungsfelder als Ergebnisse der OI-Interpolation in einem Raster von  $1/8^\circ$  Länge auf  $1/16^\circ$  Breite, was in etwa  $7 \cdot 7 \text{ km}^2$  entspricht. In diese Abbildungen wurde jeweils als kleiner schwarzer Punkt zur besseren Orientierung die ungefähre Lage der fünf Stationen eingetragen. Die Stationslage ist bewusst nicht exakt, weil die dargestellten Situationen nicht für punktbezogene, sondern für großräumigere Auswertungen erstellt sind. Da die OI-Interpolationsmethode nicht stützstellentreu ist und damit hohe Einzelwerte geglättet werden können, finden sich in den flächenhaften Darstellungen auch die gemessenen Werte aus Tabelle 2-2 nicht unbedingt wieder.

Die Abbildungen zeigen zunächst deutlich, dass an vielen der insgesamt 48 Überschreitungstage des Belastungsniveau in ganz Brandenburg und den angrenzenden Bundesländern sehr hoch ist und z. T. großflächige Bereiche mit interpolierten Tagesmittelwerten  $> 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  auftreten. In einer differenzierteren Betrachtung lassen sich verschiedene Belastungsmuster ausmachen.

Auffallend sind dabei zunächst die Tage, in denen große Teile Ostdeutschlands mit über  $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$  hoch, große Teile Brandenburgs mit über  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sehr hoch und Ostbrandenburg großflächig mit über  $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$  belastet sind, wie z. B. die Tage vom 24.-27.1. und der 10.2.2010. Dabei nehmen die Konzentration von Ost nach West und von Süd nach Nord ab, und die Klassengrenzen verlaufen grob von Südwesten nach Nordosten.

In ähnlicher Form, allerdings bei einem niedrigeren Schadstoffniveau, gilt dies auch für die – teilweise daran anschließenden – Tage 15.-16.1., 23.1., 9.2., 11.2., 11.3, 2.11., 7.-8.11., 22.-23.12. sowie 29.12.2010.

Als weitere Gruppe gibt es Situationen, in denen bei insgesamt geringerem Belastungsniveau die Konzentrationen von Nord nach Süd zunehmen, so dass die Klassengrenzen tendenziell waagrecht von West nach Ost oder gar von Nordwest nach Südost verlaufen. Dies ist deutlich vom 17.-20.1. zu erkennen, findet sich aber auch am 5.2. und, in extremer Form, am 28.12.2010.

Als mehrfach auftretende Situation finden sich auch hohe Belastungen in (Süd-)Ost-Brandenburg mit geringeren Werten nördlich und südlich davon sowie gleichzeitig westlich leicht erhöhten Werten. Dies ist z. B., auf insgesamt hohem Niveau, am 6.1., 17.-18.2.2010 der Fall und auf geringerem Niveau am 9.2., 9.-10.3., 25.3., 8.-10.10., 31.10.-1.11., 19.12., 21.12.2010.

Zusätzlich gibt es vereinzelt auftretende Situationen, wie z. B. den 6.-7.2. oder den 30.12.2010, an denen die Konzentrationen in Westbrandenburg und Sachsen-Anhalt höher sind als in Ostbrandenburg.

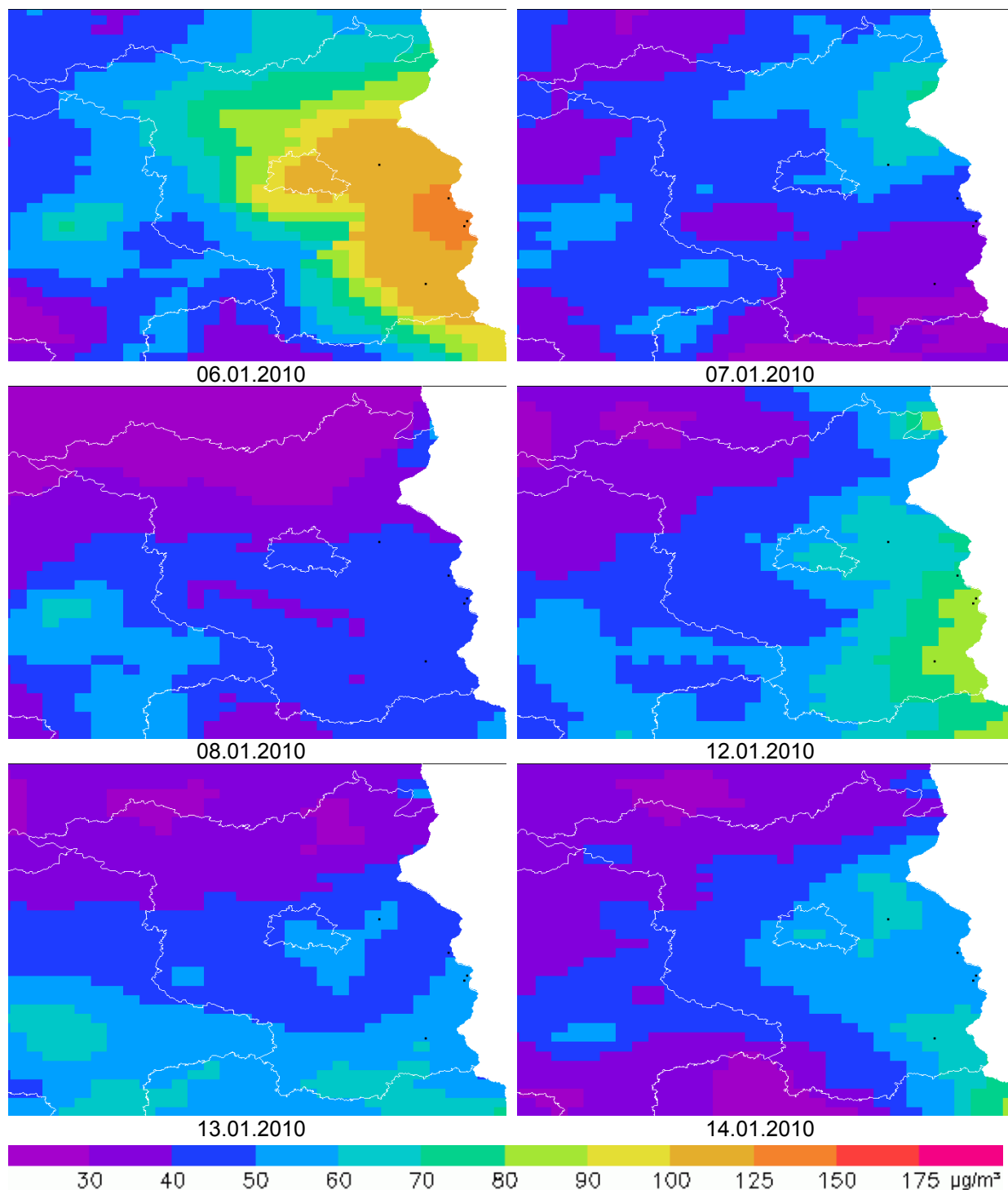
Zusammenfassend ist festzustellen, dass die großräumige Belastungssituation an den Überschreitungstagen auf einem hohen Niveau liegt, sich dabei aber differenziert dar-



stellt und durchaus auch während einer längeren Periode von aufeinanderfolgenden Überschreitungstagen wie vom 12.-27.1. oder 5.-11.2. eine gewisse Variation aufweist.

Der zeitliche Verlauf der Messwerte an den fünf Stationen (s. Abschnitt 6.3.1) lässt sich auch in der zeitlichen Abfolge der großräumigen Messdatensituation wiederfinden. Dies zeigt sich z. B. deutlich bei den großräumig auftretenden, aber schwankenden Belastungen vom 12.-16.1., gefolgt von dem großflächigen Absinken der Belastungen am 17. und 18.1. (an dem nur noch die am nördlichsten gelegene Station Hasenholz eine Überschreitung aufweist) und dem darauf folgenden großflächigen starken Anstieg bis zur Belastungsspitze am 26.1. sowie dem anschließenden Absinken der Werte.

Auch andere Zeitabschnitte, wie z. B. die knappen Überschreitungen am 5.-7.2., der „überschreitungsfreie 8.2., gefolgt von dem starken Anstieg zum 10.2. und dem anschließenden starken Absinken lassen sich als großräumige Phänomene beobachten. Als letztes Beispiel sei hierzu der Zeitabschnitt ab dem 19.12. (an dem allein die südlichste Station Cottbus keine Überschreitung aufweist) genannt, dem überschreitungsfreien 20.12. und dem darauf folgenden Anstieg bis zum 23.12.2010.



**Abbildung 6-26: Großräumige PM10-Belastung als OI-Interpolation von Messwerten (Teil 1)**

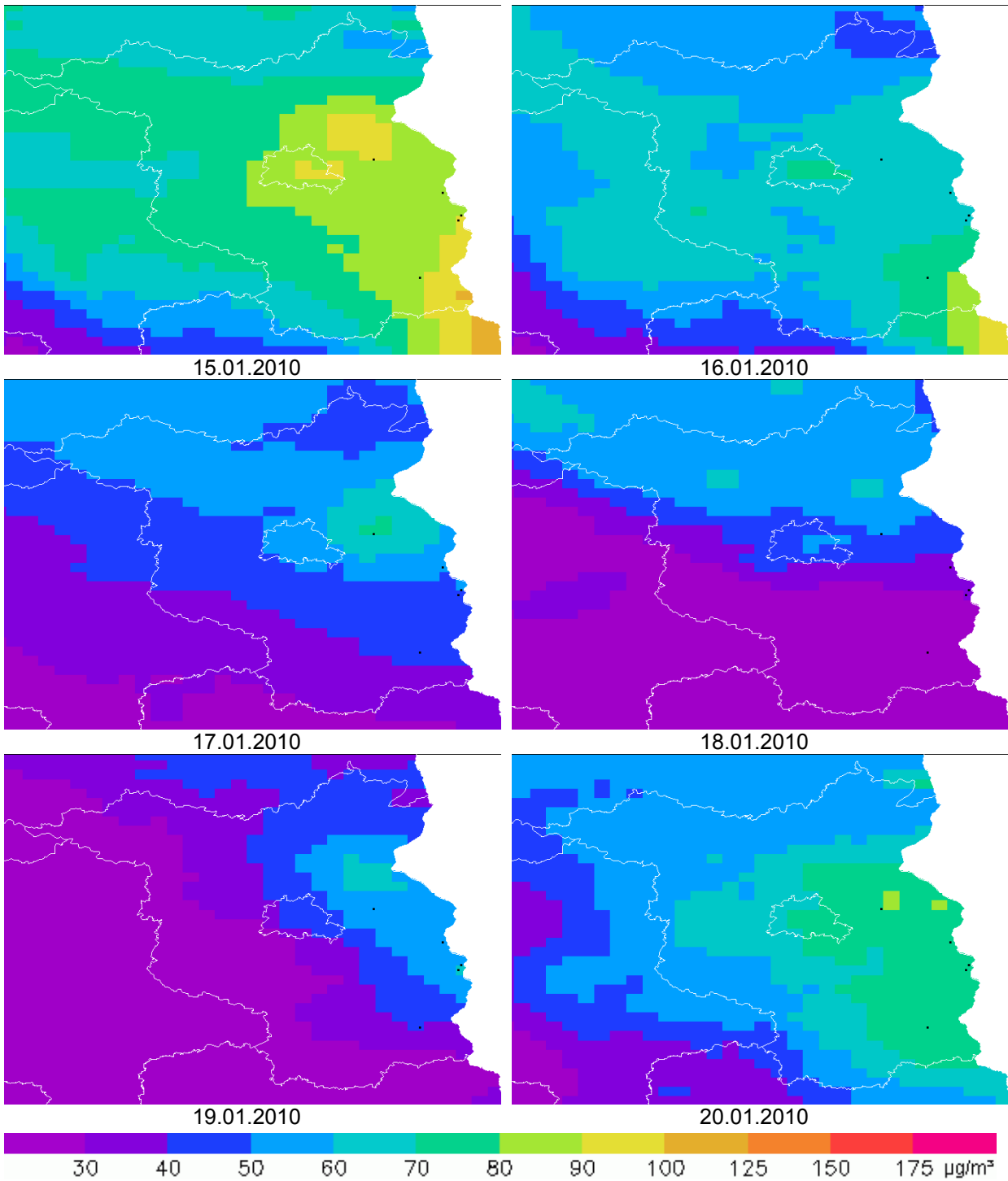
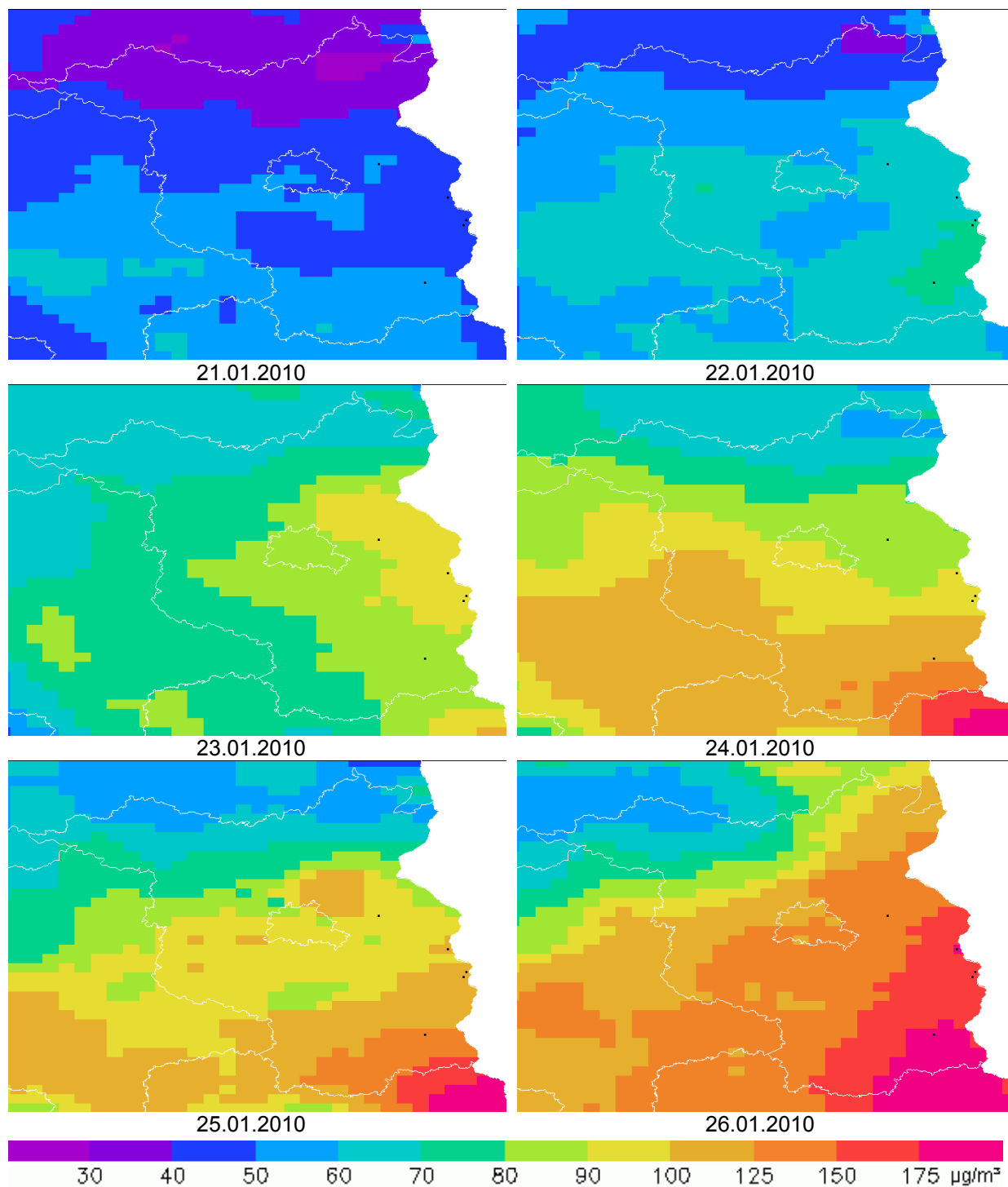


Abbildung 6-27: Großräumige PM10-Belastung als OI-Interpolation von Messwerten (Teil 2)



**Abbildung 6-28: Großräumige PM10-Belastung als OI-Interpolation von Messwerten (Teil 3)**

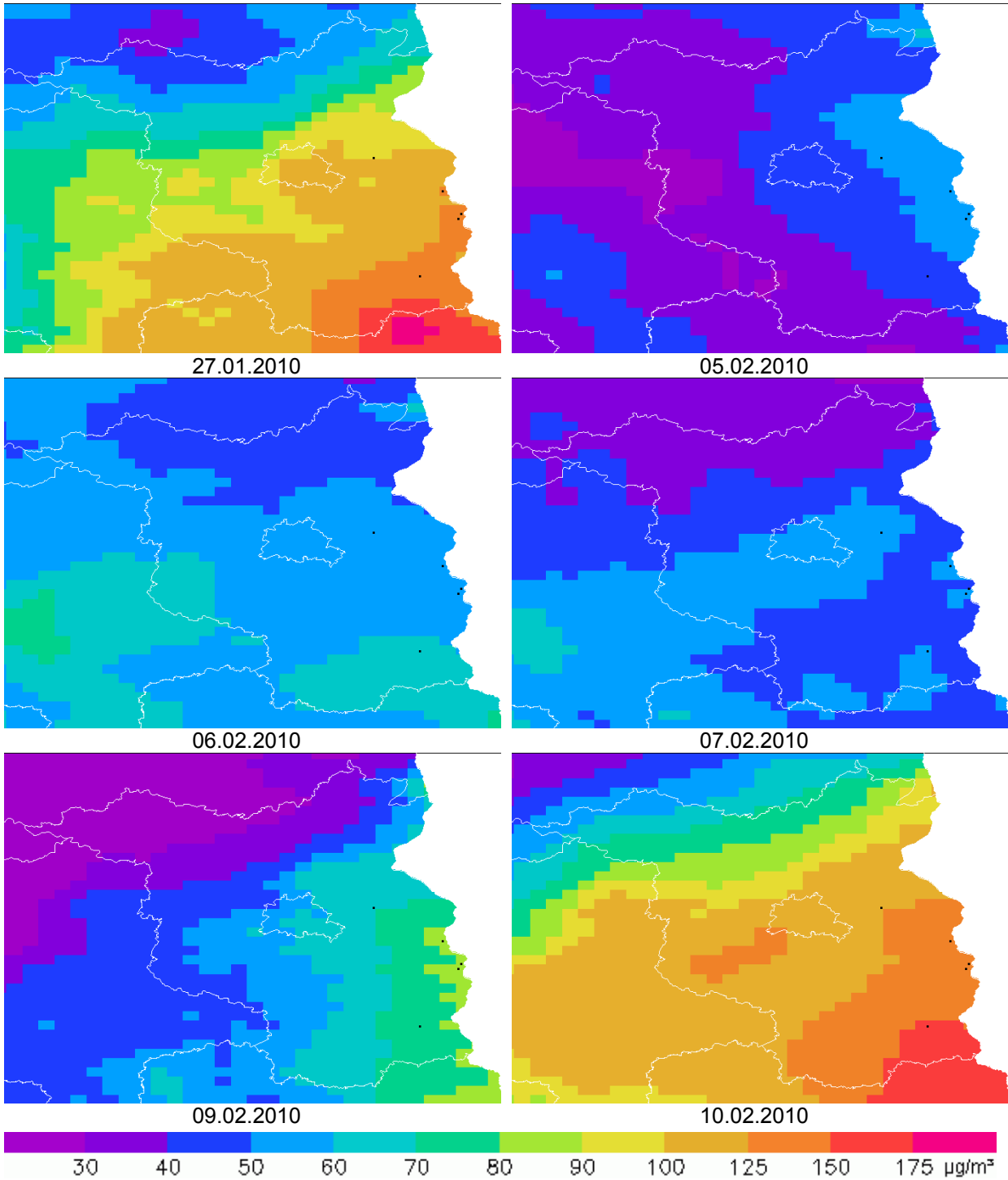
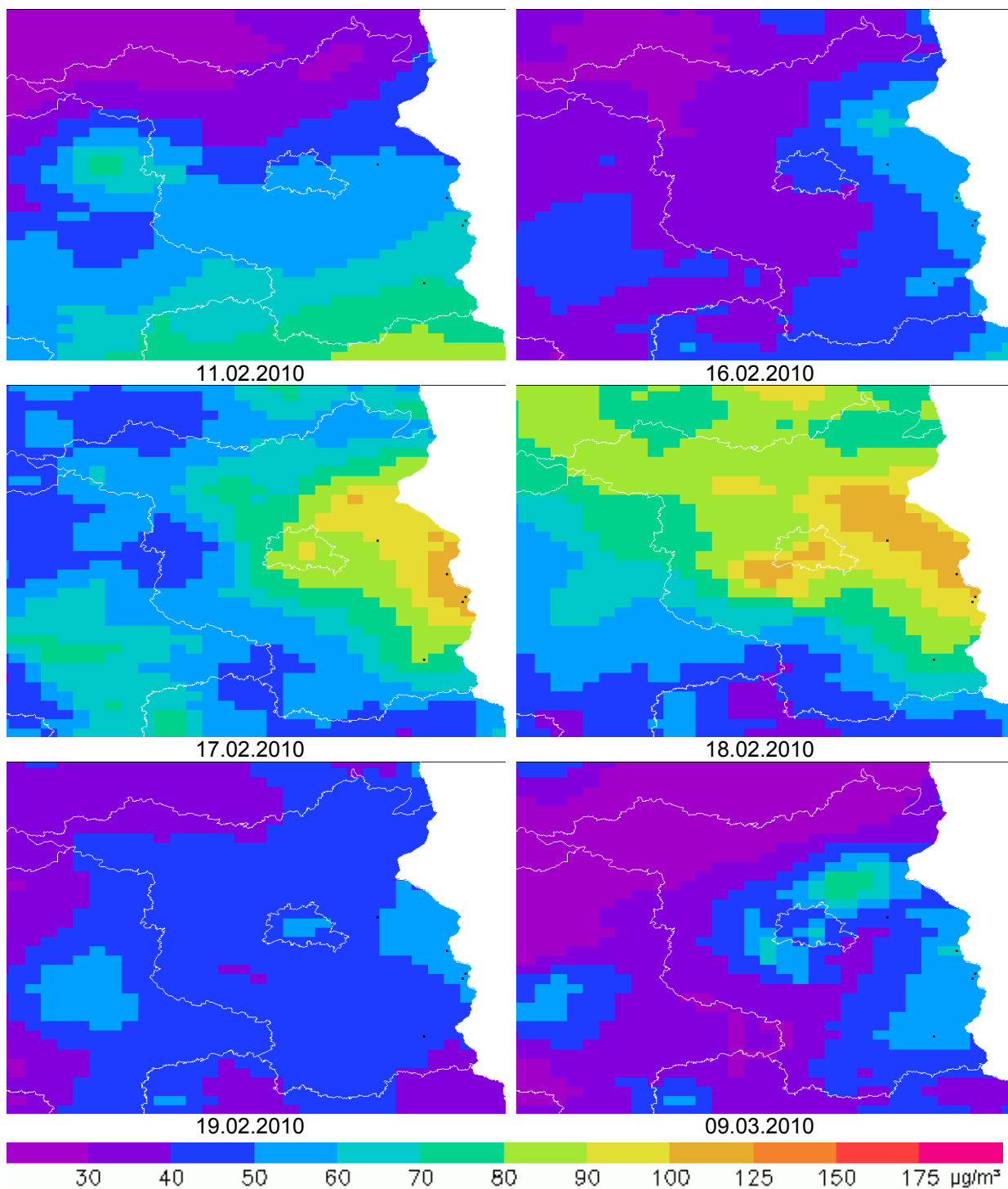


Abbildung 6-29: Großräumige PM10-Belastung als OI-Interpolation von Messwerten (Teil 4)





**Abbildung 6-30: Großräumige PM10-Belastung als OI-Interpolation von Messwerten (Teil 5)**

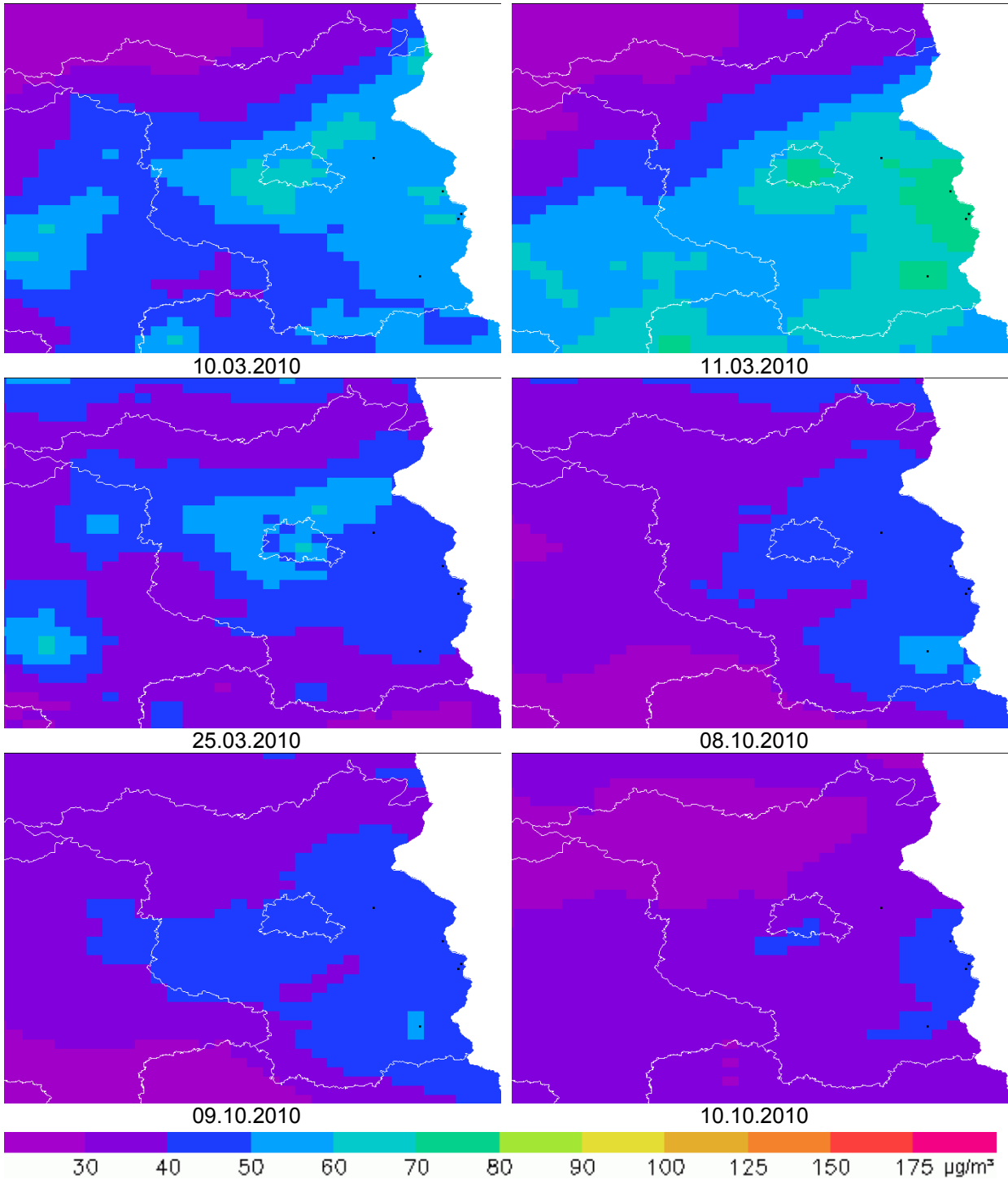
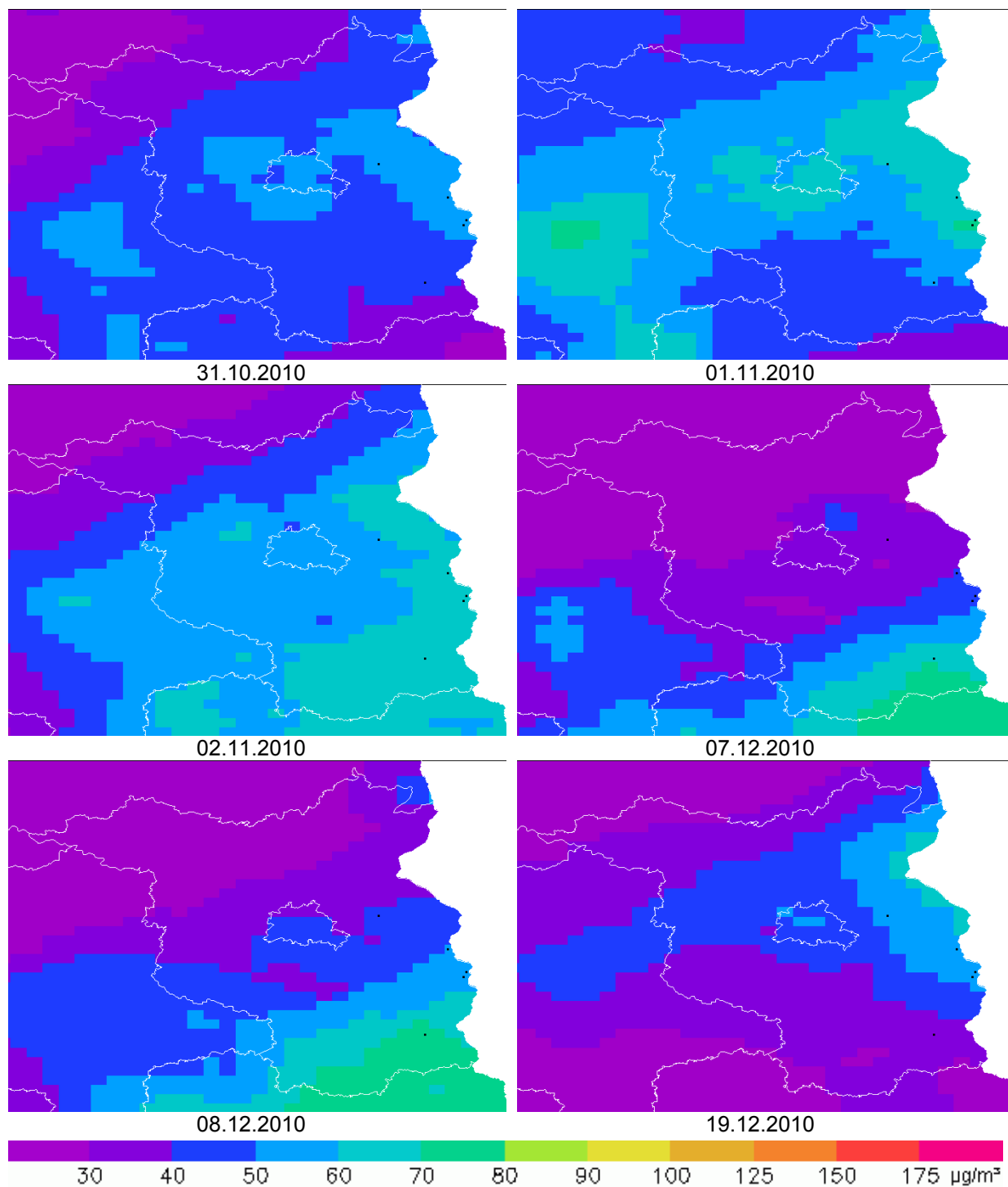


Abbildung 6-31: Großräumige PM10-Belastung als OI-Interpolation von Messwerten (Teil 6)



**Abbildung 6-32: Großräumige PM10-Belastung als OI-Interpolation von Messwerten (Teil 7)**

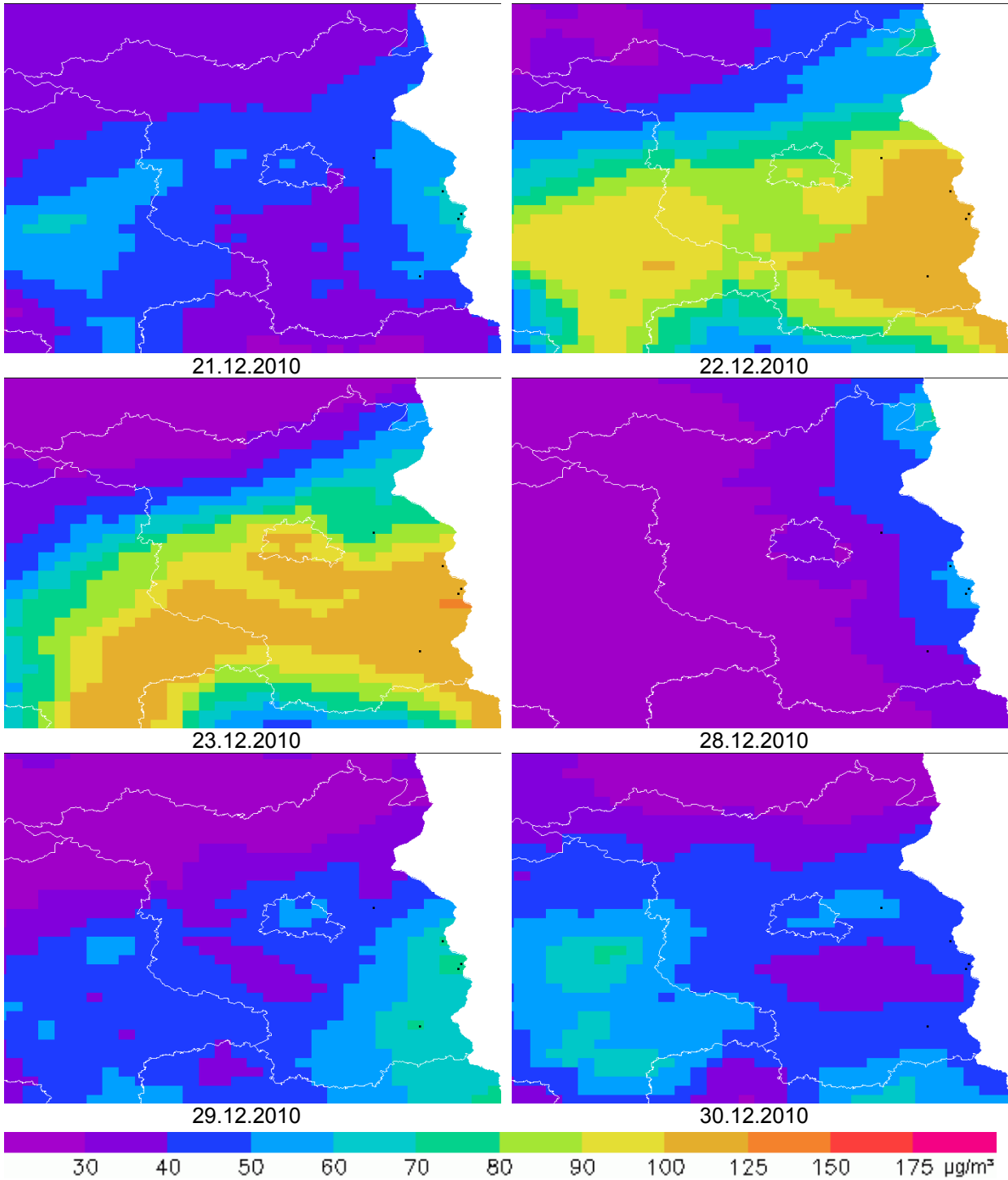


Abbildung 6-33: Großräumige PM10-Belastung als OI-Interpolation von Messwerten (Teil 8)

#### **6.4 Klassifizierung bezüglich Einfluss des Ferntransports**

Als Zusammenfassung der bisher dargestellten Datenlage und der darauf basierenden Analysen der Literatur, der Wetterlage, der Trajektorien, der Messdaten sowie der großräumigen Belastungssituation ergibt sich folgendes Bild.

Schon aus der Klassifikation der Wetterlagen für die einzelnen Zeitabschnitte in Abschnitt 6.1 ergeben sich deutliche Hinweise für zahlreiche Tage, an denen mit hohen Ferntransportanteilen an den gemessenen Werten zu rechnen ist. Die 3D-Rückwärtstrajektorien aus Abschnitt 6.2 bzw. Anhang A bieten ebenfalls an vielen Tagen ein deutliches Bild zum Luftmassentransport, der sich häufig als stabile Situation mit östlichen Anströmungen zeigt. Gleichzeitig wird dort auch erkennbar, dass es durchaus Tage bzw. Zeitabschnitte mit Winddrehungen gibt, an denen die Trajektorien in den letzten Stunden vor Erreichen der jeweiligen Station durchaus bodennah aus anderen Richtungen kommen, als die Verläufe der jeweils vorigen zwei bis drei Tage anzeigen.

Der in Abschnitt 6.3.1 dargelegte sehr homogene Verlauf der Messzeitreihen an den untersuchten Stationen, die bis zu fast 100 km voneinander entfernt sind, ist prinzipiell ein deutliches Indiz dafür, dass die Belastungen stark durch großräumigere Transportphänomene beeinflusst sind und die in diesen Zeiträumen gemessenen Spitzenkonzentrationen daher nur in einem geringen Umfang durch lokale Quellen im Umfeld der Stationen hervorgerufen werden.

Aus der windrichtungsabhängigen Betrachtung auf Basis von Schadstoffwindrosen in Abschnitt 6.3.2 wird deutlich, dass an den Überschreitungstagen Bedingungen vorherrschen, die sich deutlich von den über das ganze Jahr geltenden unterscheiden, und dass die hohen Belastungen an den Überschreitungstagen vorwiegend bei (süd-)östlichen Anströmrichtungen auftreten.

Die in Abschnitt 6.3.3 untersuchten PM<sub>2.5</sub> zu PM<sub>10</sub>-Verhältnisse zeigen für die Überschreitungstage im Vergleich zu den übrigen Tagen ein deutliches Bild, das für alle Überschreitungstage auf große und für die meisten auf sehr große Ferntransportanteile hindeutet.

Die Analyse der großräumigen Belastungssituation in Abschnitt 6.3.4 zeigt, dass an den meisten Überschreitungstagen generell in Ostdeutschland und insbesondere in Ostbrandenburg großräumig hohe Belastungen auftreten.

Ergänzend belegen Auswertungen zu Feinstaubepisoden 2010 in Deutschland an anderer Stelle, z. B. in UBA (2012), deutlich die klare Klassifikation als durch Ferntransport dominierte Überschreitungstage für den Großteil der hier vorkommenden Überschreitungstage. Ebenso finden sich in den, auf z. T. anderen Ansätzen und Datenquellen basierenden, Auswertungen in LUGV (2011b) Klassifikationen in Tage mit dominierendem Ferntransportanteil.



Stellt man diese Erkenntnisse für die einzelnen Tage zusammen, ergibt sich eine erste Klassifikation der Überschreitungstage bezüglich des Einflusses des Ferntransports in Tabelle 6-7. Dabei wurden die vorliegenden Daten und Analysen dahingehend aggregiert, dass die einzelnen Tage bezüglich der einzelnen Datenquellen jeweils pauschal in eine der Stufen

- „++“ für starke Hinweise auf „durch Ferntransport verursacht“,
- „+“ für Hinweise auf „durch Ferntransport verursacht“
- „0“ für indifferent bzw. keine Aussage möglich, d. h. es gibt weder Hinweise auf „durch Ferntransport verursacht“ noch auf „nicht durch Ferntransport verursacht“,
- „-“ für Hinweise auf „zu relevanten Anteilen lokal/regional verursacht“

eingeteilt wurden. In dieser Klassifizierung ist als Weiterführung auch noch die Stufe

- „--“ für Hinweise auf „vorwiegend lokal/regional verursacht“

denkbar, die sich aber auf Basis der bis zu dieser Stelle analysierten Daten nicht vergeben lässt.

In einem weiteren Schritt wurden die vorhandenen Klassifikationen jeweils für die einzelnen Überschreitungstage ungewichtet aus den allgemeinen und den stationspezifischen Klassifizierungen aggregiert.

Diese Zusammenstellung macht deutlich, dass die verschiedenen Ansätze erwartungsgemäß teilweise zu unterschiedlichen Einschätzungen führen, da sie sich auf unterschiedliche Aspekte stützen, und damit alle ihre Berechtigung haben. In der Zusammenschau ergeben sich auf dieser Basis deutliche Hinweise, dass an einen überwiegenden Anteil der Tage der Ferntransport die relevante Ursache für die jeweilige Überschreitung ist.

**Tabelle 6-7: Klassifizierung bezüglich Einfluss des Ferntransports 1**

Datum	Hinweis auf Ferntransport-Einfluss in ...										Aggregierte Klassifikation				
	Meteo	Trajek-torien	FT Verk.	Lit./UBA	PM2.5 PM10	Messdaten/großräumige Situation					Vo	Ei	Fr	Ha	Co
06.01.10	+	+	+	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
07.01.10	o	-	o	++	++				+					+	
08.01.10	o	o	o	++	++	o				o	+				+
12.01.10	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
13.01.10	++	++	++	++	++	+	+		+	+	++	++		++	++
14.01.10	++	++	++	++	++	++	++		++	++	++	++		++	++
15.01.10	++	++	++	++	++	++	++	++		++	++	++	++		++
16.01.10	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
17.01.10	++	++	+	++	++	+	+		+		++	++		++	
18.01.10	+	-	o	++	++				+					+	
19.01.10	+	o	o	++	++	++	++	++	++		+	+	+	+	
20.01.10	+	+	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
21.01.10	++	++	++	++	++				o	o				++	++
22.01.10	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
23.01.10	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
24.01.10	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
25.01.10	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
26.01.10	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
27.01.10	++	++	o	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
05.02.10	o	++	+	+	++	++	++	++	++		+	+	+	+	
06.02.10	o	++	++	++	++	+	+	+	+	+	++	++	++	++	++
07.02.10	o	++	++	++	++	o	o	o	o	o	+	+	+	+	+
09.02.10	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
10.02.10	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
11.02.10	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
16.02.10	+	o	+	++	++	++	++	++	++	++	+	+	+	+	+
17.02.10	+	o	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
18.02.10	+	+	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
19.02.10	o	o	++	++	++	+	+	+	+		+	+	+	+	
09.03.10	+	++	++	++	+		++	++		++		++	++		++
10.03.10	+	++	++	++	+	++	++	++		++	++	++	++		++
11.03.10	+	++	+	++	+	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
25.03.10	+	+	o	++	+		+					+			
08.10.10	++	++	++	o	++		++			++		++			++
09.10.10	++	++	++	o	++		++			+		++			++
10.10.10	++	++	o	o	++		++	++				+	+		
31.10.10	o	+	++	++	++	++	++	++	++		++	++	++	++	
01.11.10	o	+	+	++	++	++	++	++	++		+	+	+	+	
02.11.10	o	-	o	++	++	++	++	++	++	++	+	+	+	+	+
07.12.10	+	+	++	++	++					++					++
08.12.10	+	++	++	++	++	+	++	++		++	++	++	++		++
19.12.10	o	o	++	o	++	++	++	++	++		+	+	+	+	
21.12.10	+	o	o	++	++	++	++	++	++	++	+	+	+	+	+
22.12.10	+	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
23.12.10	+	++	++	++	+	++		++	++	++	++		++	++	++
28.12.10	+	+	o	+	++	++	++	++			+	+	+		
29.12.10	+	+	o	++	++	++	++	++		++	+	+	+		+
30.12.10	+	o	o	++	++				o	o				+	+

Klassifikation nach Hinweisen auf Ferntransport allgemein für alle Überschreitungstage und für die Überschreitungstage der einzelnen Stationen auf Basis verschiedener Datengrundlagen:  
 ++ = starke Hinweise, + = Hinweise, o = keine Hinweise auf "durch Ferntransport verursacht"  
 - = Hinweise auf "zu relevanten Anteilen lokal/regional verursacht"  
 leere Zellen: kein Überschreitungstag an der Station; Meteo: Klassifikation der Wetterlagen; Trajektorien: 3D-Trajektorien; FT-Verk.: Klassifizierung Brandenburg für Verkehrsstationen; Lit/UBA: Literaturlauswertung bzgl. der Situation 2010 bzw. UBA Episodentage; PM2.5/PM10: PM2.5 zu PM10-Verhältnis

## 6.5 Einflussmatrizen

Auf Basis der Trajektorienberechnungen lassen sich weitergehende aggregierende Analysen erstellen, in dem die Trajektorien mit großräumigen Konzentrationsfeldern kombiniert und mit den jeweiligen lokalen Immissionen zeitabhängig in Beziehung gesetzt und sogenannte Einflussmatrizen erstellt werden. Dazu werden für alle Beobachtungsorte über Rückwärtstrajektorien die Quellmatrizen berechnet, die bezogen auf einen bestimmten Mittelwert die möglichen Quellregionen für PM10 aufzeigen.

Im betrachteten mitteleuropäischen Areal wird ein Raster von ca.  $1 \cdot 1\text{-km}^2$  Maschenweite aufgespannt. Für jedes Raster und ein Höhenintervall von 0 bis 50 m über Grund und/oder unterhalb der Mischungsschichthöhe werden die 3D-Trajektorien auf Bodenkontakte hin abgefragt. Diese Prozedur wird für jeden Zeitschritt durchgeführt. Der Zeitschritt für diese Berechnungen beträgt 10 Minuten, um eine höhere räumliche Auflösung und eine statistisch validere Aussage zu erhalten, als bei der Verwendung von stündlichen Trajektorien. Bei der Abfrage nach Bodenkontakten ist eine weitere Interpolation auf Sekundenintervalle notwendig, um eine bessere Zeitauflösung für die direkte Abfrage im Sinne eines Integrals zu erhalten. Die 3D-Trajektorien sind je nach Temperaturstruktur und Tageszeit nur zeitweise mit der Bodenschicht in Kontakt, so dass sich eine wetterabhängige räumliche Trefferhäufigkeit ergibt. Aus diesem Vorgehen resultiert für den jeweils betrachteten Zeitraum eine Bodenkontaktmatrix, die witterungsabhängig ist und für jede Station eine eigene Form aufweist.

Aus den Zeitreihen der PM10-Werte wird jeder Trajektorie stündlich der entsprechende Konzentrationswert der untersuchten Station zum Ankunftszeitpunkt der Trajektorie an der Station zugeordnet und bei Kontakt mit einem Bodenraster jeweils direkt für jede Rasterzelle aufsummiert. Daraus ergibt sich eine Konzentrationssumme, die eine Wichtung des Trajektorienkontaktes mit der Immissionsstärke und der Kontakthäufigkeit verbindet, aus denen für jede  $1\text{-km}^2$ -Rasterzelle eine mittlere Konzentration bestimmt wird. Diese Konzentrationen sind nur dann hoch, wenn überwiegend Trajektorienkontakte mit hohen Immissionswerten zusammentreffen.

In den so entstehenden Abbildungen sind die Rasterinformationen in Perzentilstufen eingefärbt, wobei die gesamte Matrix betrachtet wird. Die einzelnen Konzentrationswerte geben die mittlere PM10-Konzentration am Startort an, die über Trajektorien mit dem jeweiligen Raster verbunden sind. Je nach Windrichtung ergibt sich eine anisotrope Struktur, die einer räumlichen Kovarianzfunktion ähnlich ist.

In aller Kürze könnte man diese Einflussmatrizen auch als räumlich erweiterte Schadstoffwindrosen (s. Abschnitt 6.3.2.1) bezeichnen. Gegenüber den Schadstoffwindrosen, die die Messungen nur mit den jeweils lokalen Windrichtungen in Beziehung setzen<sup>7</sup>, verbinden diese Einflussmatrizen die gemessenen Konzentrationen mit großräumigen meteorologischen Verhältnissen und ermöglichen eine Identifikation von Regionen, die einen hohen Einfluss auf die gemessenen Konzentrationen haben. Die hohen Matrixwerte zeigen mögliche Quellgebiete hoher Emissionen oder auch sekundärer Produktion entlang der Trajektorien. Wenn diese Areale außerhalb Brandenburgs liegen, ist dies ein starkes Indiz für Ferntransport nach Brandenburg.

<sup>7</sup> Gerade diese Berücksichtigung rein lokaler Windrichtungen führt bei Winddrehungen zu den in Abschnitt 6.3.2.1.2 diskutierten Einzelfällen mit kurzzeitig sehr hohen Belastungen aus Richtungen, in denen sich keine Quellen identifizieren lassen.

Zur besseren Beurteilung der Gesamtsituation wurden solche Einflussmatrizen nicht nur für die fünf hier untersuchten Hintergrundstationen erstellt, sondern auch für die fünf weiteren, in Abbildung 5-2 dargestellten, ostdeutschen Hintergrundstationen

- Neuglobsow in Nordbrandenburg,
- Lütte in Westbrandenburg,
- Spreewald nordöstlich von Cottbus,
- Melpitz in Nordsachsen und
- Niesky in Nordostsachsen.

In Abbildung 6-34 bis Abbildung 6-43 finden sich für die insgesamt 10 Stationen jeweils vier Darstellungen. Links finden sich die beschriebenen Einflussmatrizen jeweils für alle Stunden des Jahres (oben) und für alle Stunden mit PM10-Messwerten  $> 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (unten) sowie rechts davon jeweils die entsprechenden aufsummierten Bodenkontakte.

Die Einflussmatrizen sind in relativen Farbklassifizierungen dargestellt, um die räumliche Struktur zu verdeutlichen, und daher spiegeln die Farbwerte in den einzelnen Abbildungen unterschiedliche absolute Konzentrationen wider. Die Häufigkeiten der Bodenkontakte sind ebenso als relative Zahlen in Perzentilstufen dargestellt. Zur besseren Übersicht zeigen die Abbildungen nicht jede der ca.  $1 \cdot 1\text{-km}^2$  großen Zellen, sondern sowohl in x- als auch in y-Richtung nur jede fünfte Zelle.

Bei der Interpretation der Einflussmatrizen ist darauf zu achten, dass hoch belastete Zellen nicht direkt bedeuten, dass an diesen Stellen hoch emittierende Quellen liegen. Zunächst bedeuten sie nur, dass im Mittel über alle Bodenkontakte aller Trajektorien in dieser Zelle hohe Messwerte mit den Trajektorien verknüpft sind, die in dieser Zelle Bodenkontakt hatten. So können einzelne hoch belastete Zellen, z. B. mitten in der Nordsee, auch dadurch hervorgerufen werden, dass wenige Trajektorien zwar hier Bodenkontakt hatten, aber erst in ihrem weiteren Verlauf, u. U. kurz vor der Messstation, mit lokal hohen Belastungen zusammentreffen und damit eher singuläre Ereignisse abbilden. Das gilt auch bei der Interpretation *einzelner* Rasterfelder mit hohen Konzentrationen und häufigen Bodenkontakten.

Die zugeordneten Konzentrationen in der Nähe der Startorte sind generell hoch, da die Trajektorien im direkten Umkreis des Startpunktes natürlich einen relativ kleines Areal mit Bodenkontakten durchlaufen. In Stationsnähe muss daher nicht unbedingt eine Quelle existieren. Quellregionen können entlang der Trajektorien liegen und nur in der gemittelten Betrachtung ist es möglich, auf Schwerpunkte zu schließen, da bei einer wiederholt auftretenden Quelle ein entsprechend hoher Summenwert im Laufe des betrachteten Zeitraums auftreten muss. Die Betrachtung einmaliger Emissionen ist hier nicht vorrangig und nur möglich, wenn sie in dem entsprechenden Zeitraum nicht überlagert werden. Die individuellen Kontaktmatrizen geben ein genaueres Strömungsmuster wieder, aber nur im Einzelfall, unter Kenntnis der Emissionskataster, eine direkte Quellzuordnung. Aussagekräftiger sind die, auf sehr vielen Bodenkontakten basierenden, Matrizen für alle Stunden des Jahres, in denen sich deutlich gemeinsame *Quell-Regionen* für hohe Messwerte ausmachen lassen.

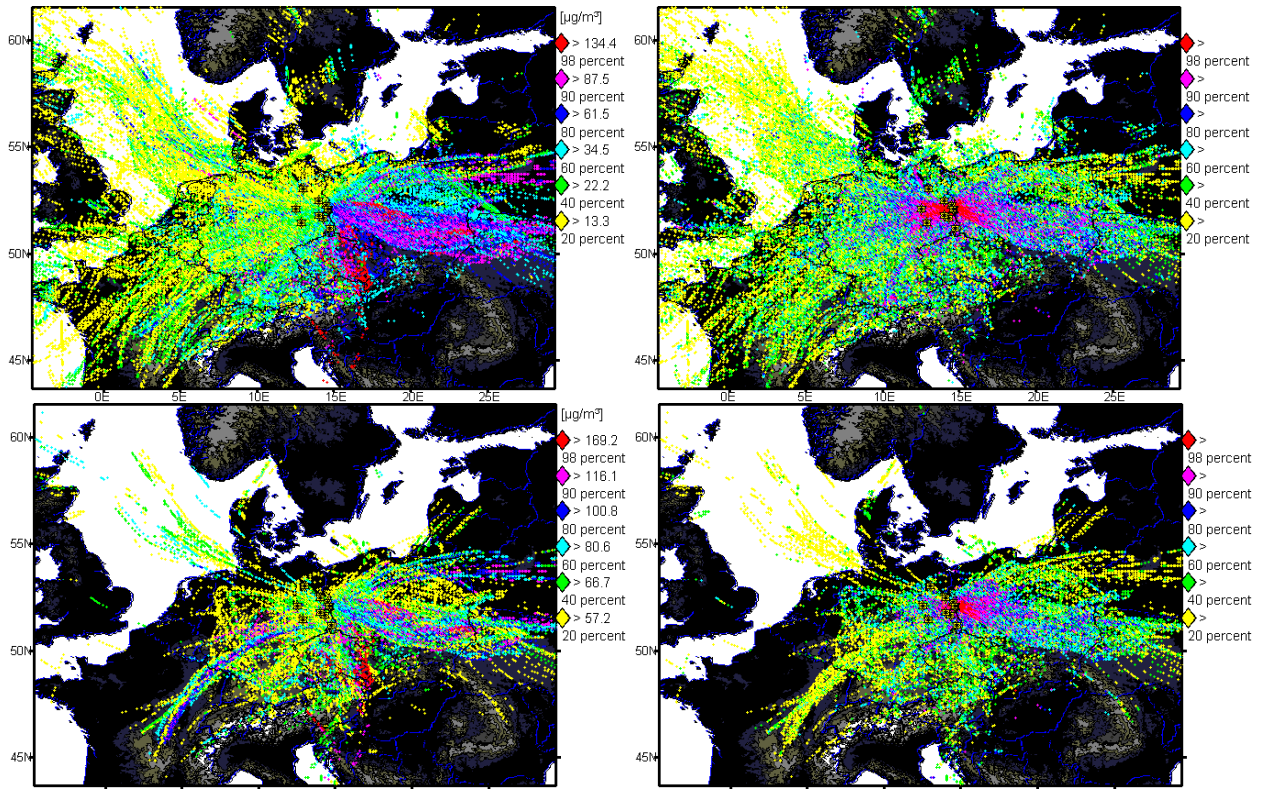
Die Abbildungen zeigen für die Stationen jeweils sehr ähnliche Strukturen. Es lassen sich deutlich häufige Anströmungen und Quellregionen aus westlichen und östlichen Richtungen ausmachen, die aber bei den westlichen Anströmungen mit signifikant niedrigeren Konzentrationen verbunden sind. Hohe Konzentrationen finden sich überwiegend bei Anströmungen aus (süd-)östlichen Richtungen. Bei der Beschränkung der Auswertung auf die Stunden mit PM10-Messwerten  $> 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  gehen im Vergleich zu allen

Stunden des Jahres die westlichen Anströmungen deutlich stärker zurück, und die Struktur der Häufigkeiten der Bodenkontakte ändert sich. Gegenüber der hohen Zahl westlich und östlich der jeweiligen Station bei der Betrachtung aller Stunden verschiebt sich insbesondere bei den fünf ostbrandenburgischen Stationen das Gewicht bei den Stunden mit PM10-Messwerten  $> 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  nach (Süd-)Osten.

Die höheren Belastungen entlang der Oder/Neiße sind, wie die einzelnen Matrizen zeigen, mit den direkten Transporten von Süd- und Westpolen her verbunden. Im Gegensatz dazu liegen die anderen Beobachtungsorte, wie z. B. Lütke und Melpitz, weiter entfernt oder bei den typischen Wetterlagen mit südöstlicher Strömung im Lee des Erzgebirges und werden stärker von Emissionen von Tschechien und Sachsen her beeinflusst. Dies wird z. B. im direkten Vergleich der Stationen Frankfurt (Oder) in Abbildung 6-36 und Melpitz in Abbildung 6-42 deutlich. Beide Stationen haben als wesentliche Einflussgebiete für Belastungen über  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  Südwestpolen und Tschechien. Jedoch ist die Häufigkeit des Kontaktes für Belastungen über  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  unterschiedlich. Dabei zeigt sich, dass Frankfurt (Oder) wesentlich von Südwestpolen her Transporte aufweist, während Melpitz, das im Lee des Erzgebirges liegt, stärker unter Einfluss Tschechiens und Sachsens liegt.

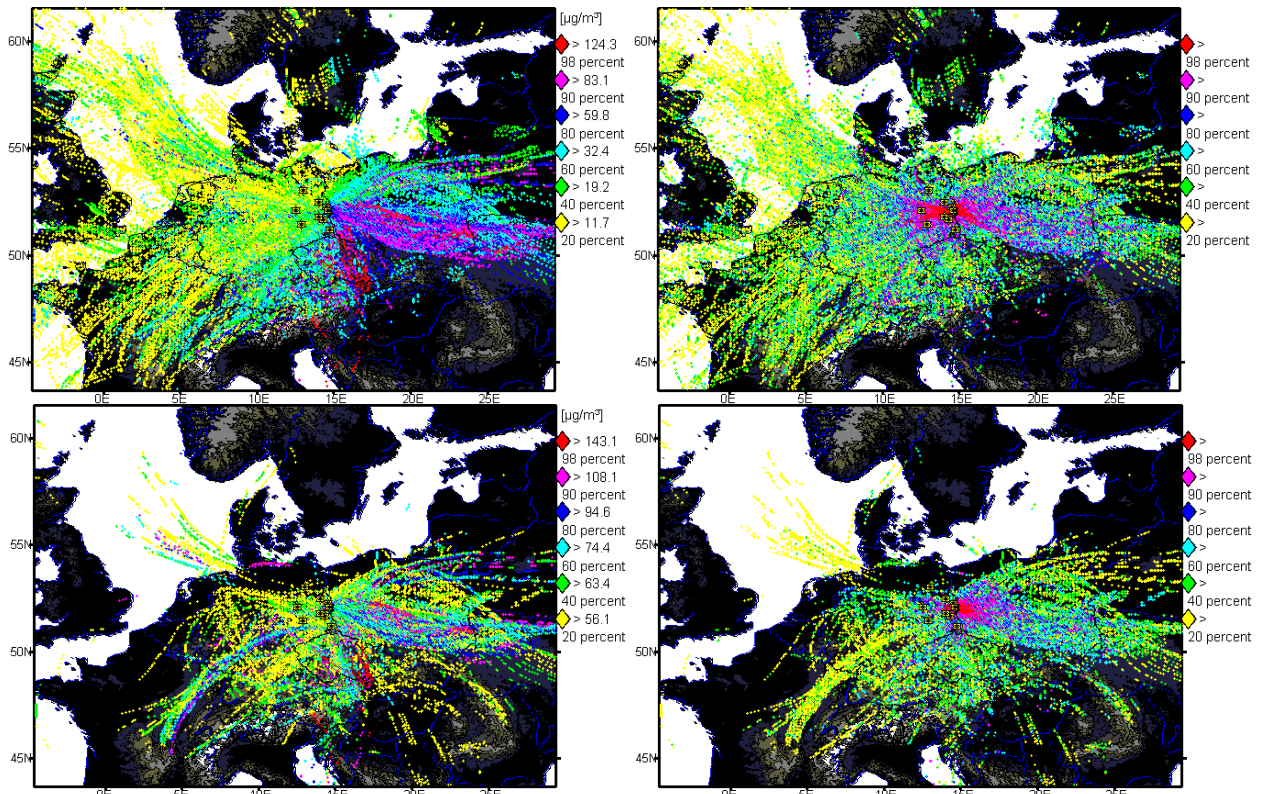
Die nördlich gelegene Station Neuglobsow zeigt speziell bei hohen PM10-Immissionswerten Transporte von Brandenburg, Sachsen und Tschechien und von Nord- und Westpolen her.





Einflussmatrizen (links) und Bodenkontakte (rechts) als Jahresmittelwert für alle Beobachtungen (oben) und als Mittelwert aller Stunden mit PM10-Messwerten > 50 µg/m³ (unten). Die Perzentilwerte „98 percent“, ... korrespondieren jeweils mit der darüber angegeben Konzentration. Näheres s. Text.

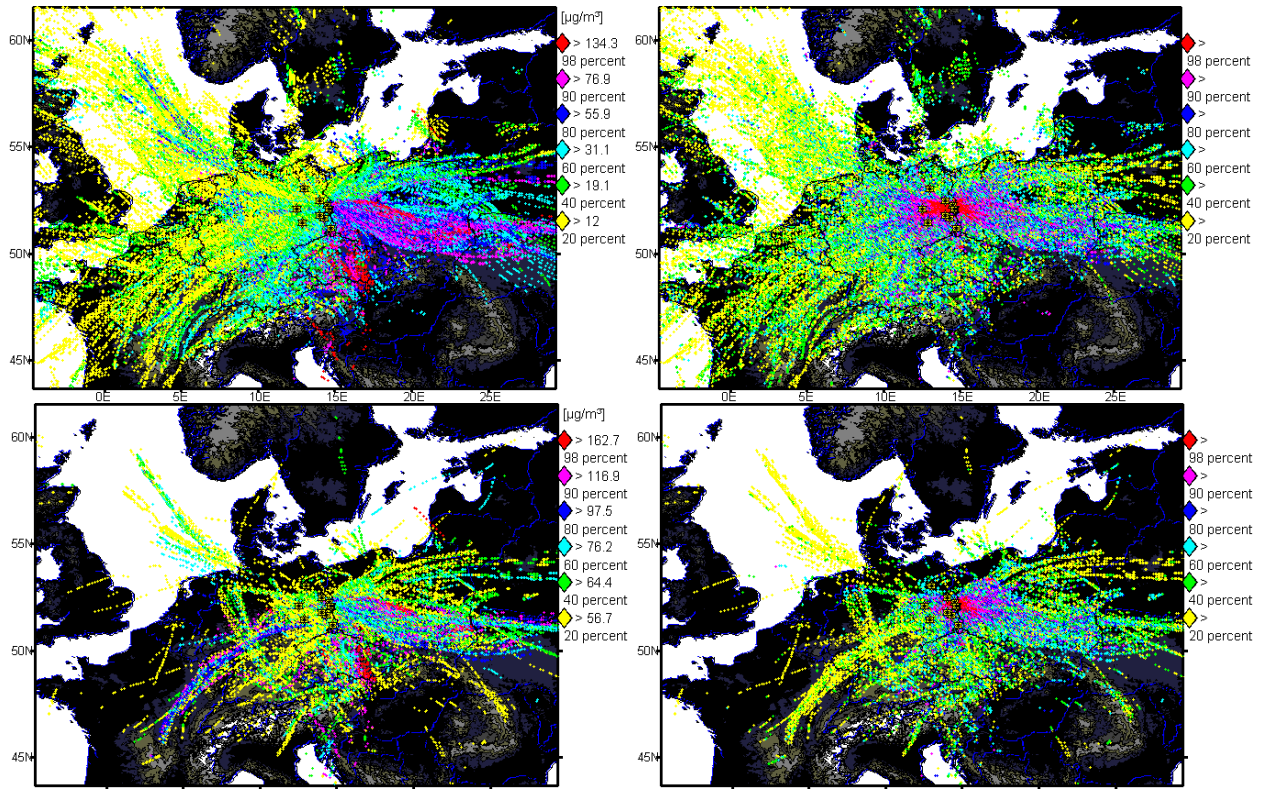
**Abbildung 6-34: Einflussmatrizen Vogelsang**



Einflussmatrizen (links) und Bodenkontakte (rechts) als Jahresmittelwert für alle Beobachtungen (oben) und als Mittelwert aller Stunden mit PM10-Messwerten > 50 µg/m³ (unten). Die Perzentilwerte „98 percent“, ... korrespondieren jeweils mit der darüber angegeben Konzentration. Näheres s. Text.

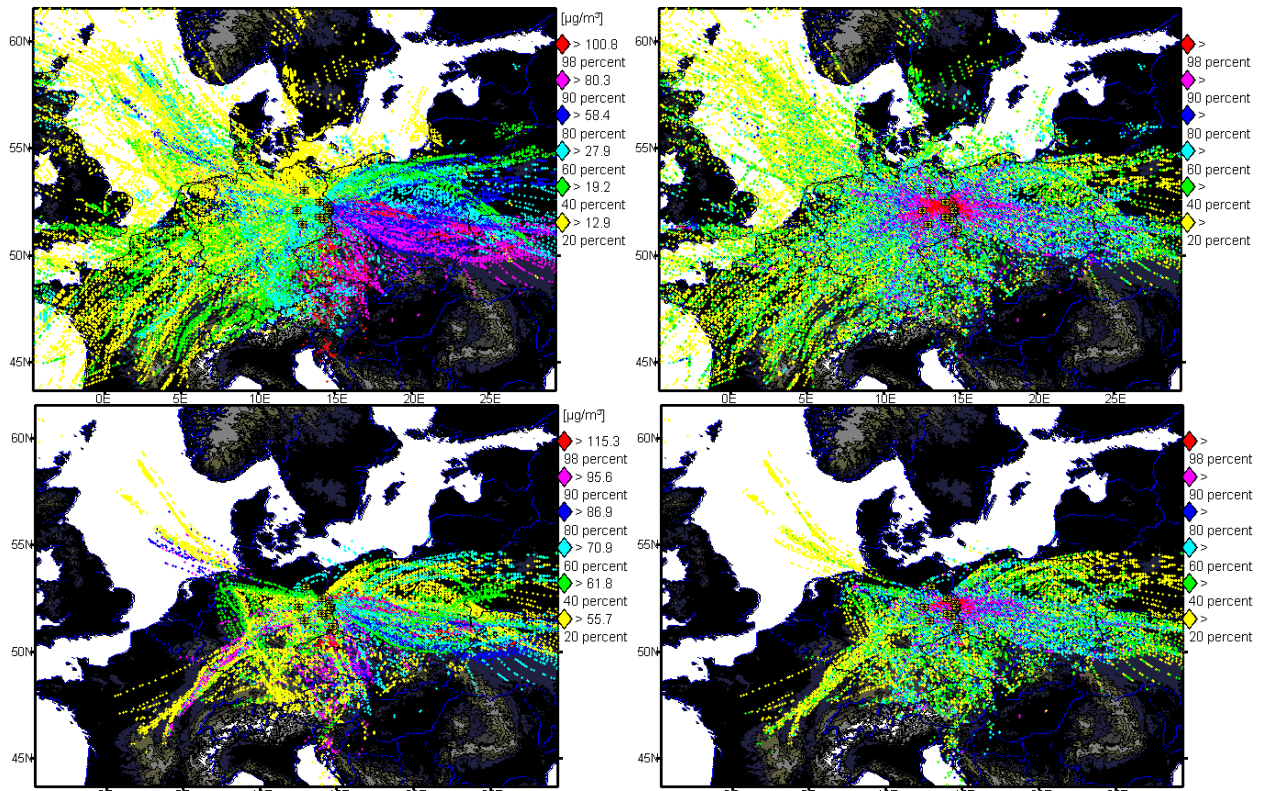
**Abbildung 6-35: Einflussmatrizen Eisenhüttenstadt**





Einflussmatrizen (links) und Bodenkontakte (rechts) als Jahresmittelwert für alle Beobachtungen (oben) und als Mittelwert aller Stunden mit PM10-Messwerten > 50 µg/m³ (unten). Die Perzentilwerte „98 percent“, ... korrespondieren jeweils mit der darüber angegeben Konzentration. Näheres s. Text.

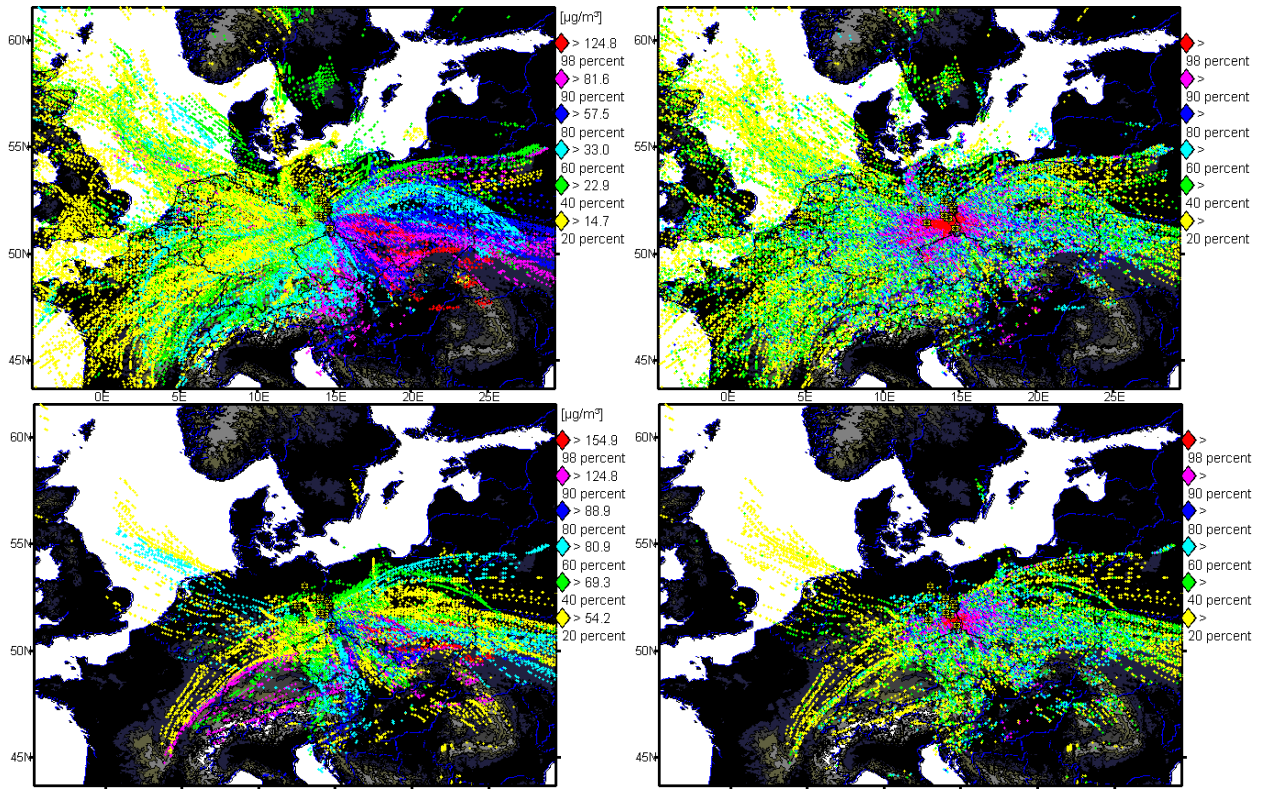
**Abbildung 6-36: Einflussmatrizen Frankfurt (Oder)**



Einflussmatrizen (links) und Bodenkontakte (rechts) als Jahresmittelwert für alle Beobachtungen (oben) und als Mittelwert aller Stunden mit PM10-Messwerten > 50 µg/m³ (unten). Die Perzentilwerte „98 percent“, ... korrespondieren jeweils mit der darüber angegeben Konzentration. Näheres s. Text.

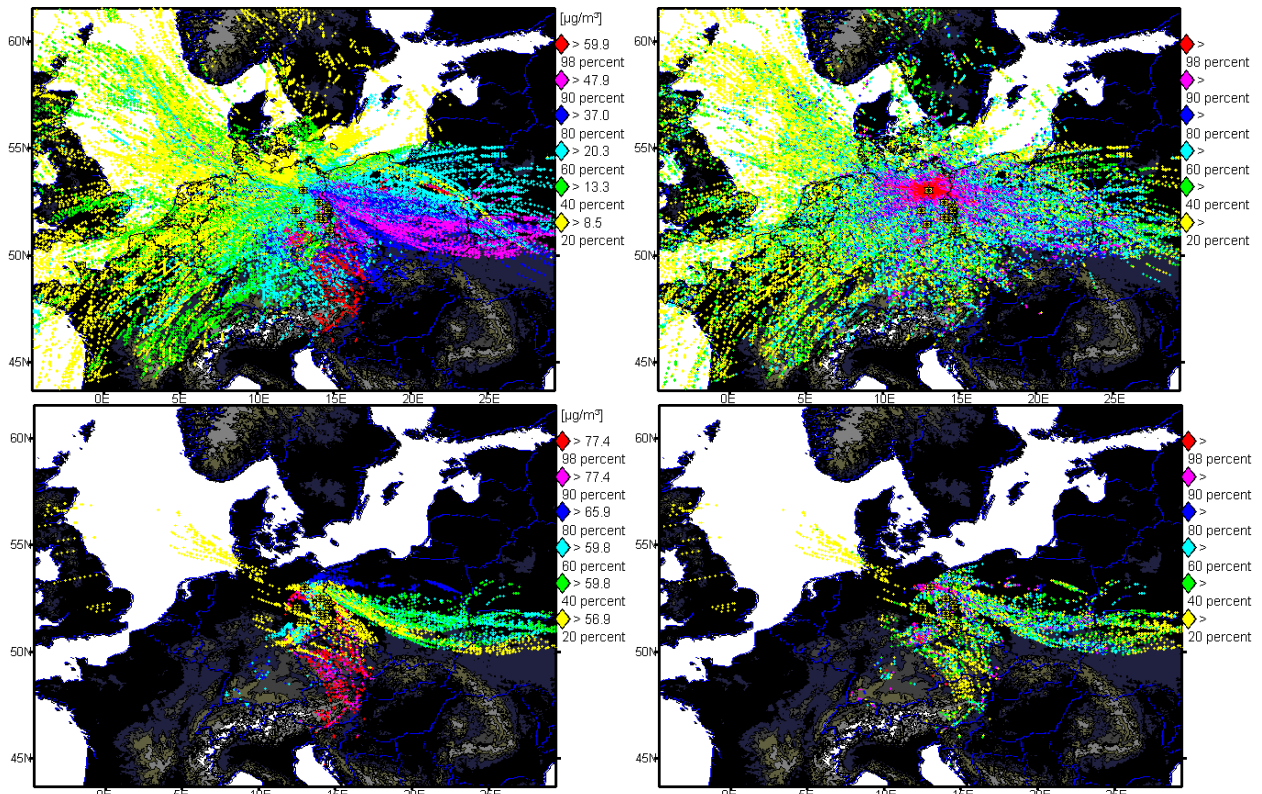
**Abbildung 6-37: Einflussmatrizen Hasenholz**





Einflussmatrizen (links) und Bodenkontakte (rechts) als Jahresmittelwert für alle Beobachtungen (oben) und als Mittelwert aller Stunden mit PM10-Messwerten > 50 µg/m³ (unten). Die Perzentilwerte „98 percent“, ... korrespondieren jeweils mit der darüber angegeben Konzentration. Näheres s. Text.

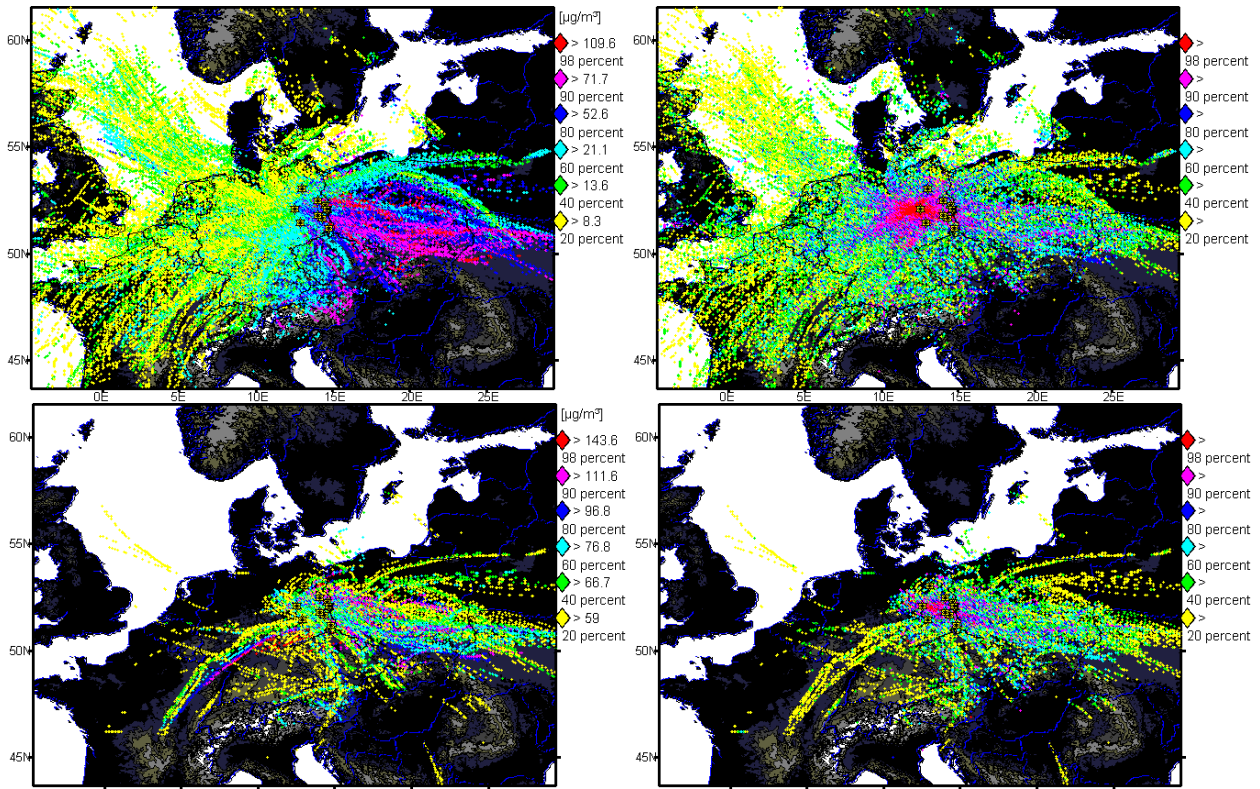
**Abbildung 6-38: Einflussmatrizen Cottbus**



Einflussmatrizen (links) und Bodenkontakte (rechts) als Jahresmittelwert für alle Beobachtungen (oben) und als Mittelwert aller Stunden mit PM10-Messwerten > 50 µg/m³ (unten). Die Perzentilwerte „98 percent“, ... korrespondieren jeweils mit der darüber angegeben Konzentration bzw. Anzahl. Näheres s. Text.

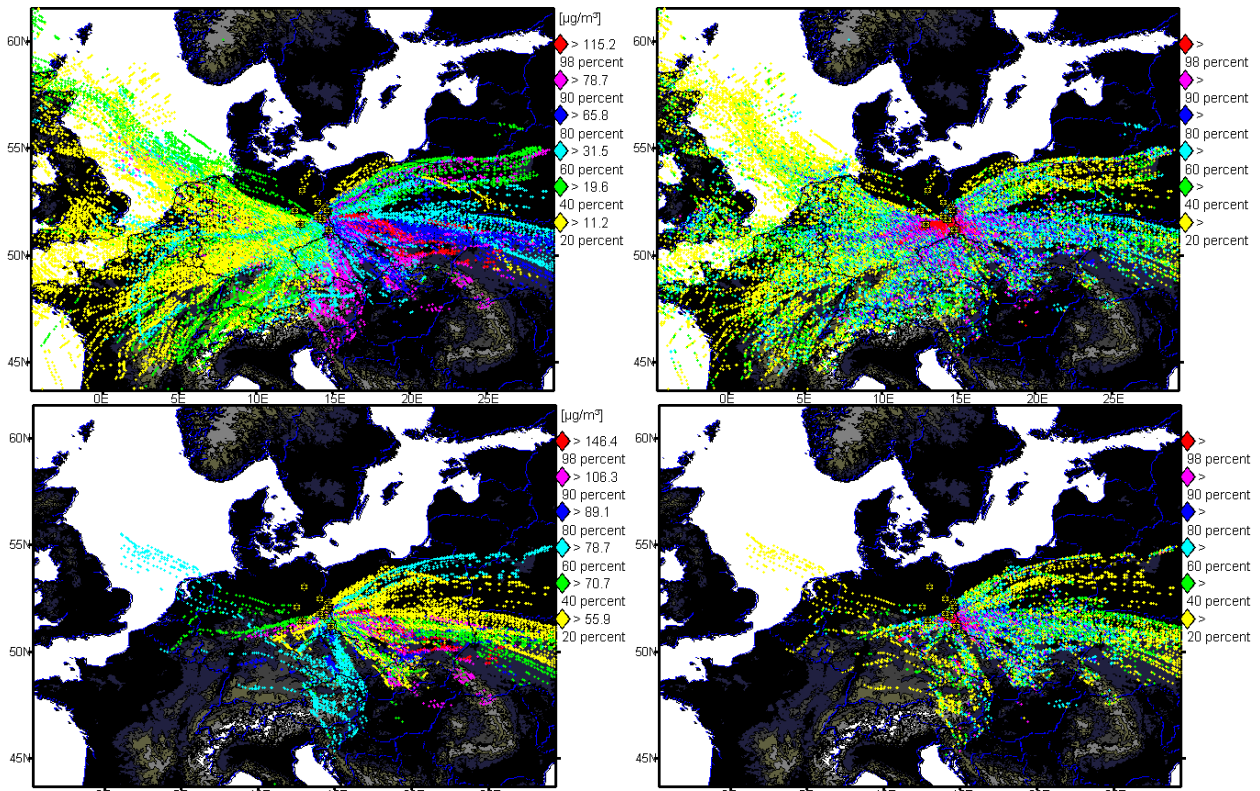
**Abbildung 6-39: Einflussmatrizen Neuglobsow**





Einflussmatrizen (links) und Bodenkontakte (rechts) als Jahresmittelwert für alle Beobachtungen (oben) und als Mittelwert aller Stunden mit PM10-Messwerten > 50 µg/m<sup>3</sup> (unten). Die Perzentilwerte „98 percent“, ... korrespondieren jeweils mit der darüber angegebenen Konzentration. Näheres s. Text.

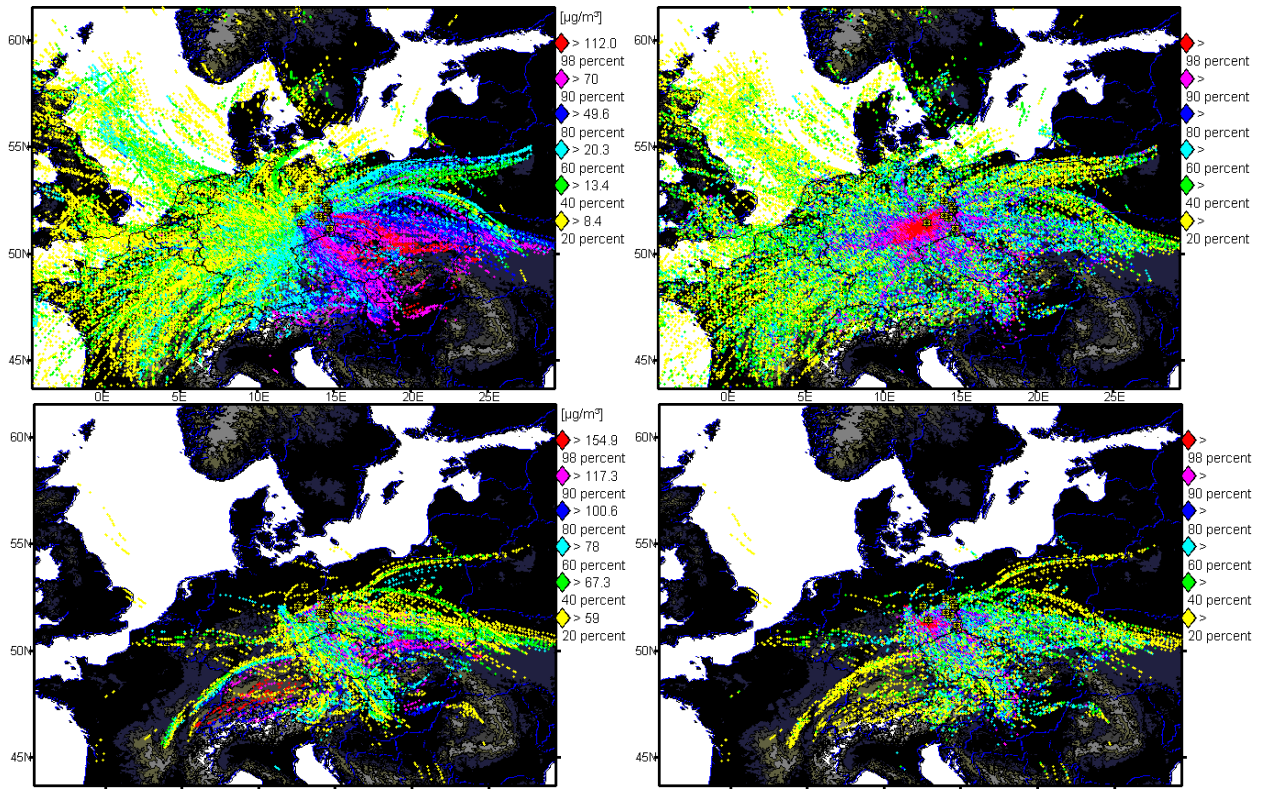
**Abbildung 6-40: Einflussmatrizen Lütte**



Einflussmatrizen (links) und Bodenkontakte (rechts) als Jahresmittelwert für alle Beobachtungen (oben) und als Mittelwert aller Stunden mit PM10-Messwerten > 50 µg/m<sup>3</sup> (unten). Die Perzentilwerte „98 percent“, ... korrespondieren jeweils mit der darüber angegebenen Konzentration. Näheres s. Text.

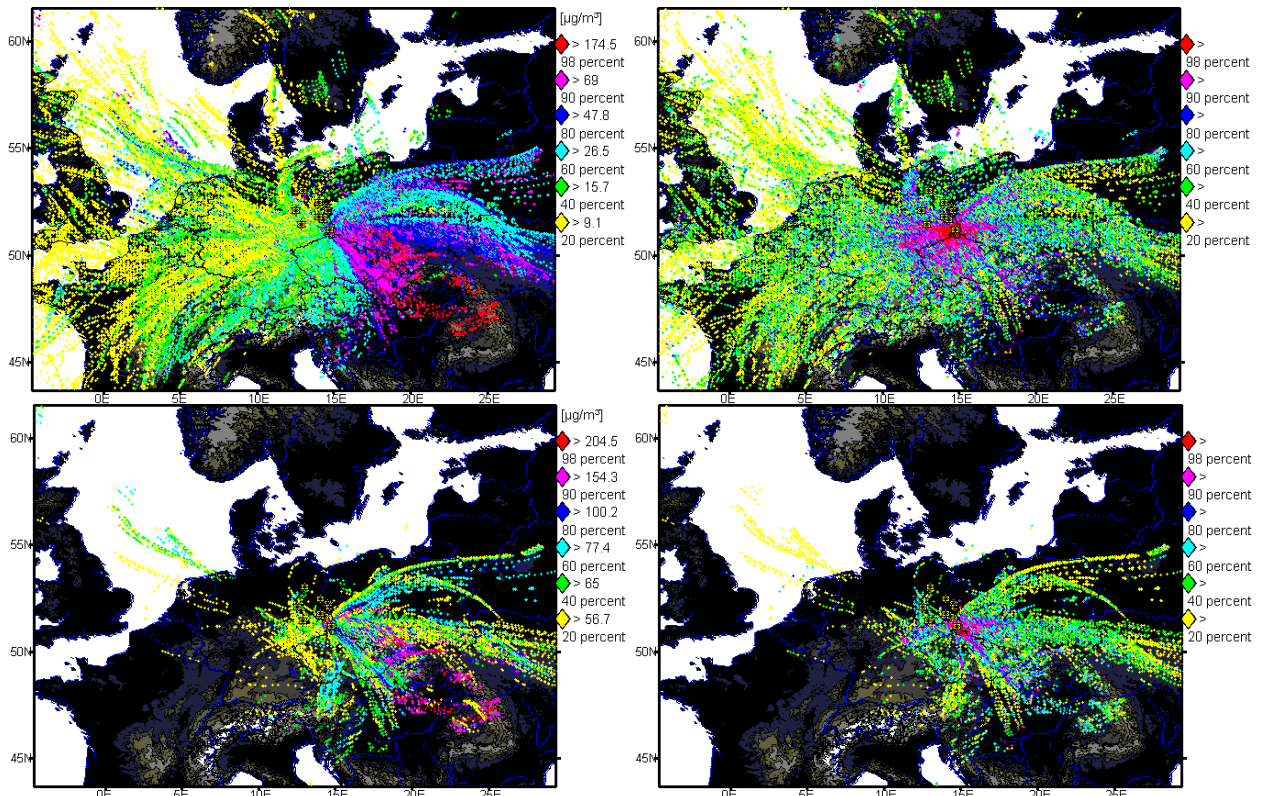
**Abbildung 6-41: Einflussmatrizen Spreewald**





Einflussmatrizen (links) und Bodenkontakte (rechts) als Jahresmittelwert für alle Beobachtungen (oben) und als Mittelwert aller Stunden mit PM10-Messwerten > 50 µg/m<sup>3</sup> (unten). Die Perzentilwerte „98 percent“, ... korrespondieren jeweils mit der darüber angegeben Konzentration. Näheres s. Text.

**Abbildung 6-42: Einflussmatrizen Melpitz**



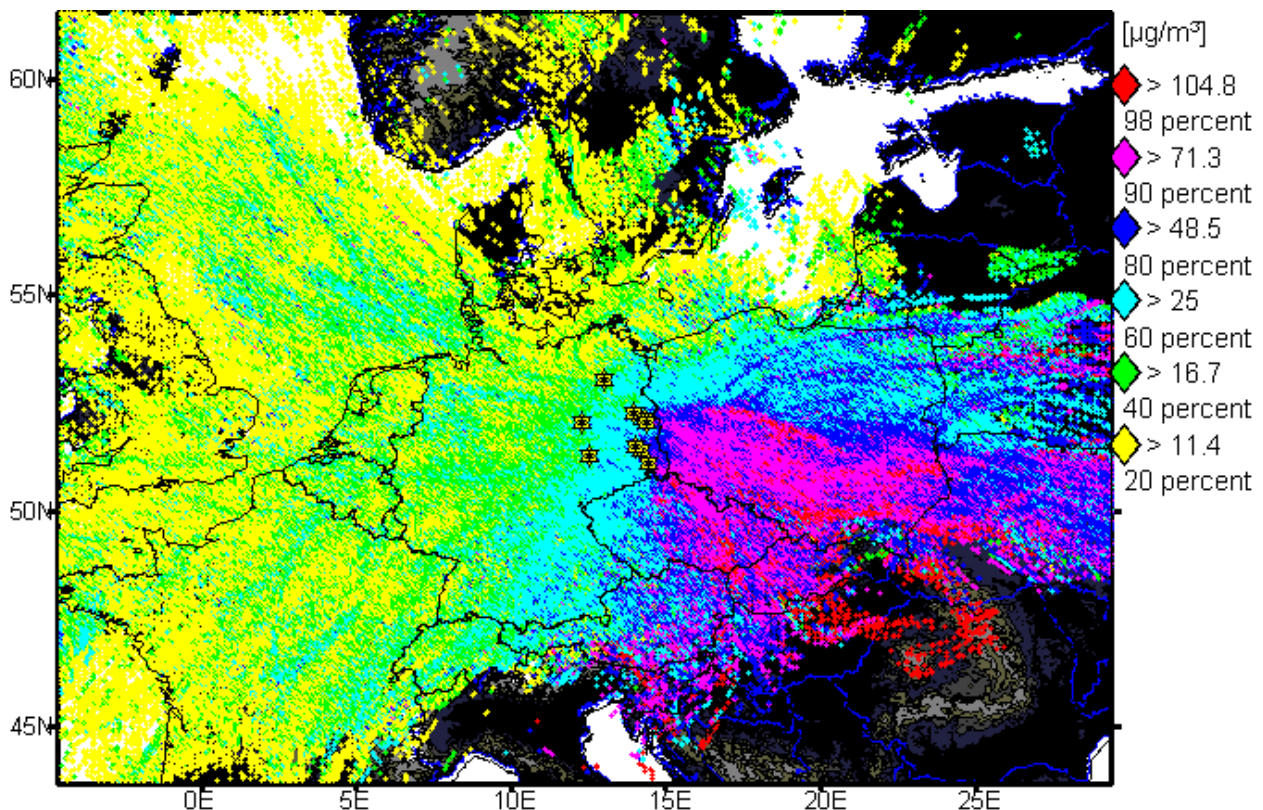
Einflussmatrizen (links) und Bodenkontakte (rechts) als Jahresmittelwert für alle Beobachtungen (oben) und als Mittelwert aller Stunden mit PM10-Messwerten > 50 µg/m<sup>3</sup> (unten). Die Perzentilwerte „98 percent“, ... korrespondieren jeweils mit der darüber angegeben Konzentration. Näheres s. Text.

**Abbildung 6-43: Einflussmatrizen Niesky**



In Abbildung 6-44 schließlich findet sich eine aggregierende Darstellung der gewichteten, überlagerten Einflussmatrix für alle 10 Stationen in Ostdeutschland, die, zusammen mit den Einzelmatrizen, nochmals die prinzipiellen Unterschiede in den Belastungsregimes der östlichen Stationen einerseits und den übrigen Hintergrundstationen andererseits verdeutlicht. Aus dieser summarischen Karte lassen sich durch die Überlagerung noch deutlicher gemeinsame Areale mit hohen Emission oder sekundären Prozessen erkennen, da räumliche Unterschiede, die sich im Vergleich der einzelnen Matrizen zeigen, durch die gemeinsame Betrachtung aller Stationen relativ an Bedeutung verlieren. In diesem Zusammenhang sei nochmals darauf hingewiesen, dass als hoch belastet klassifizierte Regionen in den Matrizen dadurch entstehen, dass über alle Stationen betrachtet viele Trajektorien in diesen Regionen Bodenkontakt hatten und gleichzeitig an den zugehörigen Stationen jeweils hohe Immissionswerte gemessen wurden. Somit ist die Wahrscheinlichkeit, dass dies Regionen mit hohen Emission oder sekundären Prozessen sind, sehr hoch.

Die Beobachtungen entlang der deutsch-polnischen Grenze weisen im Mittel höhere Belastungen auf als die weiter westlich gelegenen Beobachtungsorte. Letztere sind, trotz der etwas anderen Anströmung und der Leewirkung durch die Mittelgebirge, auch durch Transporte aus Polen und Tschechien beeinflusst, jedoch durch den Transport über Ostdeutschland in vermindertem Maße. Gleichzeitig sind sie durch in Ostdeutschland verursachte Emissionen beeinflusst. Da die Emissionen der Quellen in Polen und Tschechien aber die der ostdeutschen Quellen überragen, ergibt sich in Ostdeutschland ein Gradient von Ost nach West.



**Abbildung 6-44: Einflussmatrix „Brandenburg“ als Mittel aller Stationen**

## 6.6 Regionale Ausbreitungsrechnungen

Um die im Rahmen der in Abschnitt 4 und 6.1 gewonnenen Erkenntnisse, die nur auf der Analyse von Messdaten beruhen und daher keine scharfe Trennung zwischen durch brandenburgischen Quellen verursachten Immissionen und Immissionen anderer Quellen ermöglichen, zu ergänzen und um räumlich differenzierte quantitative Aussagen zu Immissionsbeiträgen, die 2010 nicht durch Quellen in Brandenburg verursacht wurden, zu erhalten, wurden Ferntransportberechnungen für Brandenburg für das meteorologische Bezugsjahr 2010 durchgeführt. Dazu wurde das REM-CALGRID-Modell für das Bezugsjahr 2010 (sowohl bezüglich Emissionen als auch bezüglich der Meteorologie) in einer Erweiterung bestehender Untersuchungen eingesetzt.

Die Anwendung des RCG-Modells zur Ermittlung des Ferntransportbeitrags in Brandenburg erfolgte in den Skalen:

- die europäische Skala (Nest 0) und
- überregionale Skala (Nest 1).

Die europaweite Rechnung in der Auflösung von  $1/2^\circ$  Länge und  $1/4^\circ$  Breite, was circa  $30 \cdot 30 \text{ km}^2$  entspricht, liefert die Hintergrundkonzentrationen für die überregionale Skala. Diese Skala wurde in der Auflösung  $1/8^\circ$  Länge und  $1/16^\circ$  Breite, was etwa  $7 \cdot 8 \text{ km}^2$  entspricht, gerechnet. Die Verwendung eines geographischen Koordinatensystems ist Voraussetzung für die genestete RCG-Anwendung, da die großräumigen Datenbasen und damit alle großräumigen Rechnungen in solch einem System vorliegen.

Es muss vorangestellt werden, dass die Modellierung der PM10-Immissionen auch heute noch mit beträchtlichen Schwierigkeiten verbunden ist. Generell werden die zeitweise beobachteten hohen PM10-Konzentrationen von den Modellen in den meisten Fällen nicht reproduziert. Dies betrifft sowohl nur lokal gemessene kurzzeitige Spitzenkonzentrationen als auch durch Ferntransport verursachte großflächigere Konzentrationsanstiege.

Die systematische Unterschätzung bei PM10 ist ein übliches Phänomen bei der Modellierung großräumiger PM10-Belastungen. Ein wesentlicher Grund liegt darin, dass nicht alle PM10-Quellen mit ihren Emissionen bekannt sind, und auch die Qualität der verfügbaren anthropogenen Partikel-Emissionsdaten geringer ist als diejenige der klassischen Schadstoffe wie z. B.  $\text{NO}_x$  und  $\text{SO}_2$ . Partikelemissionen aus landwirtschaftlichen Aktivitäten, windbedingte Staubaufwirbelung von naturbelassenen Böden oder in Stadtgebieten (z. B. aus Baustellentätigkeit oder Wiederaufwirbelung durch den Kfz-Verkehr) sowie biogene Aerosole sind unvollständig oder gar nicht erfasst, da diese Emissionen zum Teil stark von den meteorologischen Bedingungen und der Beschaffenheit des Untergrundes abhängen. Auch die gasförmigen Primäremissionen, die zu den organischen und anorganischen Sekundäraerosolen führen, stehen nur zum Teil zur Verfügung (z. B. biogen emittierte Isoprene und Terpene, aber auch anthropogen verursachte  $\text{NH}_3$ -Emissionen). Weiterhin kann davon ausgegangen werden, dass die Qualität der verwendeten Emissionen in den östlichen Nachbarländern geringer ist als in Deutschland. Dies betrifft sowohl die Jahresemissionen als auch die besonders bei episodischen Einzelbetrachtungen wichtige aktuelle Emission. Dieser Umstand ist von Bedeutung für die Ermittlung des Ferntransportanteils.

Die Ergebnisse mehrerer internationaler Modellvergleiche zeigen, dass diese Unsicherheiten in den meisten Modellrechnungen mit chemischen Transportmodellen zu einer mittleren Unterschätzung der beobachteten PM10-Masse führen (Stern et al., 2008; Sartelet et al., 2007; Vautard et al., 2007; Whyatt et al., 2007). Das allgemeine PM10-

Konzentrationsniveau wird von den Modellen in den meisten Fällen auch reproduziert, die an einzelnen Tagen auftretenden hohen Spitzenwerte werden aber nicht erreicht. Die Nicht-Erfassung der beobachteten lokalen und auch großflächig auftretenden Spitzenwerte ist zur Zeit leider ein generelles Problem der Modellrechnung. Aus diesem Grund werden die hier durchgeführten Berechnungen nur relativ ausgewertet.

Die aus den Berechnungen abgeleiteten quantitativen Aussagen sollten wegen der Unsicherheiten der Modellrechnungen daher auch nur als größenordnungsmäßige Abschätzung der lokalen bzw. durch Ferntransport verursachten Immissionsanteile verstanden werden. Die größenordnungsmäßige relative Abschätzung ist aber belastbar, da auftretende Spitzenwerte generell unterschätzt werden, unabhängig davon, ob sie lokalen oder großräumigeren Ursprungs sind.

### 6.6.1 RCG-Modell

Das chemische Transportmodell REM-CALGRID (RCG), das an der Freien Universität Berlin entwickelt wurde (Stern 2003, 2006a, Stern et al., 2008), wurde inzwischen schon vielfach auf Bundes- und Länderebene im Rahmen der Erstellung von Luftreinhalteplänen, z. B. in der Rhein-Main-Region (IVU Umwelt, 2009, 2011a), der Berechnung von Hintergrundkonzentrationen (IVU Umwelt, 2004, 2006a, 2006b), auch im Gutachten zum „Einfluss des Verkehrs und seiner Entwicklung auf die Luftqualität im Land Brandenburg“ in Brandenburg (IVU Umwelt, 2012) oder zur Analyse grenzüberschreitender Schadstofftransporte (Stern, 2006b) eingesetzt. RCG ist zudem das Ausbreitungsmodell im vom Umweltbundesamt beauftragten PAREST-Projekt zur Entwicklung von Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung (PAREST, 2010).

Das RCG-Modell berechnet die Konzentration von Schadstoffen an einem oder mehreren Orten in Abhängigkeit von der Emission, von physikalischen und chemischen Prozessen während des Transportvorgangs in der Atmosphäre, sowie von meteorologischen und topographischen Einflüssen. Dazu wird der relevante Ausbreitungsraum, der ganz Europa oder auch nur eine Stadt oder ein Emittentengebiet umfassen kann, mit einem dreidimensionalen Gitter überspannt, in dessen Gitterzellen die Berechnung der Konzentrationen erfolgt. Das RCG-Modell betrachtet alle in den EU-Richtlinien für Luftqualität festgelegten Schadstoffe wie z. B. Feinstaub, Stickstoffoxide oder Ozon. Die Berechnung der Konzentrationen erfolgt auf Stundenbasis für das ganze Jahr. Mit den RCG-Simulationsrechnungen lassen sich die Ursachen für Luftbelastungen analysieren und die Beiträge von unterschiedlichen Emittenten zur Luftqualität bestimmen. Die Anwendung des Modells in so genannten genesteten Modellgebieten erlaubt es, je nach Fragestellung und Gebietsgröße unterschiedlich hohe räumliche Auflösungen abzubilden.

Die Anwendung des Modells zur Ermittlung des Ferntransportbeitrags in Brandenburg erfolgte in den zwei oben genannten Skalen, wobei hier nur die Ergebnisse der überregionalen Skala (Nest 1) betrachtet werden. Die unterste Gitterzelle des Modells hat eine vertikale Ausdehnung von 25 m. Die für diese unterste Gitterzelle berechneten Konzentrationen wurden ausgewertet.

## 6.6.2 Eingangsdaten

### 6.6.2.1 Meteorologische Daten

Das RCG-Modell benötigt für das Modellgebiet in der gewählten Maschenweite folgende meteorologische Größen in stündlicher Auflösung:

Dreidimensionale Felder bis zu einer Höhe von 3 km:

- u,v-Komponenten des Windes,
- Temperatur,
- Feuchte und
- Dichte.

Zweidimensionale Felder:

- Bodentemperatur,
- Bodenwindgeschwindigkeit,
- Monin-Obukhov-Länge,
- Schubspannungsgeschwindigkeit und
- Mischungsschichthöhe.

Der meteorologische Antrieb des Modells wurde, ebenso wie die Trajektorienanalyse in Abschnitt 6.2, aus meteorologischen Beobachtungen mit dem am Institut für Meteorologie betriebenen Programmsystem TRAMPER erstellt.

### 6.6.2.2 Emissionsdaten

Emissionen der Stoffgruppen  $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$ , CO,  $\text{NH}_3$ , Benzol, PM10, PM2.5 und NMHC (Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe) werden dem RCG-Modell in Form von Punkt- oder Flächenquellen vorgegeben werden. Für die Punktquellen wurde aus den Kenndaten der Quelle und lokalen meteorologischen Größen eine effektive Schornsteinhöhe bestimmt. Die Übergabe der Emissionen erfolgt dann in die dazugehörige Modellschicht. Flächen- und Punktquellen werden im Modell als Volumenquellen behandelt, d. h. die Emissionen verteilen sich unmittelbar in der betreffenden Gitterzelle.

Das Modell verlangt jahresspezifische Emissionsdaten für alle in den verschiedenen chemischen Mechanismen benötigten Spezies, getrennt nach Punkt- und Flächenquellen und unterteilt nach Verursachergruppen. Für die Verursachergruppen werden im Modell, ausgehend von den Jahreswerten, stündliche Emissionen abgeleitet. Die dazu verwendeten Monats-, Tages- und Stundenfaktoren berücksichtigen die Zeit- und Temperaturabhängigkeit der Emissionen der einzelnen Verursachergruppen.

Biogene Kohlenwasserstoff- und  $\text{NO}_x$ -Emissionen, Seesalzemissionen sowie die Aufwirbelung von Staub aus naturbelassenen Böden werden stündlich modellintern mit Hilfe von Landnutzungsdaten und entsprechenden Emissionsfaktoren berechnet. Die hier verwendeten Emissionsdaten aus PAREST (2010) lösen das Modellgebiet von Nest 1 in circa  $7 \cdot 8 \text{ km}^2$  auf.

## 6.6.3 Berechnungen

Im vorliegenden Projekt wurden zwei Emissionsszenarien modelliert. Zunächst wurde als Basisfall mit allen bekannten Quellen in Europa für das Bezugsjahr 2010 auf Basis



der im Rahmen von PAREST (2010) erstellten meteorologischen und emissionsseitigen Datenbasen modelliert. Im zweiten Szenario wurden im PAREST-Emissionsdatensatz die Quellen in Brandenburg abgeschaltet. Setzt man die Differenz beider Szenarien ins Verhältnis zu den Werten des Szenarios mit allen Quellen, ergibt sich räumlich differenziert der relative Beitrag der Emissionsquellen, die nicht in Brandenburg liegen, welcher sowohl hinsichtlich des Jahresmittelwerts als auch bezüglich der 48 Überschreitungstage gemäß Abschnitt 2 ausgewertet wurde.

Um die Formulierungen im weiteren Text nicht unnötig zu verkomplizieren, wird dieser, durch Emissionsquellen außerhalb Brandenburgs hervorgerufene Beitrag im Folgenden als „Ferntransport“ bezeichnet, was strenggenommen nicht ganz richtig ist, da z. B. die Quellen aus Berlin näher an Ostbrandenburg liegen als Quellen aus Westbrandenburg. Außerdem muss darauf hingewiesen, dass eine scharfe Trennung von Quellen in und außerhalb von Brandenburg an den Grenzen des Bundeslandes nicht genau möglich ist, da die Emissionsdaten zum großen Teil als Rasterzellen vorliegen, die sich nicht am Grenzverlauf orientieren. Emissionen aus grenzübergreifenden Rasterzellen wurden proportional zum Flächenanteil verteilt.

#### 6.6.4 Ergebnisse

Zunächst finden sich in Abbildung 6-45 der Jahresmittelwert des dem vorigen Abschnitt entsprechenden Ferntransportbeitrags sowie dessen Mittelwert für die 39 Tage, an denen an mindestens drei der fünf Messstationen PM10-Tagesmittelwerten von mindestens  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  gemessen wurden, sowie der Mittelwert des Ferntransportbeitrags für die Komplementärmenge, also für die 326 Tage, an denen an höchstens zwei der fünf Messstationen PM10-Tagesmittelwerten von mindestens  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  gemessen wurden. Abbildung 6-46 bis Abbildung 6-53 zeigen dann für die 48 Überschreitungstage die mit RCG modellierten relativen Beiträge des Ferntransports. In diese tagesbezogenen Abbildungen wurde jeweils als kleiner schwarzer Punkt zur besseren Orientierung die ungefähre Lage der fünf Stationen eingetragen. Die Stationslage ist bewusst nicht exakt, weil die dargestellten Situationen nicht für punktbezogene, sondern für großräumigere Auswertungen erstellt sind.

Die Abbildungen sind so zu interpretieren, dass die modellierten PM10-Konzentration in Bereichen der höchsten Klasse (pink dargestellt) im Prinzip vollständig durch Quellen verursacht wird, die außerhalb Brandenburgs liegen. In allen anderen Bereichen tragen die Brandenburger Quellen als regionale und lokale Verursacher in abgestuftem Maß zur Belastung bei.

Betrachtet man zunächst die drei Teilbilder in Abbildung 6-45 so erkennt man in der oberen Abbildung, dass Brandenburg im Jahresmittelwert auf Basis des PAREST-Emissionsdatensatzes einen sehr geringen und nicht weit reichenden Beitrag zu den Belastungen außerhalb des Landes hat.

Für die weiteren Beschreibungen wird nochmals explizit darauf hingewiesen, dass die Ergebnisse der hier durchgeführten Modellrechnungen lediglich als größenordnungsmäßige Abschätzungen der lokalen bzw. durch Ferntransport verursachten Immissionsanteile verstanden werden können.

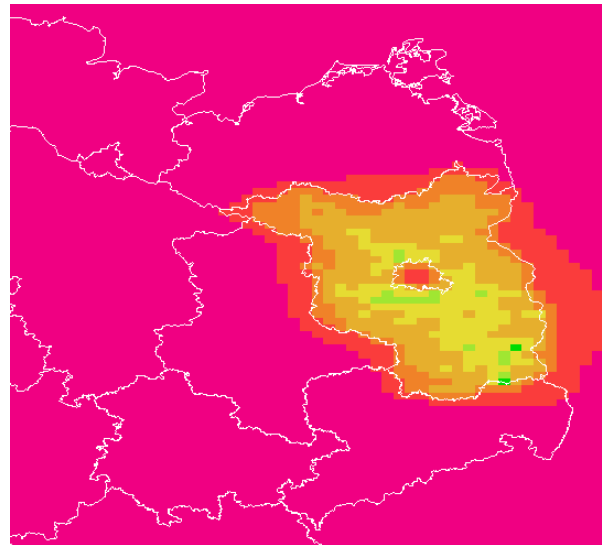
In Brandenburg selbst sind die modellierten Belastungen weiträumig lediglich zu 15 - 25 % hausgemacht, können lokal aber auch bis zu 35 % betragen. Insgesamt liegt im Jahresmittelwert die modellierte Belastung durch Ferntransport an den Rändern erwartungsgemäß etwas höher als im Inneren des Bundeslandes. Als weitere Differenzierung



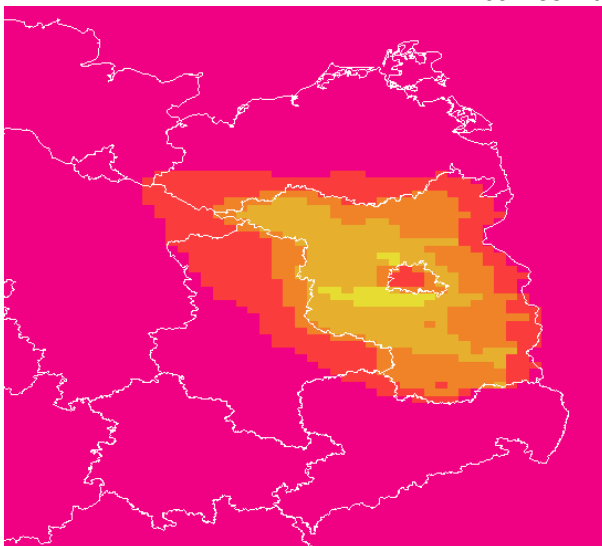
lassen sich allenfalls noch die großen Kfz-Verkehrsachsen A2 und A10 in West-Ost-Richtung südlich von Berlin, A24 und A15 von Nordwesten nach Südosten sowie das Gebiet um Cottbus ausmachen.

Vergleicht man damit und untereinander die Abbildung links unten mit dem Mittelwert für die 39 Tage, an denen an mindestens drei der fünf Messstationen PM10-Tagesmittelwerte von mindestens  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  gemessen wurden, sowie rechts unten die Abbildung für die 326 Tage der Komplementärmenge, werden signifikante Unterschiede deutlich. Zunächst erkennt man für die 39 Tage eine deutliche Ost-West-Verfrachtung der Brandenburger Beiträge und eine gleichzeitige deutliche Erhöhung der modellierten Ferntransportanteile in Ostbrandenburg, die dort großflächig über 90 % erreichen, während sie im Jahresmittelwert eher bei 80 - 85 % liegen und an den 326 Tagen mit höchstens zwei Überschreitungen an den fünf Stationen in Ostbrandenburg großflächig nur zwischen 75 und 80 %. Diese Abstufung macht auch den großen Einfluss der 39 Tage auf den Jahresmittelwert deutlich.

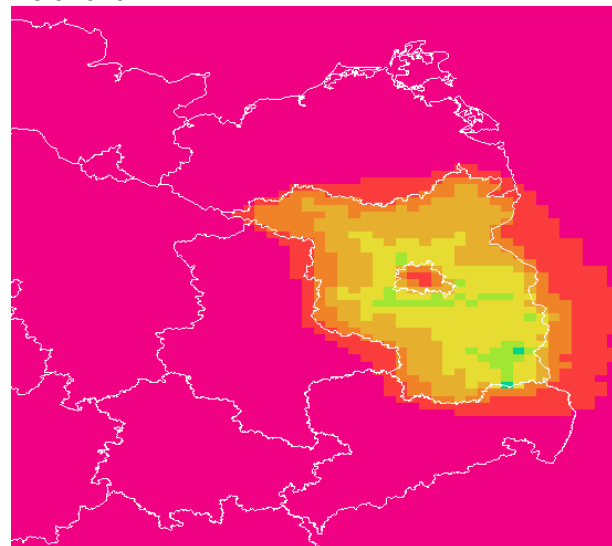
Erkennbar ist im Vergleich der drei Abbildungen auch die deutlich homogenere Situation an den 26 Tagen mit sehr geringer Differenzierung innerhalb Brandenburgs gegenüber dem Jahresmittelwert und die nochmals deutlichere Strukturierung an den 326 Tagen.



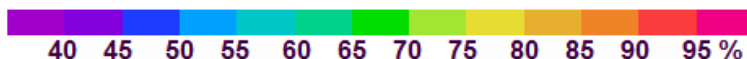
Jahresmittelwert 2010



Mittelwert der 39 Tage mit PM10-Tagesmittelwerten von mindestens 50 µg/m³ an mindestens drei der fünf Messstationen



Mittelwert der 326 Tage mit PM10-Tagesmittelwerten von mindestens 50 µg/m³ an höchstens zwei der fünf Messstationen


**Abbildung 6-45: Mittlere relative Beiträge des Ferntransports, modelliert mit RCG**

An den 48 Überschreitungstagen (Abbildung 6-46 bis Abbildung 6-53) zeigt sich insgesamt ein heterogenes Bild, das natürlich stark durch die Variabilität der an den jeweiligen Tagen herrschenden Ausbreitungsbedingungen, insbesondere Windgeschwindigkeit und -richtung, beeinflusst ist. Dies wird insbesondere im Vergleich mit den Trajektorien aus Abschnitt 6.2 deutlich. Bei diesem Vergleich ist darauf zu achten, sich bei den Trajektorien, für die lokale Windsituation des jeweils betrachteten Tages, abhängig von der Start-Uhrzeit, auf die jeweils ca. 1 (für die 0-Uhr-Trajektorie) bis 7 für die (18-Uhr-Trajektorie) stationsnächsten der Stützpunkte zu konzentrieren, oder – sofern vorhanden – die ca. 9 stationsnächsten der Stützpunkte der 0-Uhr-Trajektorie des Folgetages zu betrachten.

Für den Großteil der Tage werden für Ostbrandenburg großflächig Ferntransportanteile von über 80 % modelliert, vereinzelt, z. B. am 30.12.2010, finden sich lokal aber auch bis zu über 60 % Beiträge aus brandenburgischen Quellen. Je nach Windrichtung und

Windgeschwindigkeit finden sich natürlich auch nennenswerte Beiträge von Quellen aus Brandenburg außerhalb des Landes, wie z. B. am 9.2.2010, wo westlich von Brandenburg, sehr lokal, über 35 % der modellierten Belastung durch Quellen aus Brandenburg verursacht werden.

In Ostbrandenburg finden sich höhere Beiträge aus brandenburgischen Quellen insbesondere an Tagen, an denen die Windgeschwindigkeiten langsam waren und/oder sich die Windrichtungen im Laufe des Tages gedreht haben und damit die Emissionen nicht weit transportiert wurden, wie z. B. am 6.-7.1., 16.2., 7.12. oder 28.-30.12.2010 (vgl. dazu die Trajektorien aus Abschnitt 6.2).

Die höchsten Ferntransportanteile finden sich bei den häufig auftretenden Situationen mit stabiler (Süd-)Ostanströmung wie z. B. vom 12.-17.1., 21.-26.1. oder 8.-10.10.2010, wo modellierte Ferntransportanteile von über 95 % von Osten teilweise weit nach Brandenburg hineinreichen.

Tage, an denen nennenswerte Emissionen aus Brandenburg nach Osten verfrachtet werden, treten während der betrachteten 48 Überschreitungstage nur sehr selten auf, z. B. am 7.1., 18.1., 19.12., 21.12. und 30.12.2010.

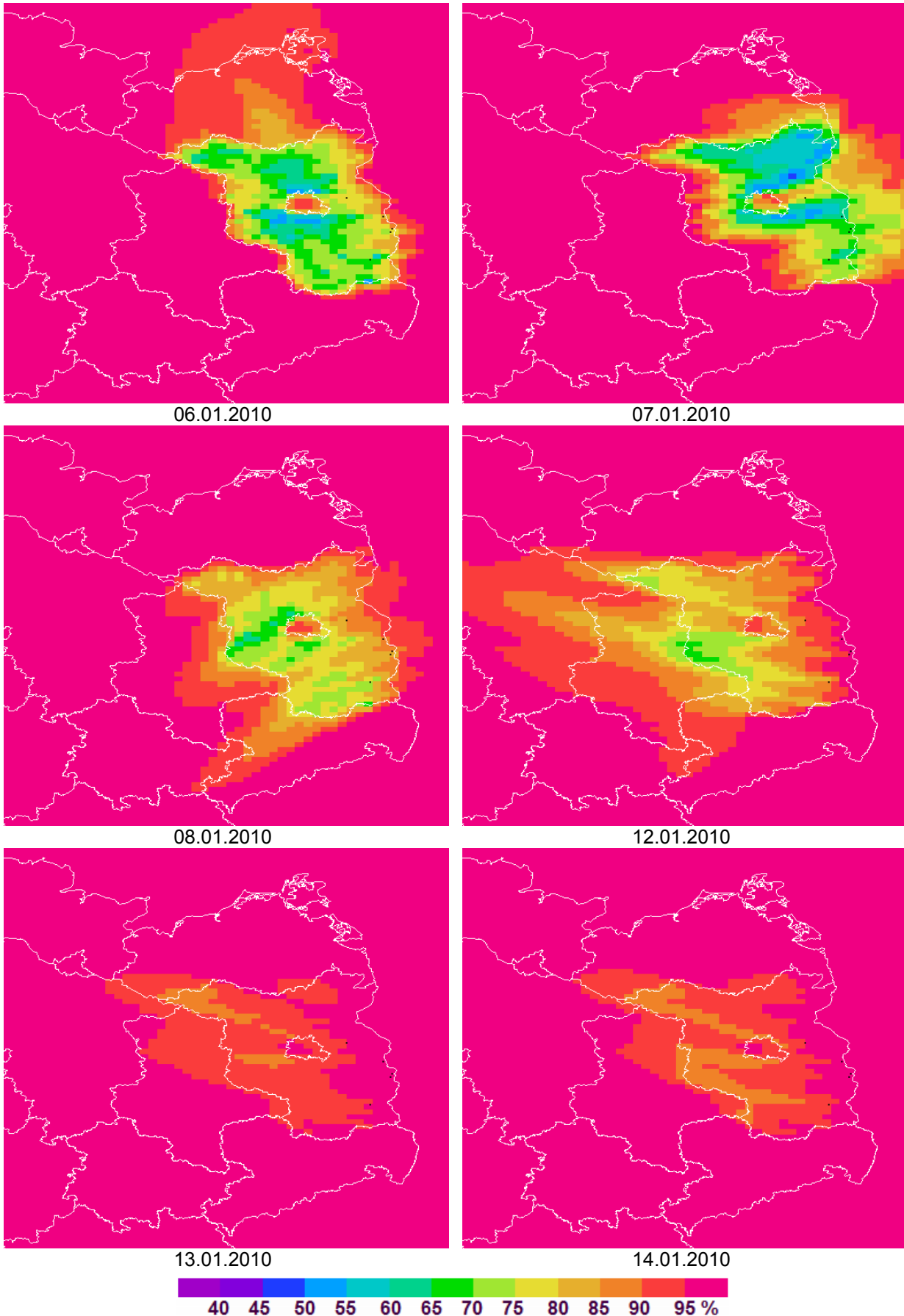
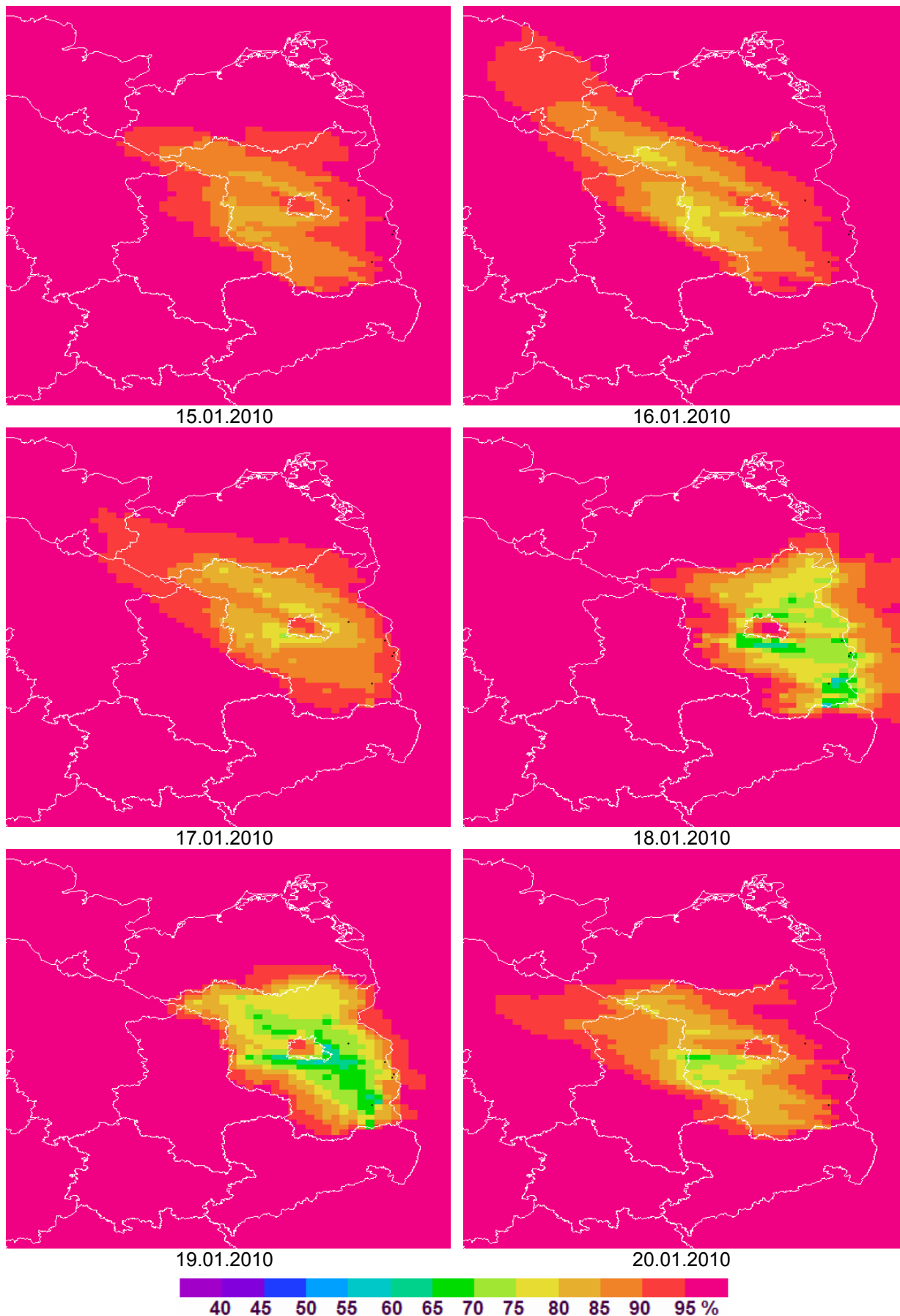
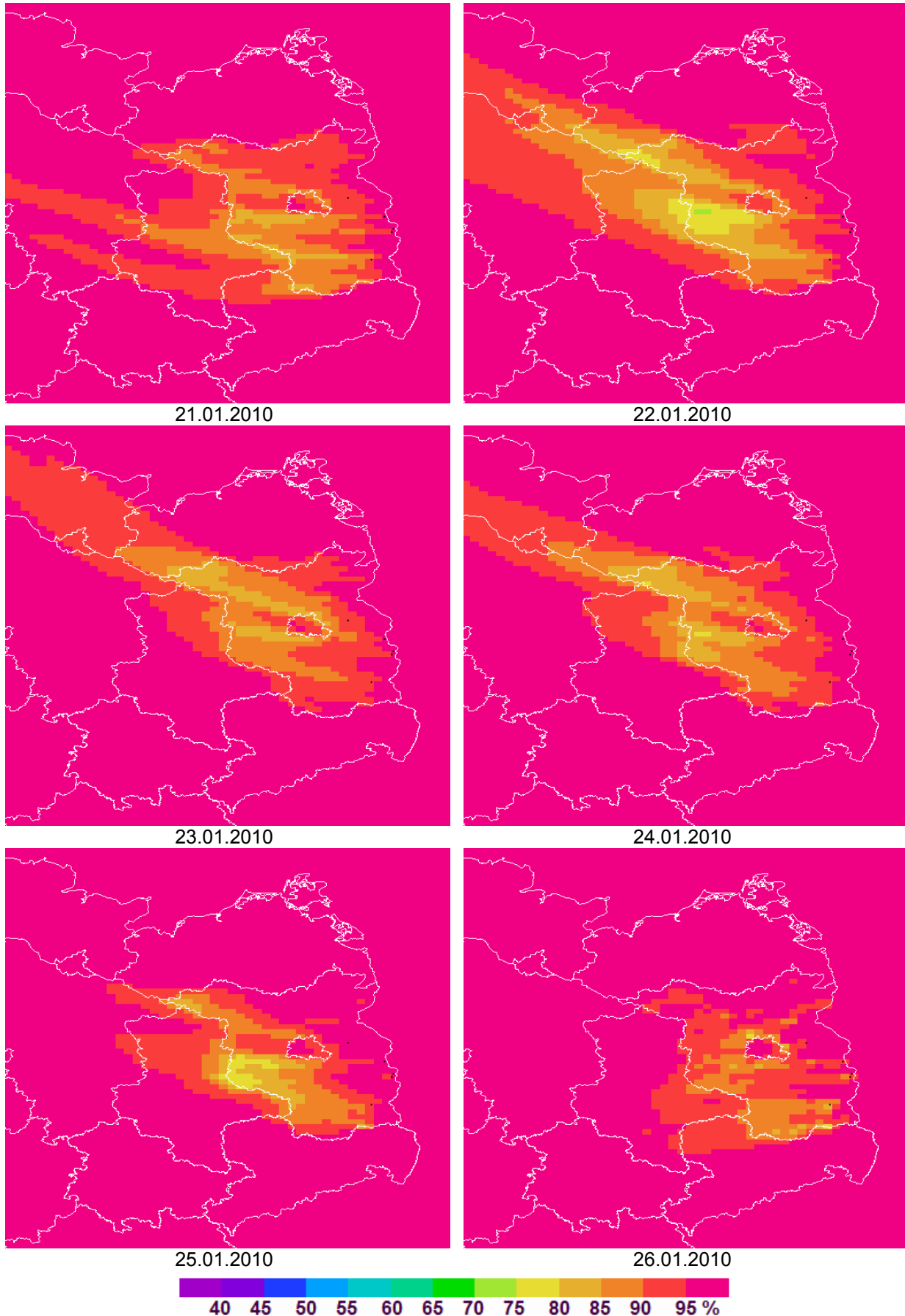


Abbildung 6-46: Relative Beiträge des Ferntransports für die Überschreitungstage, modelliert mit RCG (Teil 1)

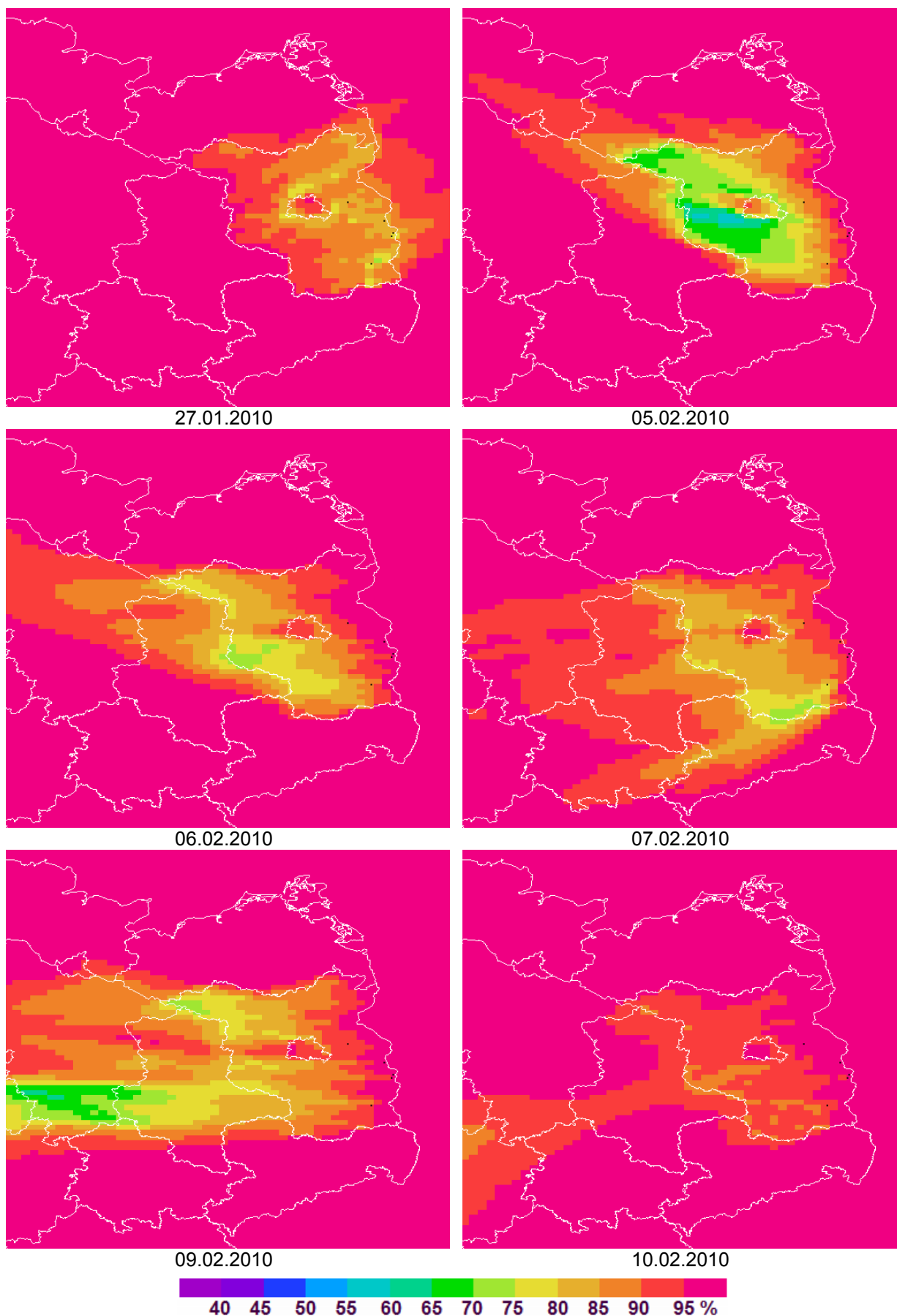




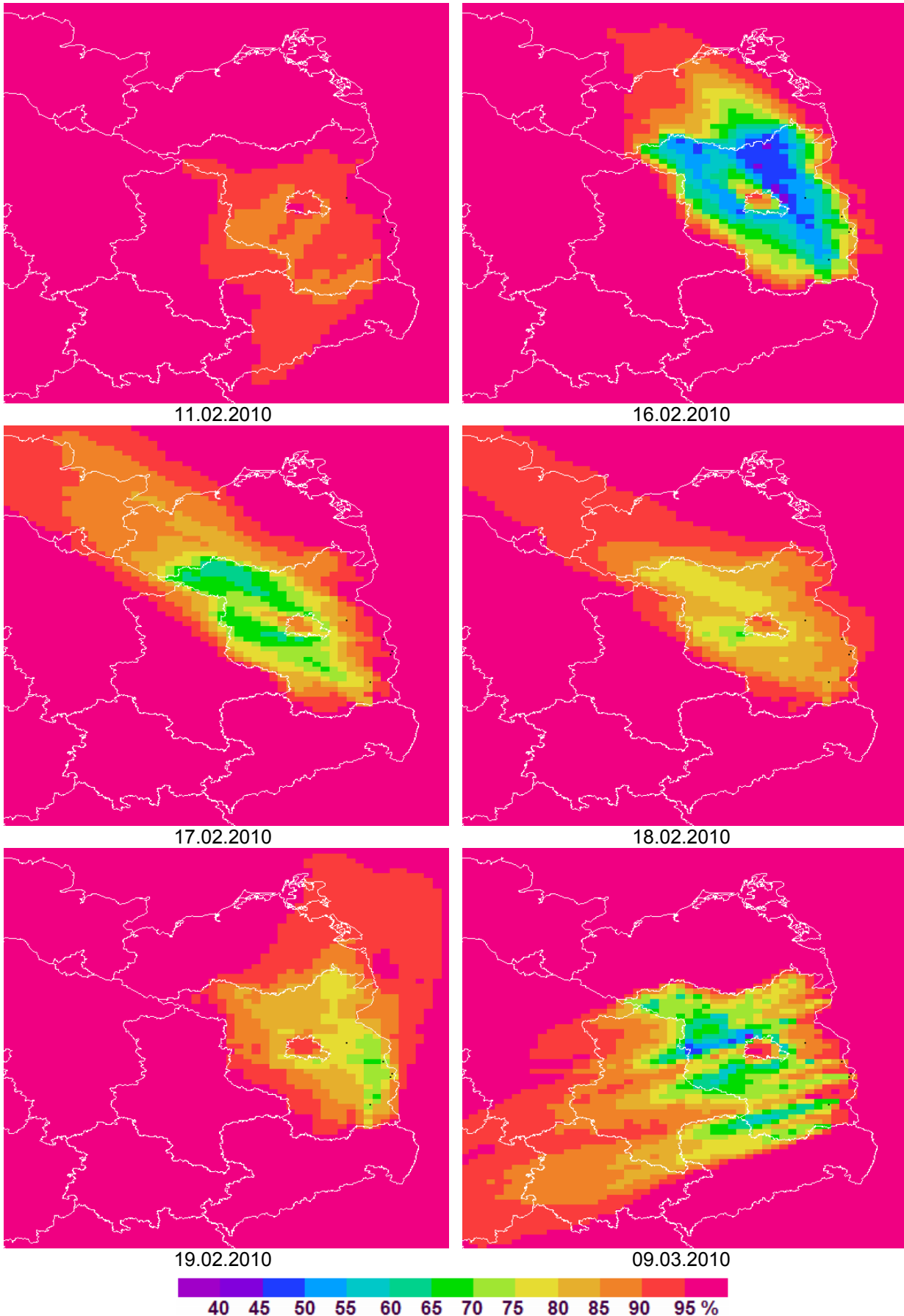
**Abbildung 6-47: Relative Beiträge des Ferntransports für die Überschreitungstage, modelliert mit RCG (Teil 2)**



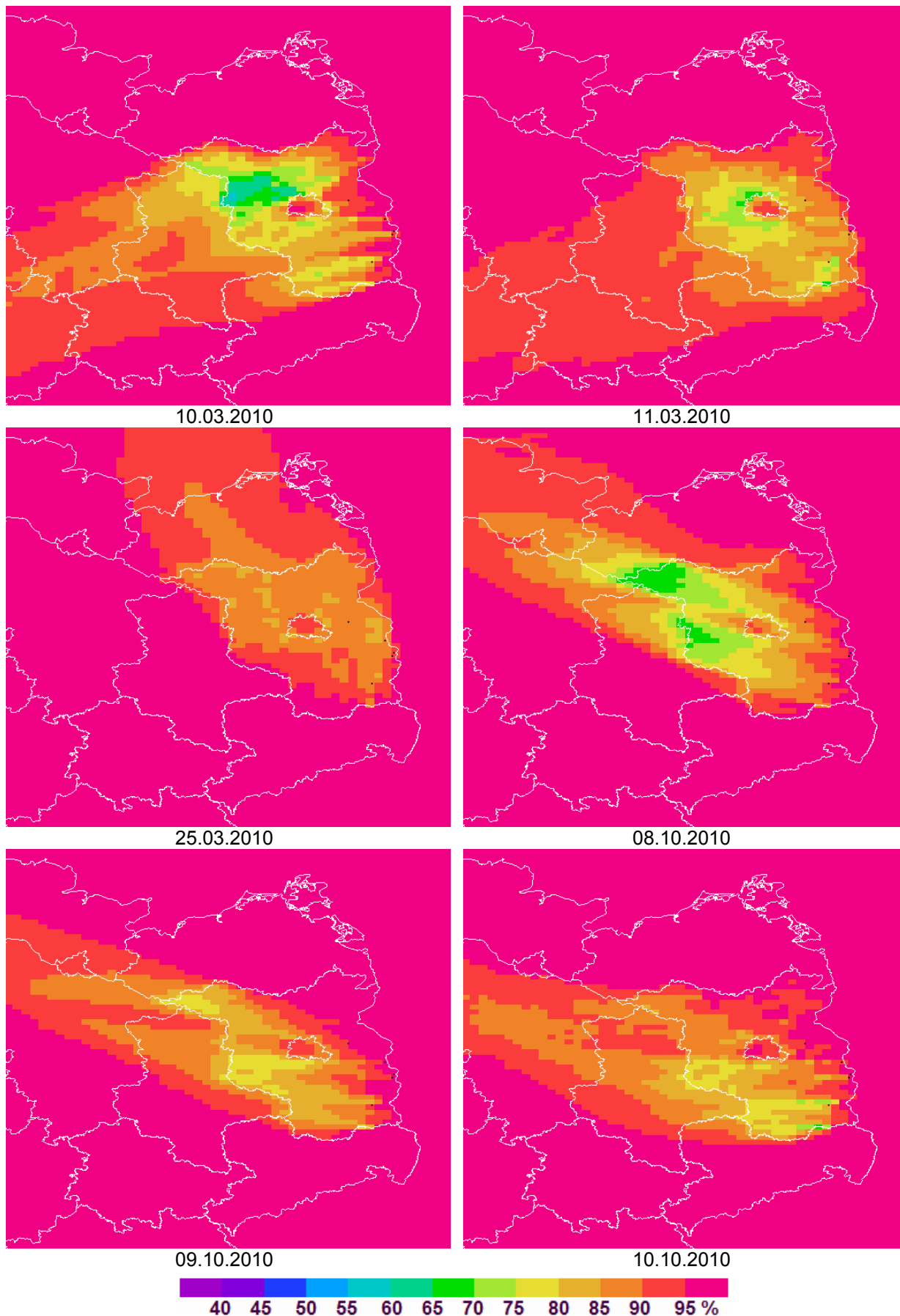
**Abbildung 6-48: Relative Beiträge des Ferntransports für die Überschreitungstage, modelliert mit RCG (Teil 3)**



**Abbildung 6-49: Relative Beiträge des Ferntransports für die Überschreitungstage, modelliert mit RCG (Teil 4)**

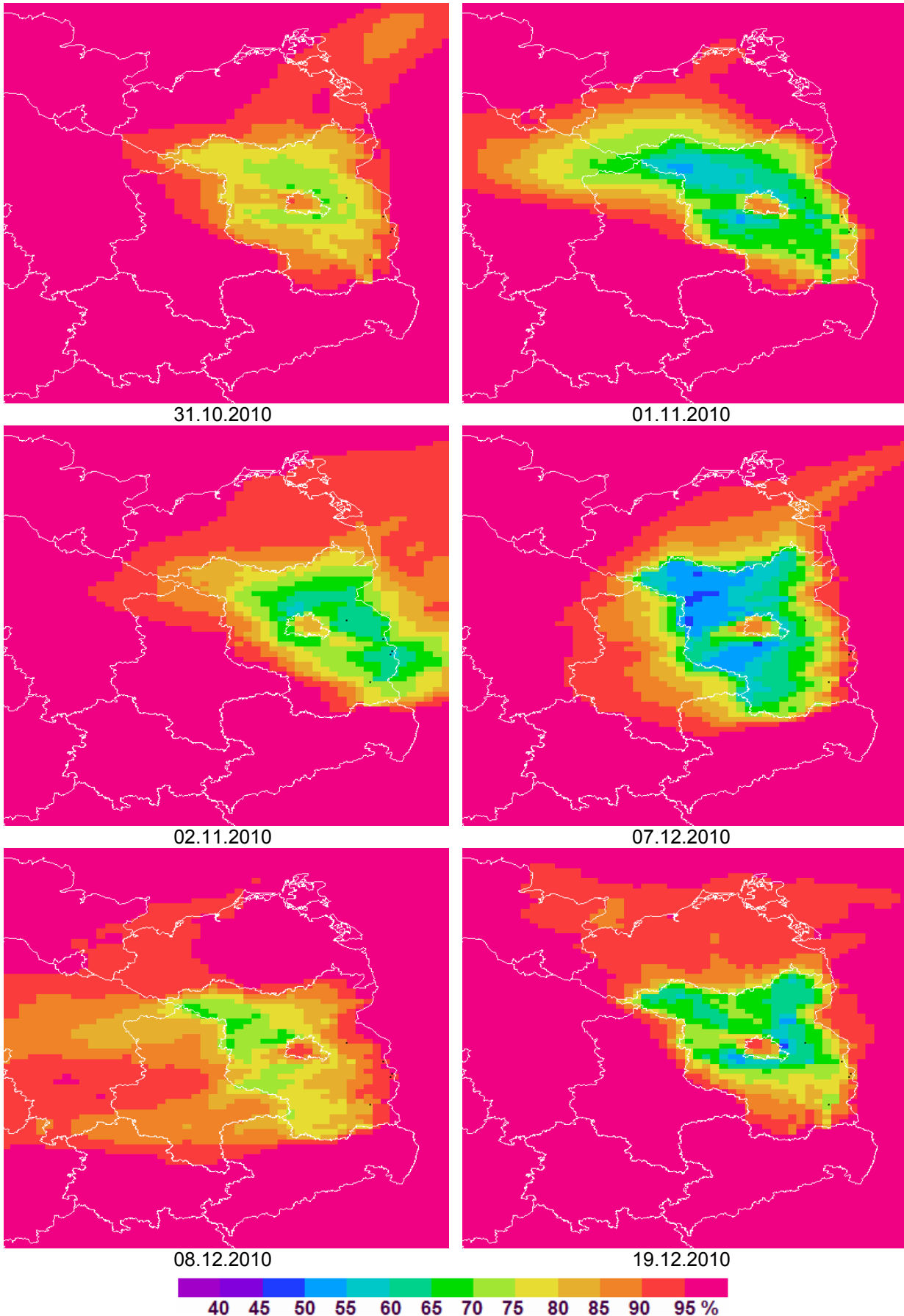


**Abbildung 6-50: Relative Beiträge des Ferntransports für die Überschreitungstage, modelliert mit RCG (Teil 5)**

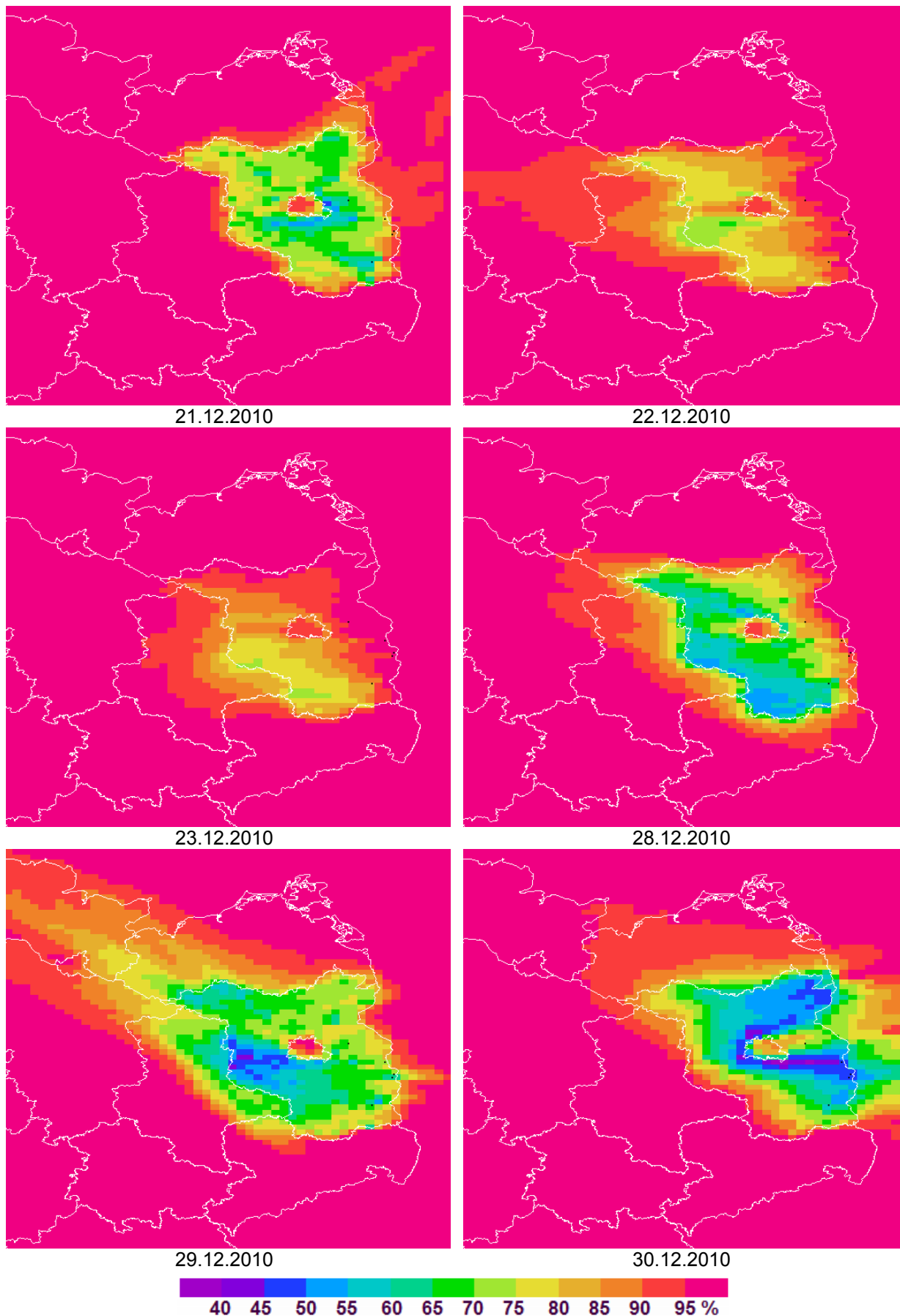


**Abbildung 6-51: Relative Beiträge des Ferntransports für die Überschreitungstage, modelliert mit RCG (Teil 6)**





**Abbildung 6-52: Relative Beiträge des Ferntransports für die Überschreitungstage, modelliert mit RCG (Teil 7)**



**Abbildung 6-53: Relative Beiträge des Ferntransports für die Überschreitungstage, modelliert mit RCG (Teil 8)**

## 6.7 Lokale Ausbreitungsrechnungen

Zur besseren Abschätzung lokaler und regionaler Beiträge zu den Überschreitungssituationen und als Grundlage zur Entwicklung, Bewertung und Quantifizierung von Maßnahmen wurden lokale Modellrechnungen für die nähere Umgebung der Messstationen durchgeführt.

Als Modell wurde das Ausbreitungsmodells LASAT (Janicke, 2007), das auch Grundlage des Ausbreitungsmodells AUSTAL2000 der aktuellen TA Luft ist, eingesetzt. LASAT ist ein Partikelmodell nach Richtlinie VDI 3945 Blatt 3 (KRdL, 2000). Es berechnet für ein dreidimensionales Modellgebiet die Ausbreitung von Spurenstoffen in der Atmosphäre, indem es für ein repräsentatives Ensemble von Spurenstoff-Partikeln die Bewegung mit Hilfe eines stochastischen Prozesses simuliert (Lagrange-Verfahren). Um das der Ausbreitungsrechnung zugrunde liegende Wind- und Turbulenzfeld für komplexes Gelände mit oder ohne Gebäude zu ermitteln, ist ein diagnostisches Windfeldmodell integriert.

Das Modellgebiet wird durch ein räumliches Gitter in geeigneter Auflösung dargestellt. LASAT verwendet in horizontaler Richtung ein äquidistantes Gitter, in vertikaler Richtung sind variable Gitterweiten möglich. Die Verwendung mehrerer ineinander geschachtelter Netze zur feineren Auflösung einzelner Bereiche innerhalb eines Modellgebiets ist möglich. Die Topographie sowie Gebäude und andere Strömungshindernisse können in der Auflösung des der Rechnung zu Grunde liegenden Modellgitters berücksichtigt werden.

Eingangsdaten für die Berechnungen sind meteorologische Daten als Zeitreihe oder Ausbreitungsklassenstatistik, die Daten der zu berücksichtigenden Emissionen im Modellgebiet sowie gegebenenfalls die Topographie und die Bebauung im Modellgebiet. Emissionen können als Punkt-, Linien-, Flächen-, Raster- und Volumenquellen angegeben werden, eine Abgasfahnenüberhöhung wird parametrisch erfasst. Sowohl die meteorologischen Daten als auch die Quellstärken der einzelnen Quellorte können als Zeitreihe vorgegeben werden. Die Ergebnisse werden für jeden Zeitschritt der Zeitreihe berechnet und können beliebig aggregiert ausgegeben werden, so dass Aussagen sowohl zu Kurzzeitkennwerten als auch zu Jahresmittelwerten direkt aus den Ergebnissen abgeleitet werden können.

Für die vorliegende Fragestellung wäre prinzipiell auch ein Einsatz des RCG-Modells für die Berechnungen in den Untersuchungsgebieten möglich. Allerdings erforderte der Einsatz dieses Modells einen ungleich höheren Aufwand, da zum einen – aufgrund der chemischen Prozessmodellierung – Emissionen für deutlich mehr Substanzen als PM10 und  $\text{NO}_{x/2}$  aufbereitet werden müssen. Zum anderen wären für die erforderliche räumliche Auflösung in den Untersuchungsgebieten von 1 km oder kleiner zahlreiche Netzsachtelungen erforderlich, und die Rechnungen müssten immer von der europaweiten Skala genestet bis in die lokale Skala laufen. Der Hauptvorteil des RCG-Modells für die hier vorliegende Fragestellung ist die Fähigkeit, die sekundäre Aerosolbildung zu modellieren, in der aus gasförmigen Vorläuferstoffen wie  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  und  $\text{NH}_3$  sekundäre Partikel wie Sulfate, Nitrate und Ammonium entstehen, die einen großen Teil der PM10-Immissionen verursachen. In der hier zu untersuchenden räumlichen Skala mit Transportwegen von etwa 20 km und entsprechend kurzen Verweilzeiten im Modellgebiet sind diese Prozesse allerdings von untergeordneter Bedeutung, so dass der für den Einsatz von RCG zusätzlich erforderliche Aufwand nicht gerechtfertigt ist.

### 6.7.1 Ungefasste Quellen

Für die lokalen Ausbreitungsrechnungen war zu eruieren, ob, und wenn ja, inwieweit sich in den Emissionskatasterdaten (s. Abschnitt 5.5) nicht enthaltene, sogenannte „ungefasste Quellen“ aus der Flächennutzung ableiten und gegebenenfalls in den Berechnungen berücksichtigen lassen.

Für die Berücksichtigung dieser ungefassten Quellen ergeben sich zwei grundsätzliche Schwierigkeiten. Die erste Schwierigkeit besteht darin, diese Quellen überhaupt zu identifizieren. Dies ist kein prinzipielles Problem und lässt sich im Zweifelsfall durch intensive Vor-Ort-Recherche lösen. Allerdings ist dies mit vertretbarem Aufwand nur für sehr kleine Gebiete möglich, für größere Bereiche müssen andere Ansätze gefunden werden. Die zweite, und viel größere Schwierigkeit besteht darin, für diese Quellen dann Emissionen abzuschätzen. Dies ist auch der Hauptgrund, warum solche Quellen standardmäßig in den Katastern nicht erfasst sind.

#### 6.7.1.1 Mögliche Quellen

Die Identifikation dieser Quellen sollte für die fünf Untersuchungsgebiete der Ausbreitungsrechnungen in bis zu 5 km Entfernung zu den Messstationen jeweils aufwind der Messstationen für die Windrichtungen der Überschreitungstage entsprechend Abschnitt 2 erfolgen. Dazu waren mit dem LUGV Brandenburg abgestimmte, automatisierte bzw. regelbasierte Verfahren, gestützt auf digitale Nutzungsdaten und digitale Daten zur Flächenbeschaffenheit (z. B. Erosionskataster), vorgesehen, die in Einzelfällen anhand digitaler Karten und Luftbilder zu prüfen waren.

Als mögliche ungefasste Quellen kamen dabei insbesondere folgende Quellgruppen in Betracht:

- Schüttgutumschläge und Lagerung,
- unbefestigte, von Schwerlastverkehr befahrene Straßen,
- landwirtschaftliche Flächen,
- vegetationsfreie Flächen sowie
- gegebenenfalls in den Katastern nicht enthaltene Deponien oder ähnliches.

#### 6.7.1.2 Identifikation und Modellierung der Quellen

In einem ersten Schritt wurden für alle fünf genannten Untersuchungsgebiete die Anlagenstandorte aus dem Kataster der genehmigungsbedürftigen Anlagen (s. Abschnitt 5.5) mit den Lagen der ATKIS-Objektarten Deponie (2122), Kraftwerk (2126), Heizwerk (2133), Hochofen (2322), Tagebau/Grube/Steinbruch (2301) sowie Halde/Aufschüttung (2302) und den Luftbildern verglichen. Dabei wurden keine relevanten Quellobjekte identifiziert, die in den Katasterdaten nicht auch mit einer Quelle versehen waren. An einigen Stellen mit mehrdeutiger Datenlage konnte in Abstimmung mit dem LUGV die Situation geklärt und den Katasterdaten der Vorrang gegeben werden. So sind beispielsweise rund um die Messstation in Cottbus im ATKIS-Datensatz drei Heizwerke verzeichnet, zu denen es im Kataster keine Entsprechung gibt und die, nach Aussagen des LUGV, tatsächlich auch nicht mehr existieren bzw. in Betrieb sind.

Lediglich bei den Objektarten Tagebau/Grube/Steinbruch (2301) war nicht immer zweifelsfrei zu klären, inwieweit hier möglicherweise noch nicht gefasste Emissionen vorhanden sind. Zur Berücksichtigung dieser Quellgruppe wird auf die Ausführungen in Abschnitt 6.7.1.2.3 verwiesen.

Für das weitere Vorgehen zur Berücksichtigung ungefasster Quellen wurde zweigleisig vorgegangen. Zum einen wurde untersucht, welche Quellen sich zuverlässig automatisiert bzw. regelbasiert identifizieren lassen. Zum anderen wurden parallel Informationen gesichtet und bewertet, mit denen sich die Emissionen der Quellen quantifizieren lassen. Die wichtigste Grundlage dafür sind die Richtlinien VDI 3790 Blatt 1 und 3 zu Emissionen aus diffusen Quellen (KRdL, 2005, 2010), aber z. B. auch aktuelle Einzeluntersuchungen wie in Braun et al. (2012), Düring et al. (2011), sowie Berichte zur Bodenerosion (LUNG MV, 2002; Koschitzki et al., 2008).

Eine besondere Schwierigkeit liegt hier zusätzlich darin, dass Einzeltage modelliert werden und daher für die Emissionsbestimmung i. d. R. nicht auf jahresmittlere Verhältnisse zurückgegriffen werden kann, sondern möglichst detailliert die Aktivitäten bzw. emissionsrelevanten Vorgänge zu erfassen sind. Gleichzeitig ist für die lokale Ausbreitungsrechnung eine hohe räumliche Auflösung der Quellstruktur nötig.

#### **6.7.1.2.1 Lage möglicher Quellen**

Zur Identifikation möglicher Quellen standen der ATKIS- und der differenziertere ALK-Datensatz zur Verfügung. Aus den darin jeweils enthalten Objektarten wurden die in Tabelle 6-8 aufgeführten als potentiell emissionsrelevant betrachtet, zunächst ungeachtet der Tatsache, dass für manche von ihnen, wie z. B. Truppenübungsplätze, keine Emissionsabschätzung möglich sein wird. Dabei wurden zunächst alle ATKIS- und ALK-Objektarten identifiziert, die in den der 5-km-Entfernung um die Messstationen entsprechenden Modellgebieten (s. Abschnitt 6.7.2.1) vorkommen. Die ATKIS-Objektarten wurden als Grundlage verwendet und diesen die zugehörigen, i. d. R. räumlich differenzierteren ALK-Objekte gegenübergestellt.



**Tabelle 6-8: Mögliche emissionsrelevante Flächenobjekte in ATKIS/ALK**

ATKIS		ALK	
Objektart	Bezeichnung	Objektart	Bezeichnung
2112	Industrie- und Gewerbefläche	1740	Lagerung
		3220	Schutt
2122	Deponie		
2126	Kraftwerk		
2129	Kläranlage, Klärwerk	2610	Abwasserbeseitigung
2132	Gärtnerei	2740	Gewächshaus
		6300	Gartenland, allgemein
		6320	Baumschule
2133	Heizwerk		
2201	Sportanlage	2810	Sport
		4110	Sportplatz
		4100	Sportfläche
2301	Tagebau, Grube, Steinbruch	1700	Gebäude- und Freifläche -Gewerbe und Industrie-
		3100	Betriebsfläche Abbauland
		3110	Sand
		3120	Kies
		3160	Kohle
		9530	Stillgelegtes Abbauland
2302	Halde, Aufschüttung	1700	Gebäude- und Freifläche -Gewerbe und Industrie-
		3510	Abfall
		3620	Stilllegung
		3230	Schlacke
2313	Vorratsbehälter, Speicherbauwerk	1700	Gebäude- und Freifläche -Gewerbe und Industrie-
		2510	Wasser
2314	Absetzbecken, Schlammteich, Erd-faulbecken	2610	Abwasserbeseitigung
		3520	Schlamm
		3530	Abwasser
2322	Hochofen	1700	Gebäude- und Freifläche -Gewerbe und Industrie-
4101	Ackerland	6100	Ackerland, allgemein
		6110	Ackerland
4102	Grünland	6200	Grünland, allgemein
		6210	Grünland
		6920	Grünland - brach
4120	Vegetationslose Fläche	2910	Bauplatz
		3120	Kies
		5400	Bahngelände
		5410	Eisenbahn
7403	Truppenübungsplatz, Standort-übungsplatz	5590	Anderer Flugplatz
7499	Ehemaliges militärisches Sperrgebiet		
		5210	Fahrweg (Befestigung unklar)
		9500	Unland
		9590	Anderes Unland

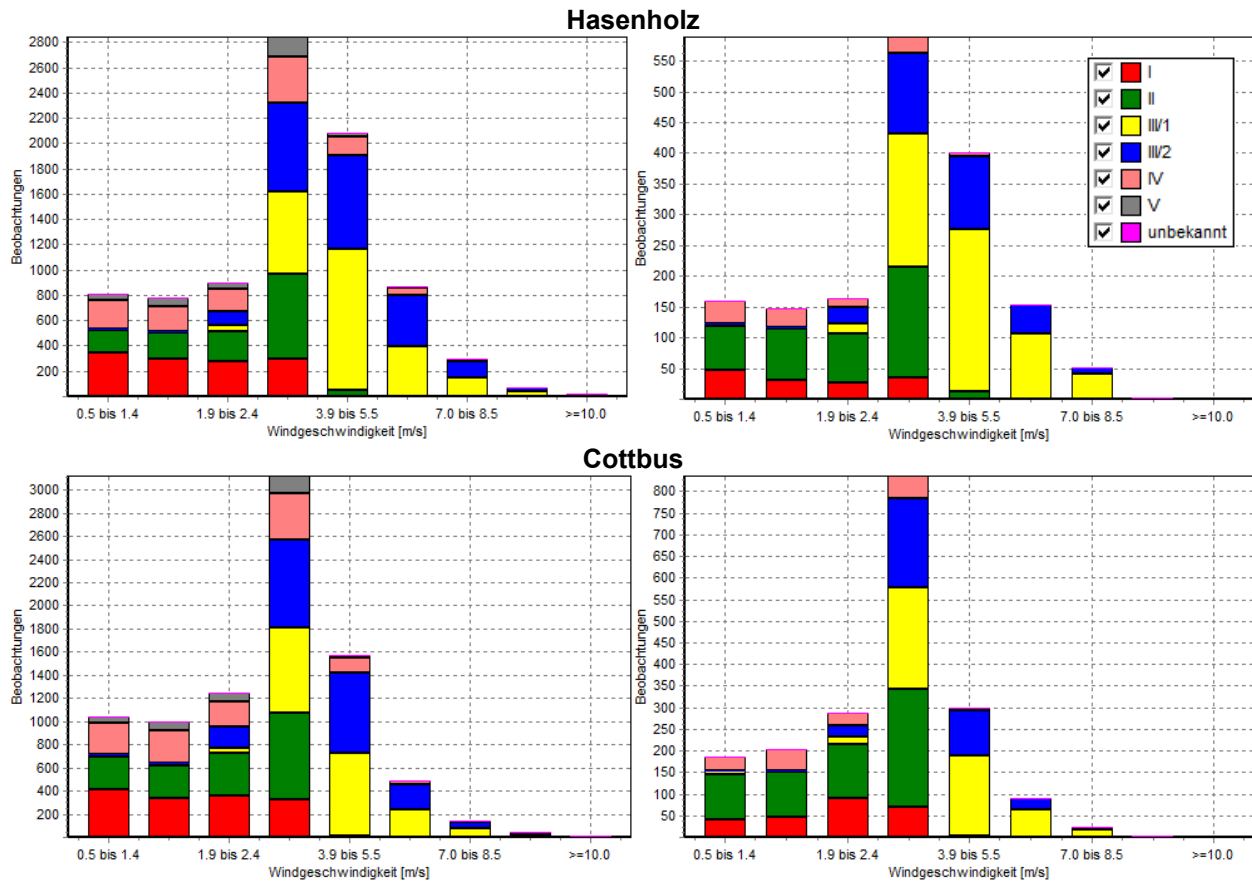
### 6.7.1.2.2 Winderosion landwirtschaftlicher und vegetationsfreier Flächen

Für die Staubemissionen aufgrund von Aufwirbelung bzw. Winderosion von landwirtschaftlichen und vegetationsfreien Flächen ergaben die Literaturlauswertungen und ergänzenden Informationen des Leibniz-Zentrums für Agrarlandschaftsforschung in Müncheberg (ZALF, 2012), dass die Nutzung des Bodenerosionskatasters für die Fragestellung nicht empfohlen wird, da es zum einen nur eine Art „Vorstudie“ ist, die am Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg (LBGR) weiterentwickelt wird, und entscheidende Parameter wie insbesondere die Feuchte noch fehlen. Zum anderen basiert das Kataster auf der Bodenübersichtskarte 1:300'000, und eine Verwendung des Katasters wird für „Einzelflächen“, wie sie hier erforderlich wäre, nicht empfohlen, da dessen räumliche Aggregation zu grob ist. Zum dritten liefert das Kataster „nur“ Erosionspotentiale und keine Aussagen zu Massen.

Schließlich gibt es einige generelle Punkte, die einen Beitrag durch Aufwirbelung bzw. Winderosion von landwirtschaftlichen und vegetationsfreien Flächen für die hier vorliegende Fragestellung als wenig relevant erscheinen lassen:

- Emissionen durch Bodenbearbeitung sind vermutlich relevanter, als die durch Winderosion. Sie lassen sich aber für Einzelflächen an einzelnen Tagen nicht bilanzieren.
- Winderosion findet vornehmlich an trockenen Tagen mit Windgeschwindigkeiten > 6 - 8 m/s (z. T. wird auch 4 m/s als Schwellwert angegeben) statt.
- Relevante Zeiträume für Winderosion sind März - Mai und Juli - September (Ernte) sowie ggf. sehr trockene Oktober und Tage im Winter bei anhaltender Ostwetterlage ohne Schnee. Bedingt durch klimatische Faktoren wird in den Wintermonaten i. d. R. kein Feinstaub von Ackerflächen aufgewirbelt, denn in sehr kalten Wintern sind Böden gefroren oder mit Schnee bedeckt, während in milden Wintern die Böden aufgrund der klimatischen Wasserbilanz sowie erhöhter Luftfeuchte und Taubildung ausreichend durchfeuchtet sind. Gleichzeitig kann davon ausgegangen werden, dass es durch den Anbau von Wintergetreide und Zwischenfrüchten bzw. Grünbrachen ohnehin nur wenig offene Ackerflächen gibt. Erst Anfang März können die Bodenoberflächen aufgrund der Feldbearbeitung und ausbleibender Niederschläge ausreichend austrocknen, um emissionsrelevant zu sein (ZALF, 2012; Spindler et al, 2008).

Vergegenwärtigt man sich nochmals, dass von den 48 Überschreitungstagen bis auf drei Tage Anfang März, den 25.3. sowie zwei Tage Ende Oktober mit 42 Tagen fast alle in den Wintermonaten Januar, Februar, November und Dezember liegen sowie die vielen Tagen mit Schneedecke im Januar, Februar und Dezember, so wird deutlich, dass von dieser Quellgruppe keine relevanten Beiträge zu erwarten sind. Ergänzend kommt hinzu, dass die genannten für Winderosion relevanten Windgeschwindigkeiten insgesamt schon im ganzen Jahr eher selten und an Überschreitungstagen relativ noch seltener vorkommen, wie Abbildung 6-54 beispielhaft für Hasenholz und Cottbus verdeutlicht.



Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeiten nach Ausbreitungsklassen in Hasenholz (oben) und Cottbus (unten) für alle Stunden des Jahres (links) und für die Stunden der Ausbreitungsrechnungen (rechts; s. auch Abschnitt 6.7.2.1)

**Abbildung 6-54: Häufigkeitsverteilungen der Windgeschwindigkeiten in Hasenholz und Cottbus**

Vor diesem Hintergrund wurde in Absprache mit dem LUGV entschieden, dass eine weitere Vertiefung hinsichtlich Staubemissionen aufgrund von Aufwirbelung bzw. Winderosion von landwirtschaftlichen und vegetationsfreien Flächen für die lokale Ausbreitungsmodellierung im vorliegenden Projekt nicht zielführend ist und nicht weiterverfolgt wird.

### 6.7.1.2.3 Schüttgutumschläge, Lagerung und Emissionen unbefestigter Straßen

Aus der Identifikation potentieller Quellen der Objektarten Tagebau/Grube/Steinbruch (2301) sowie Halde/Aufschüttung (2302) gemäß Abschnitt 6.7.1.2.1 ergaben sich acht potentielle Emissionsstandorte für Schüttgutumschläge. ALK-Fahrwege, die hinsichtlich einer befestigten oder unbefestigten Oberfläche nicht differenziert sind, finden sich in großer Zahl, jedoch i. d. R. nicht auf Betriebsgeländen.

Für Emissionen durch Schüttgutumschläge, Lagerung und unbefestigte, von Schwerlastverkehr befahrene Straßen ist zur Emissionsbestimmung die Richtlinie VDI 3790 Blatt 3 (KRdL, 2010) maßgeblich, in der Formeln zu Gesamtstaubemissionen in Abhängigkeit zahlreicher Parameter angegeben werden. Emissionsfaktoren für PM10 müssen im Anschluss abgeschätzt werden, wozu, z. B. in Pregger (2006), Ansätze vorliegen.

In der Richtlinie wird zunächst prinzipiell festgestellt, dass die darin betrachteten diffusen Quellen sehr komplexe Emissionsmechanismen haben. Die Emissionen entstehen dabei durch Übergang von Partikeln eines „Haufenwerks“ in die Luft aufgrund von Kräfteinwirkung (Umschlag, Winderosion). Als bedeutsamste Quellen werden Be- und Entladevorgänge, schwerpunktmäßig in See- und Binnenhäfen, sowie der besonders emissionsintensive Getreide- und Futtermittelumschlag genannt.

Generell gilt, dass eine Vielzahl spezialisierte Anlagen(typen) für Lagerung, Umschlag und Transport existiert und insbesondere der zeitliche Verlauf der oft diskontinuierlichen Prozesse i. d. R. weitgehend unbekannt ist.

Die bestimmenden Kenngrößen für die Emissionen sind dabei abhängig von

- den Materialeigenschaften des Schüttguts hinsichtlich z. B.
  - Dichte,
  - Form,
  - Fettgehalt
 und werden beispielsweise für verschiedenen Hafersorten differenziert,
- den Anlageneinflüssen hinsichtlich z. B.
  - Umschlagart und
  - Lagerdauer,
- möglichen Emissionsminderungsmaßnahmen und
- insbesondere auch von Umgebungs- bzw. meteorologischen Bedingungen wie z. B.
  - Ausbreitungsbedingungen
  - Niederschlag
  - Temperatur

Daraus folgt, dass solche Emissionen starken Schwankungen unterliegen, nur sehr schwer ermittelbar sind und dies aufwendige Messungen erfordert. Als Konsequenz daraus liegen auch keine allgemeingültigen Rechenansätze vor. Es gibt jedoch Ansätze für die Abwehung von Halden, den Umschlag von Schüttgütern und, eingeschränkt, auch für die Staubentwicklung bei Fahrbewegungen. „Die Genauigkeit ... bietet im Allgemeinen eine gute Darstellung der Realität. Im Einzelfall kann es jedoch zu erheblichen Abweichungen kommen.“ (KRdL, 2010; S. 14). Zu Emissionen aus dem Umschlag wird weiter angemerkt, dass die Emissionsrelevanz von Greifern nach Berechnung geringer als nach „Erfahrungswerten“, weil dort viele (Teil-)Prozesse eine Rolle spielen, die rechnerisch nicht zugänglich sind und der Greiferbetrieb anfällig für menschliches Fehlverhalten ist.

Die Emissionen aufgrund von Lagerung werden abhängig von der Windgeschwindigkeit, der mittleren Korngröße, der Materialfeuchte und Korndichte sowie dem Böschungswinkel der Schüttung berechnet.

Prinzipiell wird für die Berechnung von Emissionen durch Aufnahme und Abwurf angesetzt, dass diese proportional zur Masse sind. Die Richtlinie enthält Formeln und Tabellen bzw. Hinweise für normierte Emissionsfaktoren einzelner Stoffe zur Multiplikation mit der jeweiligen Masse. Bei Aufnahme und Abwurf sind diese normierte Emissionsfaktoren stark abhängig von der „Neigung der Stoffe zum Staub“, die visuell bestimmt wird und, abhängig von Masse und Verfahren, einen Einflussfaktor von 10 - 50 auf den normierten Emissionsfaktor hat. Zur Berechnung der Faktoren sind detaillierte Kenntnisse über die einzelnen Vorgänge wie Geräteart und Abwurfhöhe nötig. Ergänzt wird das

Verfahren um einen Ansatz für „nicht-sichtbares“ Staubverhalten auf Basis von an der jeweiligen Quelle durchzuführenden Abwurfversuchen. Zur alternativen Verwendung der tabellierten Werte zur „Neigung der Stoffe zum Stauben“, wird angemerkt: „Es kann aber zu (erheblichen) Abweichungen von diesen Angaben kommen. ... Es empfiehlt sich daher, möglichst eigene Einschätzungen vorzunehmen.“ (KRdL, 2010; S. 22).

Für Emissionen nur durch Aufnahme wird angesetzt, dass diese vorrangig vom Verfahren abhängen und nicht proportional zur Masse sind.

Für die Berechnung von Staubemissionen durch Aufwirbelung bei Fahrbewegungen, Abgase, Bremsen und Reifenabrieb enthält die Richtlinie auch einen groben Ansatz der US-EPA für unbefestigte Werkstraßen in Form von je einer Formel für trockene Fahrwege und Jahresmittelwerte mit Berücksichtigung von Niederschlag. Entscheidende Eingangsparameter sind hier zum einen der Feinkornanteil des Straßenmaterials, der, auf Basis von EPA-Studien, tabelliert für Betriebsarten wie z. B. Stahlproduktion, Steinbrüche oder Kohleabbau vorliegt und um den Faktor 6 variiert. Für PM10-Emissionen wirkt dieser Feinkornanteil quasi linear auf die Emissionen, und gemäß EPA wird empfohlen, ihn lokal zu messen. Zum anderen hängen die Emissionen von der mittleren Masse der Fahrzeugflotte ab.

Des Weiteren enthält die Richtlinie noch Hinweise für die Bestimmung der Emissionen befestigter Fahrwege und zu den Sonderfällen Tagebau sowie Halden mit wasserlöslichen Gütern und allgemeine Emissionsfaktoren für den Staubabtrag bei Lagerung und die Staubentwicklung beim Umschlag. Für letzteres werden pauschale Werte für Eisenerz und Steinkohle in g/t angegeben.

In Ergänzung zur aufwändigen Berechnung der Emissionsfaktoren gibt es Tabellen mit mittleren pauschalen Emissionsfaktoren für den Staubabtrag bei Lagerung, die für mittlere Windgeschwindigkeiten von etwa 6 m/s anwendbar sind. Die mittleren Windgeschwindigkeiten in den hier betrachteten Gebieten und Zeiträumen liegen mit Werten zwischen 2.9 und 3.4 m/s deutlich darunter, und Windgeschwindigkeiten von 6 m/s und mehr treten nur äußerst selten auf (s. Abbildung 6-54). Ergänzend dazu finden sich pauschale Werte für Eisenerz und Steinkohle in g/t für den Windabtrag am Lagerort einschließlich Umschlag.

Zur Vereinfachung der Berechnung der normierten Emissionsfaktoren gibt es für verschiedene Aufnahme- und Abwurfverfahren tabellierte Werte in Abhängigkeit von der „Neigung der Stoffe zum Stauben“ und der Anlagenleistung. Zusammen mit Kenntnissen zu den „Umfeldfaktoren“, die je nach Emissionsort zwischen 0.1 und 1 liegen und linear auf die Emissionen wirken, ermöglichen diese die pauschalisierte Abschätzung von Emissionen.

Schließlich finden sich in der Richtlinie Angaben zu Emissionsminderungsmaßnahmen.

Insgesamt bietet die Richtlinie eine gute Grundlage zur detaillierten Emissionsermittlung von Gesamtstaub für einzelne Anlagen, Vorgänge und Stoffe, sofern entsprechende Kenntnisse der Eingangsdaten vorliegen. Gleichzeitig gibt es sehr pauschale Werte für Eisenerz und Steinkohle<sup>8</sup>. Prinzipiell lassen sich Emissionen aus den hier betrachteten Quellen und die daraus resultierenden Immissionen modellieren, wie es z. B. in Braun et al. (2012) und Düring et al. (2011) beschrieben ist. Allerdings sind dies jeweils aufwändige eigenständige Projekte für Einzelanlagen.

---

<sup>8</sup> Weitere sehr pauschale Ansätze finden sich z. B. auch in Pregger (2006).



Für die in diesem Projekt vorliegende Fragestellung ist es unter vertretbarem Aufwand aber nicht möglich, eine sachgerechte Emissionsermittlung durchzuführen. Für diese ist einerseits eine hohe zeitliche und räumliche Differenzierung erforderlich, so dass sich die pauschalen Ansätze nicht verwenden lassen. Andererseits stehen die zahlreichen erforderlichen Eingangsdaten, insbesondere auch Angaben zu zeitlichen Abläufen, für eine detaillierte Ermittlung der Emissionen der einzelnen Standorte nicht zur Verfügung und können im Rahmen des Projekts auch nicht beschafft werden.

Laut Pregger (2006) verursacht der Umschlag Emissionen mit relativ geringen Feinstaubanteilen und führt vor allem im Nahbereich einer Quelle zu Staubbelastungen. Generell wird auch seitens des LUGV davon ausgegangen, dass aus den hier betrachteten diffusen Quellen ab einer Entfernung von sehr wenigen Kilometern von der Quelle keine nennenswerten durch sie verursachten PM10-Immissionen zu erwarten sind. Verschiedene Messkampagnen des LUGV (2011c) zeigen dies beispielhaft für den Lausitzer Braunkohletagebau. Dort wurden geringe Auswirkungen bis zu einer Entfernung von 1 - 2 km, im Einzelfall für den Tagesmittelwert maximal auch bis zu  $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in 13 km Entfernung, festgestellt und das folgende Fazit gezogen: „Insgesamt ergeben die vom LUGV gewonnenen Erkenntnisse zur PM10-Schwebstaubimmission im Umfeld Lausitzer Braunkohletagebaue keinen belastbaren Nachweis für einen markanten Einfluss dieser großflächigen diffusen Quellen.“

Vor diesem Hintergrund wurde in Absprache mit dem LUGV entschieden, dass eine weitere Vertiefung hinsichtlich Schüttgutumschläge und Emissionen unbefestigter Straßen für die lokale Ausbreitungsmodellierung im vorliegenden Projekt nicht zielführend ist und nicht weiterverfolgt wird.

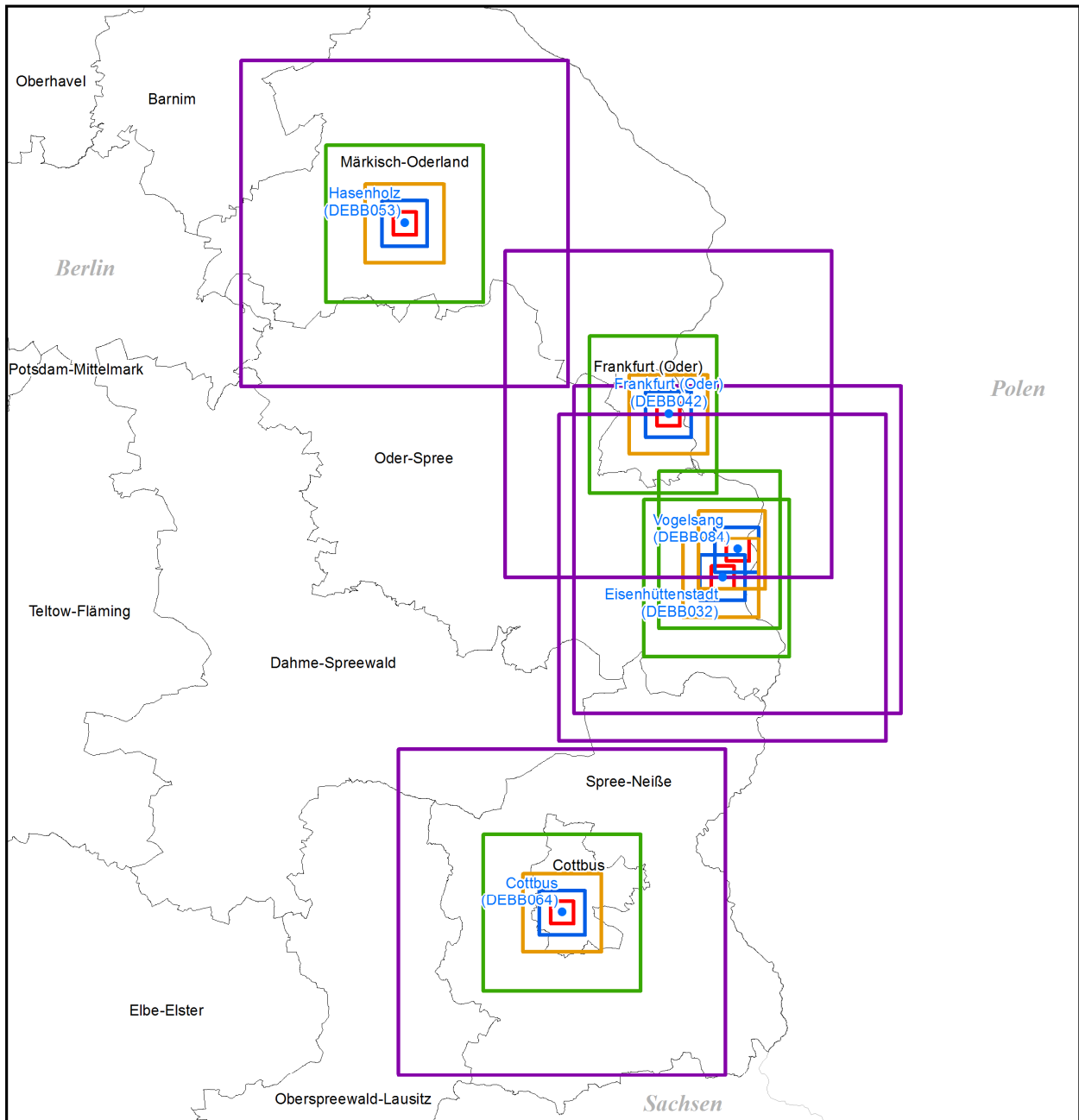
## 6.7.2 Immissionsmodellierung

Für die fünf Messstationen wurde jeweils ein Modellgebiet erstellt. Für jedes dieser Modellgebiete wurden mit den Quellen gemäß Abschnitt 5.5 Ausbreitungsrechnungen zur Bestimmung von Tagesmittelwerten für PM10 für die jeweiligen Überschreitungstage mit dem Modell LASAT durchgeführt. Die Ergebnisse werden tabellarisch und kartographisch aufbereitet, mit den Messwerten verglichen und diskutiert.

### 6.7.2.1 Modellgebiete

Abbildung 6-55 gibt einen Überblick über die Lage der fünf Modellgebiete. Die Ausbreitungsrechnungen wurden für einen Umkreis von etwa 20 km um jede Messstation durchgeführt, um die für die Hintergrundstationen möglicherweise relevanten Emissionsquellen in Brandenburg hinreichend zu erfassen.

Für jedes Modellgebiet wurden fünf ineinander geschachtelte Netze mit nach innen immer höherer horizontaler Auflösung verwendet. Das äußere Netz deckt den Radius von etwa 20 km um die jeweilige Messstation ab, das innere Netz hat einen Radius von etwa 1.5 km um die Station. Die horizontale Auflösung steigt von Netz zu Netz um den Faktor zwei und beträgt im inneren Netz 50 m. Abmessungen und Auflösung der einzelnen Netze sind in Tabelle 6-9 aufgeführt. Dabei wurden die inneren Netze der Modellgebiete Eisenhüttenstadt, Frankfurt (Oder) und Vogelsang am östlichen Rand zum Teil abgeschnitten, da sie außerhalb von Brandenburg liegen.

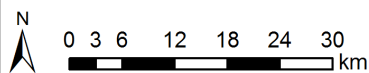


**Analyse der PM10-Grenzwertüberschreitungen im Jahre 2010 im ländlichen und urbanen Hintergrund in Ostbrandenburg**

Kartographie:  
IVU Umwelt GmbH  
Stand: 28.02.2012

**Lage und Netzschachtelung der LASAT-Modellgebiete für die lokalen Ausbreitungsmodellierungen**

- Messstationen
  - Lankreise Brandenburg
  - Staaten
- |            |      |      |      |       |       |
|------------|------|------|------|-------|-------|
| Radius [m] | 1500 | 3000 | 5200 | 10400 | 21600 |
|------------|------|------|------|-------|-------|



Kartengrundlage, bereitgestellt vom LUGV: Nutzung der Geobasisdaten mit Genehmigung des LGB Brandenburg, GB-G 02/09  
Nutzung sonstiger Daten mit Schreiben vom 18.11.2011

**Abbildung 6-55: Lage und Netzschachtelung der LASAT-Modellgebiete für die fünf betrachteten Messstationen**

**Tabelle 6-9: Abmessungen und horizontale Auflösung der geschachtelten Netze**

Netz	Netzgröße in x-Richtung [m]	Netzgröße in y-Richtung [m]	Auflösung in x- und y-Richtung [m]	Anzahl Zellen in x-Richtung	Anzahl Zellen in y-Richtung	Anzahl Zellen pro Netz
1 (äußeres Gebiet)	43200	43200	800	54	54	2916
2	20800	20800	400	52	52	2704
3	10400	10400	200	52	52	2704
4	6000	6000	100	60	60	3600
5 (inneres Gebiet)	3000	3000	50	60	60	3600
<b>Summe Zellen</b>						<b>15524</b>

### 6.7.2.2 Meteorologische Zeitreihen

Grundlage der Meteorologischen Zeitreihen für die lokale Ausbreitungsrechnung bilden die entsprechend Abschnitt 5.4.1 mit TRAMPER erstellten stündlichen Zeitreihen. Diese wurden für die lokale Modellierung auf die Überschreitungstage mit jeweiligem Vorlauf eingeschränkt. Die modellierten Tage für jede Station setzen sich damit zusammen aus

- allen Tagen des Jahres 2010, für die an der jeweiligen Station eine Grenzwertüberschreitung, d. h. ein PM10-Tagesmittelwert  $> 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , gemessen wurde
- einer Vorlaufzeit von mindestens drei Tagen vor jedem Überschreitungstag bzw. jeder zusammenhängenden Episode von Überschreitungstagen
- dem Auffüllen kleinerer zeitlicher Lücken.

Im Ergebnis wurden pro Station zwischen 70 (Hasenholz) und 85 (Eisenhüttenstadt) Tage modelliert.

### 6.7.2.3 Rauigkeiten

Die Bestimmung der mittleren Bodenrauigkeit im 5 km-Umkreis um die Messstationen wurde mit Hilfe von AUSTAL2000 (Janicke, 2011) auf Basis der Bodenoberflächenkatalogs des Corine Land Covers 2006 (EEA, 2007) bestimmt. Die ermittelten Werte schwanken zwischen 0.38 m (Vogelsang) und 0.72 m (Cottbus) und ergeben gerundet für alle Gebiete 0.5 m. Eine Rauigkeitsbestimmung auf Basis des Corine Land Covers 2000 (Janicke 2002, EEA 2005) ergibt Werte, die sich maximal um 0.02 m unterscheiden und gerundet ebenfalls für alle Gebiete 0.5 m. Auf Basis des Corine Land Covers 2000 war auch eine Bestimmung der mittleren Bodenrauigkeit im 20 km-Umkreis um die Messstationen möglich, wobei sich ebenfalls für alle Stationen gerundet eine mittlere Rauigkeitslänge von 0.5 m ergab, die dann auch für die lokalen Ausbreitungsrechnungen angesetzt wurde.

### 6.7.2.4 Emissionen

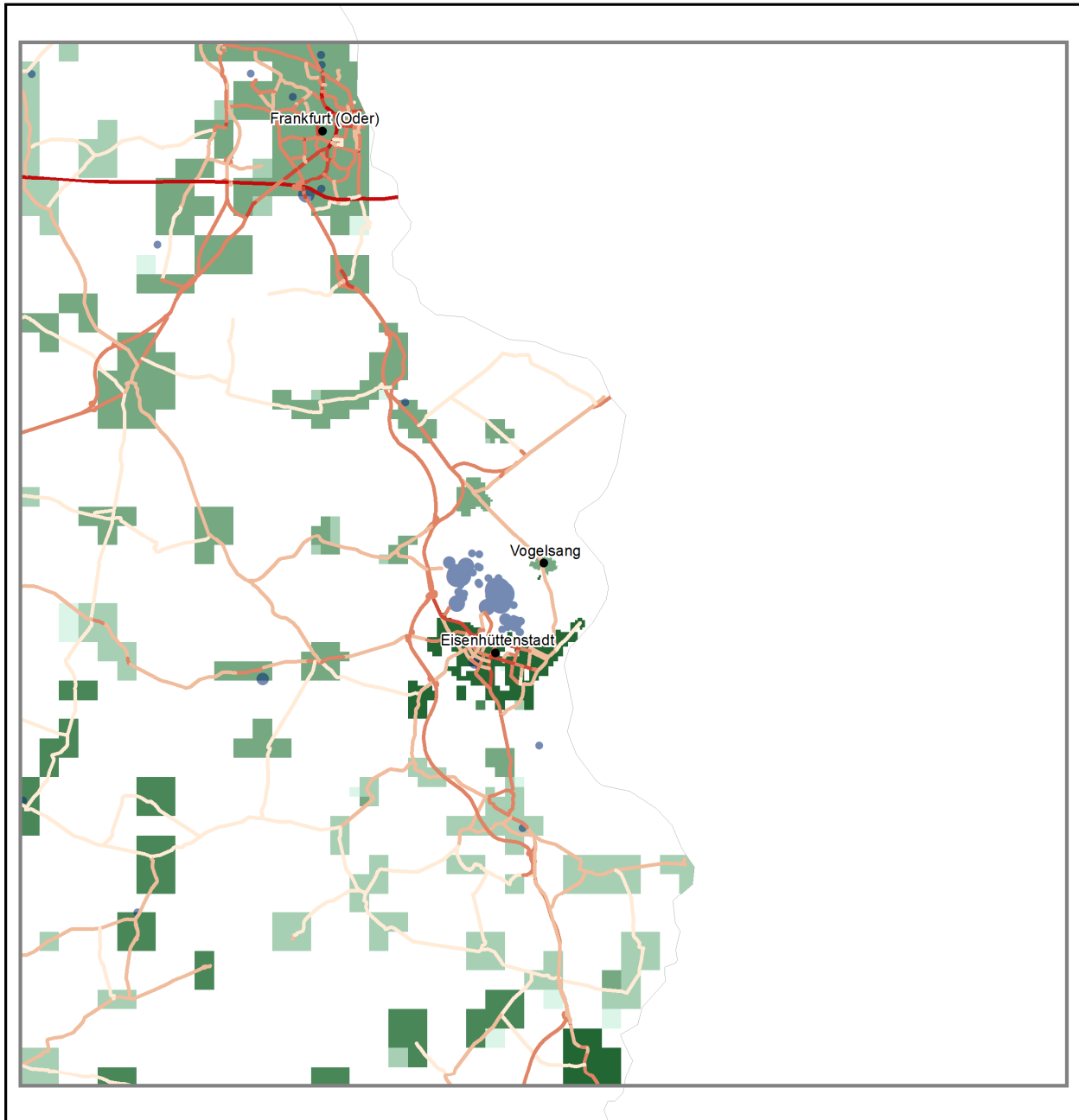
Für die Emissionsquellen Straßenverkehr, genehmigungsbedürftige Anlagen und Hausbrand wurden die Emissionsdaten gemäß Abschnitt 5.5 für die fünf Untersuchungsgebiete übernommen und für die Verwendung in der Ausbreitungsrechnung aufbereitet. Dabei werden jeweils alle Quellen berücksichtigt, die innerhalb der jeweiligen Untersuchungsgebiete liegen.

Die Summen und Anteile der verwendeten Emissionen sind für PM10 in Tabelle 6-10 zusammengestellt.

**Tabelle 6-10: PM10-Emissionen für die Modellgebiete, unterteilt nach Quellgruppen, und Anteile der Quellgruppen an der Gesamtsumme**

Modellgebiet	Industrie [kg/a]	Anteil [%]	Hausbrand [kg/a]	Anteil [%]	Kfz-Verkehr [kg/a]	Anteil [%]	Summe
Cottbus	654 699.4	80.5	46 878.0	5.8	111 766.5	13.7	813 343.9
Eisenhüttenstadt	404 472.7	82.0	18 780.4	3.8	69 718.2	14.1	492 971.3
Frankfurt (Oder)	447 738.2	81.8	13 458.3	2.5	86 030.5	15.7	547 227.0
Hasenholz	82 683.7	39.1	30 942.1	14.6	98 088.2	46.3	211 714.0
Vogelsang	404 564.7	81.7	16 618.2	3.4	74 164.2	15.0	495 347.1

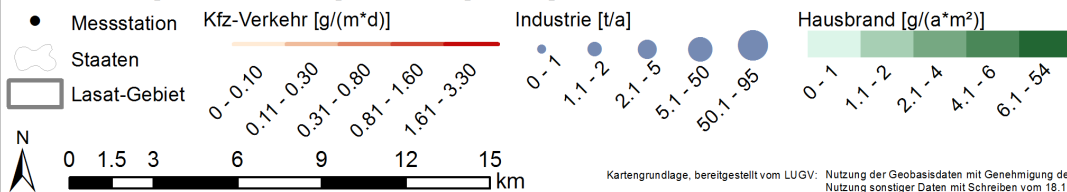
In Abbildung 6-56 bis Abbildung 6-60 ist die räumliche Verteilung der PM10-Emissionen für die einzelnen Modellgebiete dargestellt. Die Umlegung der Emissionen auf das jeweilige Rechengitter erfolgte mit LAS<sup>arc</sup> (IVU Umwelt, 2008). Bei den Hausbrandemissionen finden sich an den jeweiligen Rändern der Untersuchungsgebiete vereinzelt Bereiche mit z. T. deutlich erhöhten flächenbezogenen Emissionswerten (z. B. am Südrand des Untersuchungsgebiets von Hasenholz). Dies sind i. d. R. keine Stellen an denen besonders hohe Hausbrandemissionen auftreten, sondern es handelt sich um Artefakte, die folgendermaßen durch die Umlegung auf die „Wohnbauflächen“ und die „Flächen gemischter Nutzung“ aus AKTIS gemäß 5.5.3 entstanden sind. Als Flächen für diese Umlegung wurden jeweils alle Flächen, die die jeweiligen 20 · 20 km<sup>2</sup> großen Quadrate um die Messstationen schneiden, bereitgestellt. Dadurch gibt es Siedlungsflächen größerer Ortslagen, die die Untersuchungsgebiete schneiden, aber weitgehend außerhalb der eigentlichen Gebiete liegen. Die „Wohnbauflächen“ und die „Flächen gemischter Nutzung“ als „Zielflächen“ der Umlegung sind deutlich kleinteiliger und decken durch die Beschränkung auf die 20 · 20 km<sup>2</sup> großen Quadrate um die Messstationen dann nicht die gesamten Siedlungsflächen der jeweiligen Ortslagen ab. Durch die Umlegung wurden die gesamten Emissionen dieser Siedlungsflächen auf die „Wohnbauflächen“ und die „Flächen gemischter Nutzung“ innerhalb der Untersuchungsgebiete konzentriert. Aufgrund der hohen Entfernung zur Messstation spielt diese geringe räumliche Verzerrung für die Ausbreitungsrechnung jedoch keine Rolle.



**Analyse der PM10-Grenzwertüberschreitungen im Jahre 2010 im ländlichen und urbanen Hintergrund in Ostbrandenburg**

Kartographie:  
ivU Umwelt GmbH  
Stand: 28.02.2012

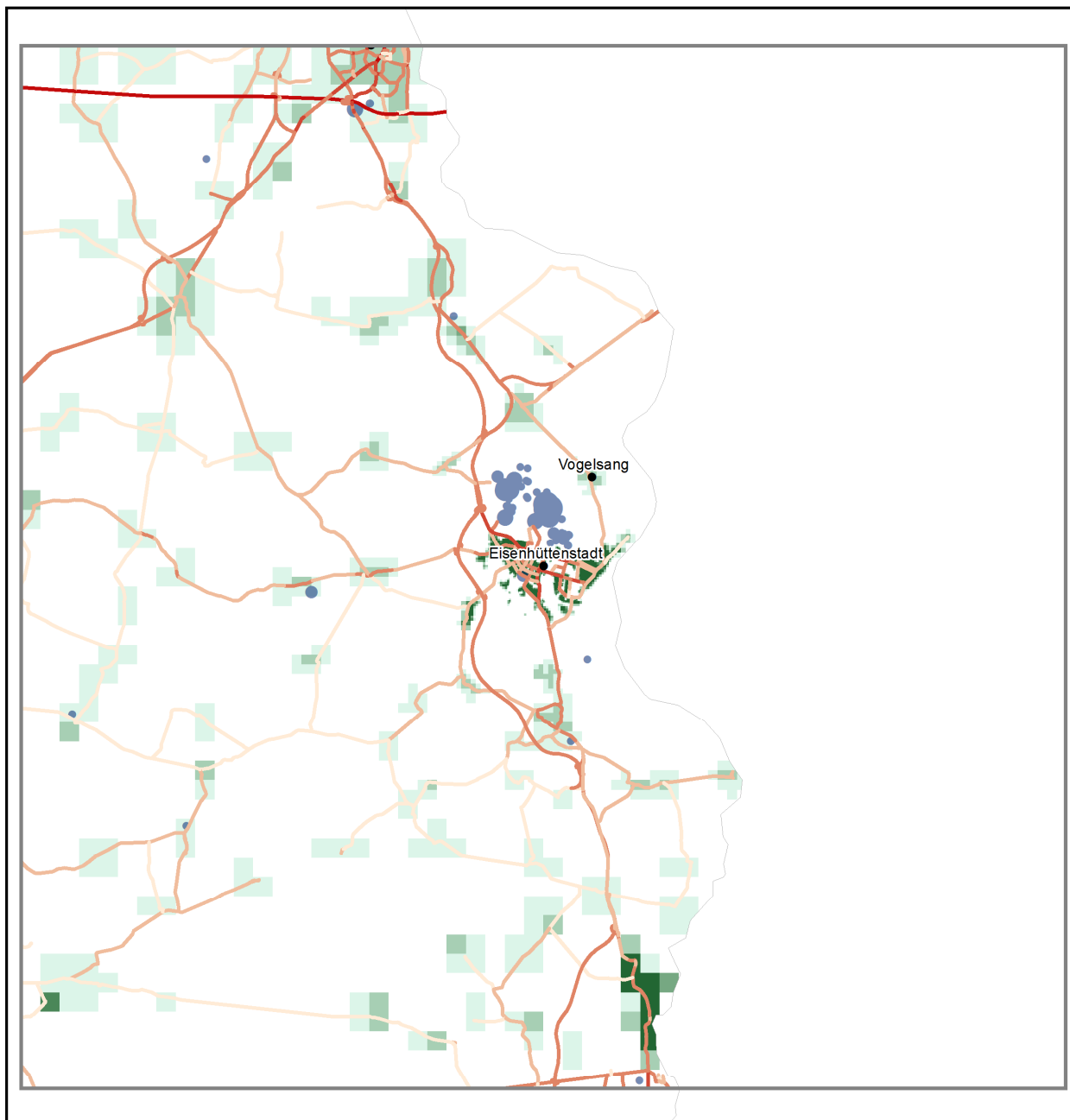
**PM10-Emissionen im äußeren LASAT-Modellgebiet der lokalen Ausbreitungsmodellierungen für Vogelsang**



Kartengrundlage, bereitgestellt vom LUGV: Nutzung der Geobasisdaten mit Genehmigung des LGB Brandenburg, GB-G 02/09  
Nutzung sonstiger Daten mit Schreiben vom 18.11.2011

**Abbildung 6-56: PM10-Emissionen im äußeren Modellgebiet Vogelsang**

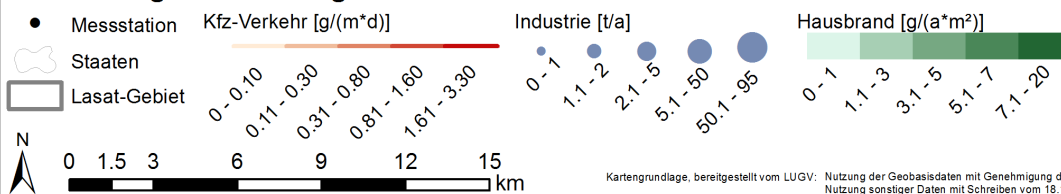




**Analyse der PM10-Grenzwertüberschreitungen im Jahre 2010 im ländlichen und urbanen Hintergrund in Ostbrandenburg**

Kartographie:  
ivU IVU Umwelt GmbH  
Stand: 28.02.2012

**PM10-Emissionen im äußeren LASAT-Modellgebiet der lokalen Ausbreitungmodellierungen für Eisenhüttenstadt**



Kartgrundlage, bereitgestellt vom LUGV: Nutzung der Geobasisdaten mit Genehmigung des LGB Brandenburg, GB-G 02/09  
Nutzung sonstiger Daten mit Schreiben vom 18.11.2011

**Abbildung 6-57: PM10-Emissionen im äußeren Modellgebiet Eisenhüttenstadt**

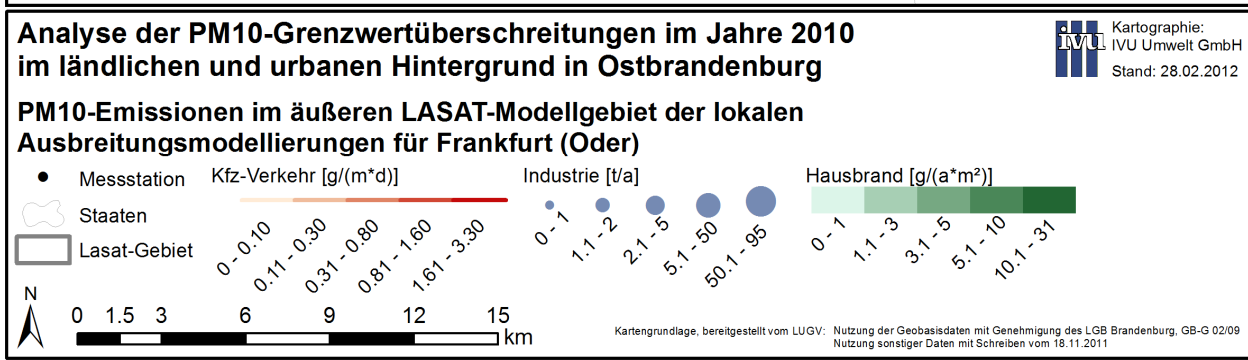
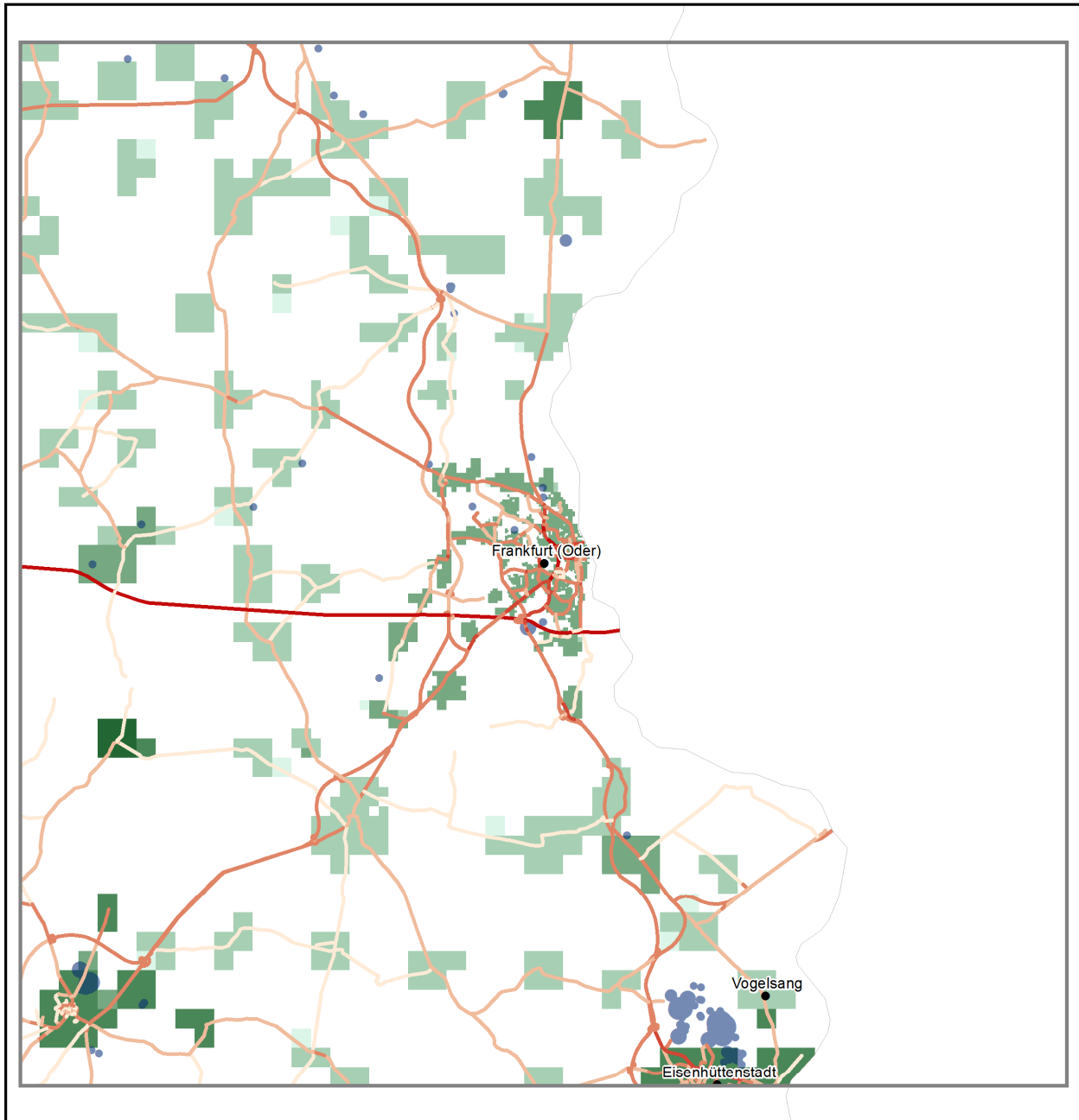
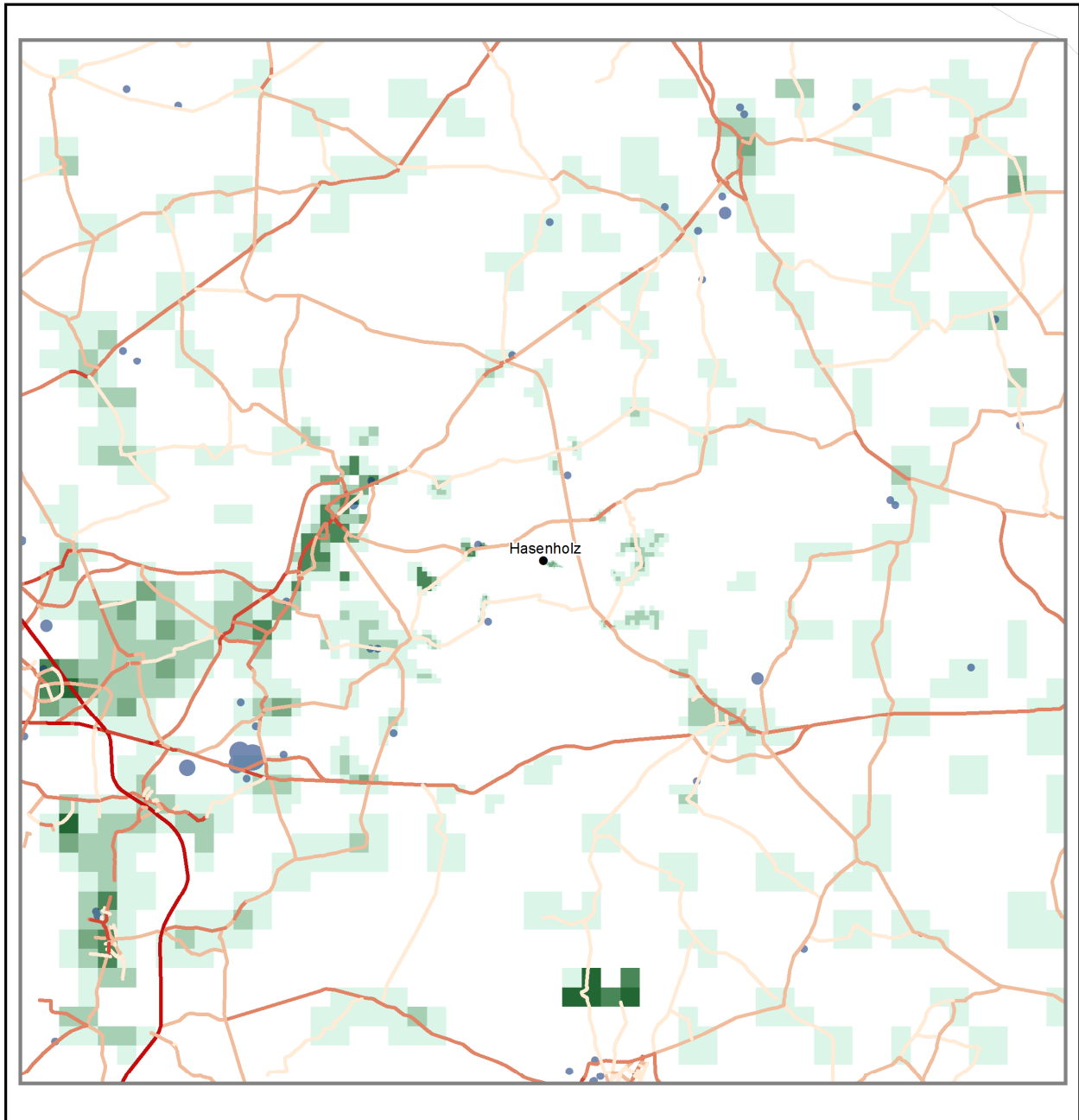


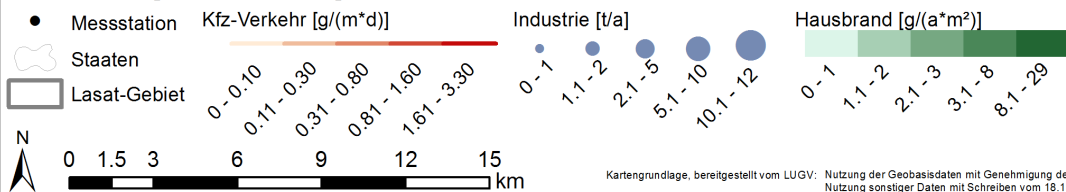
Abbildung 6-58: PM10-Emissionen im äußeren Modellgebiet Frankfurt (Oder)



**Analyse der PM10-Grenzwertüberschreitungen im Jahre 2010 im ländlichen und urbanen Hintergrund in Ostbrandenburg**

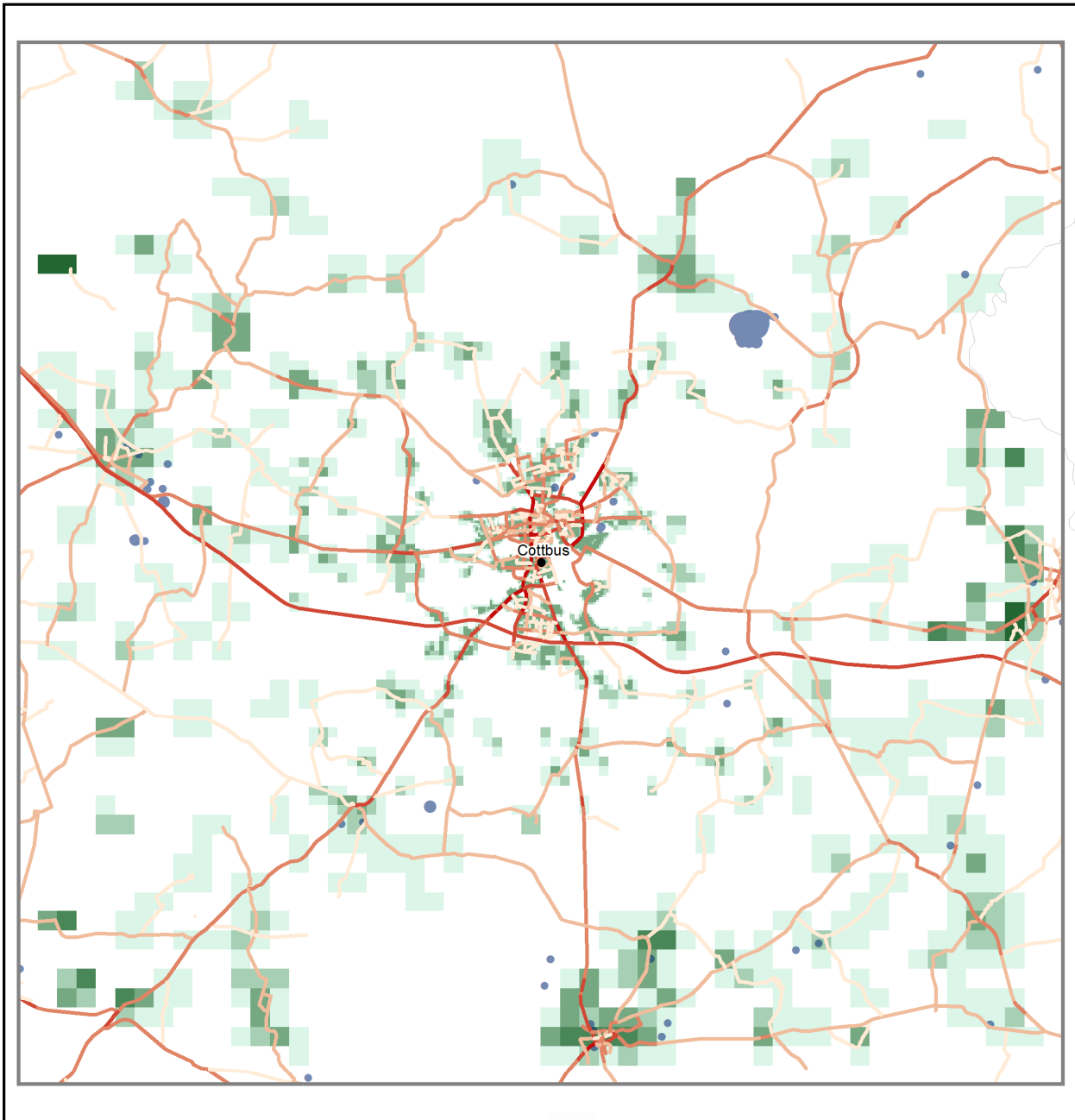
Kartographie:  
ivU IVU Umwelt GmbH  
Stand: 28.02.2012

**PM10-Emissionen im äußeren LASAT-Modellgebiet der lokalen Ausbreitungmodellierungen für Hasenholz**



Kartgrundlage, bereitgestellt vom LUGV: Nutzung der Geobasisdaten mit Genehmigung des LGB Brandenburg, GB-G 02/09  
Nutzung sonstiger Daten mit Schreiben vom 18.11.2011

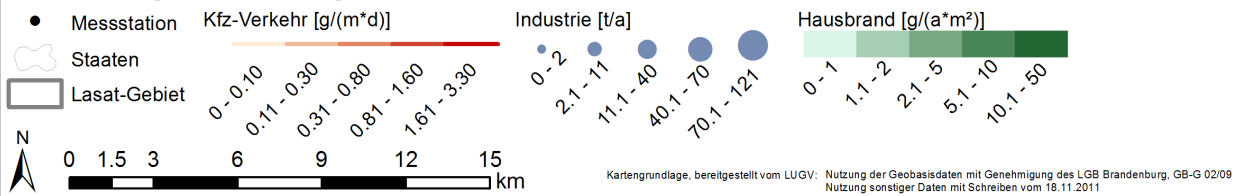
**Abbildung 6-59: PM10-Emissionen im äußeren Modellgebiet Hasenholz**



**Analyse der PM10-Grenzwertüberschreitungen im Jahre 2010 im ländlichen und urbanen Hintergrund in Ostbrandenburg**

Kartographie:  
ivU Umwelt GmbH  
Stand: 28.02.2012

**PM10-Emissionen im äußeren LASAT-Modellgebiet der lokalen Ausbreitungsmodellierungen für Cottbus**



**Abbildung 6-60: PM10-Emissionen im äußeren Modellgebiet Cottbus**

Die zeitliche Verteilung der Emissionen für die einzelnen Modellierungsstunden erfolgte für die Quellgruppen Industrie und Kfz-Verkehr auf Basis von Standardganglinien entsprechend IER (2005).

Für die Quellgruppe Hausbrand und Kleinverbraucher wurde die Ganglinie für jede Station auf Basis der Temperaturzeitreihe 2010 der jeweiligen Station (Abschnitt 5.4.2) ermittelt. Dazu wurde im ersten Schritt aus der Temperaturzeitreihe die Ganglinie der Heizgradtage analog zu Abschnitt 5.5.3 berechnet wie folgt:

$$G_{15\text{day}} = t_{\text{hg}} - t_{\text{a}} \text{ und } G_{15\text{day}} = 0 \text{ für } t_{\text{a}} \geq 15^{\circ}\text{C}$$

mit  $t_{\text{hg}} = 15^{\circ}\text{C}$  und  $t_{\text{a}}$  als der mittleren Außentemperatur des jeweiligen Heiztages. Ebenfalls analog zu Abschnitt 5.5.3 wurde angesetzt, dass 15 % der Emissionen durch Warmwassererzeugung entstanden und damit näherungsweise temperaturunabhängig sind und 85 % durch Heizung. Dann wurde der Heizungsanteil für jeden Tag skaliert mit dem Anteil des jeweiligen Heizgradtagwertes bezogen auf die Summe der Heizgradtage, um den Einfluss der Außentemperatur auf die Heizleistung zu beschreiben. Im letzten Schritt wurde für jeden Tag der Summe aus Warmwasseranteil und skaliertem Heizungsanteil ein Standardtagesgang entsprechend IER (2005) aufgeprägt.

### 6.7.2.5 Modellergebnisse

Abbildung 6-61 und Abbildung 6-62 zeigen die PM10-Tagesmittelwerte der mit LASAT in verschiedenen Höhen berechneten Zusatzbelastung, jeweils am Ort der fünf betrachteten Messstationen und für die jeweiligen Überschreitungstage. Die angegebenen Höhen entsprechen der mittleren Höhe der LASAT-Modellschichten zwei bis fünf mit mittleren Höhen von 3, 5, 9 und 13 m über Grund. Weiterhin ist durch gestrichelte senkrechte Linien die zeitliche Abgrenzung der einzelnen Schadstoffepisoden angedeutet.

Werden pro Station die Werte der verschiedenen Modellhöhen untereinander verglichen, so zeigt sich, dass die größten Unterschiede dann auftreten, wenn an städtisch geprägten Standorten (Cottbus, Eisenhüttenstadt, Frankfurt (Oder)) größere Zusatzbelastungen berechnet werden. Dies ist durch die berücksichtigten lokalen Quellen in unmittelbarer Nähe zu den jeweiligen Stationen bedingt. Die grundsätzliche zeitliche Struktur der Werte, d. h. die Abfolge hoher und niedriger Werte, ändert sich durch die betrachtete Modellhöhe jedoch nicht.

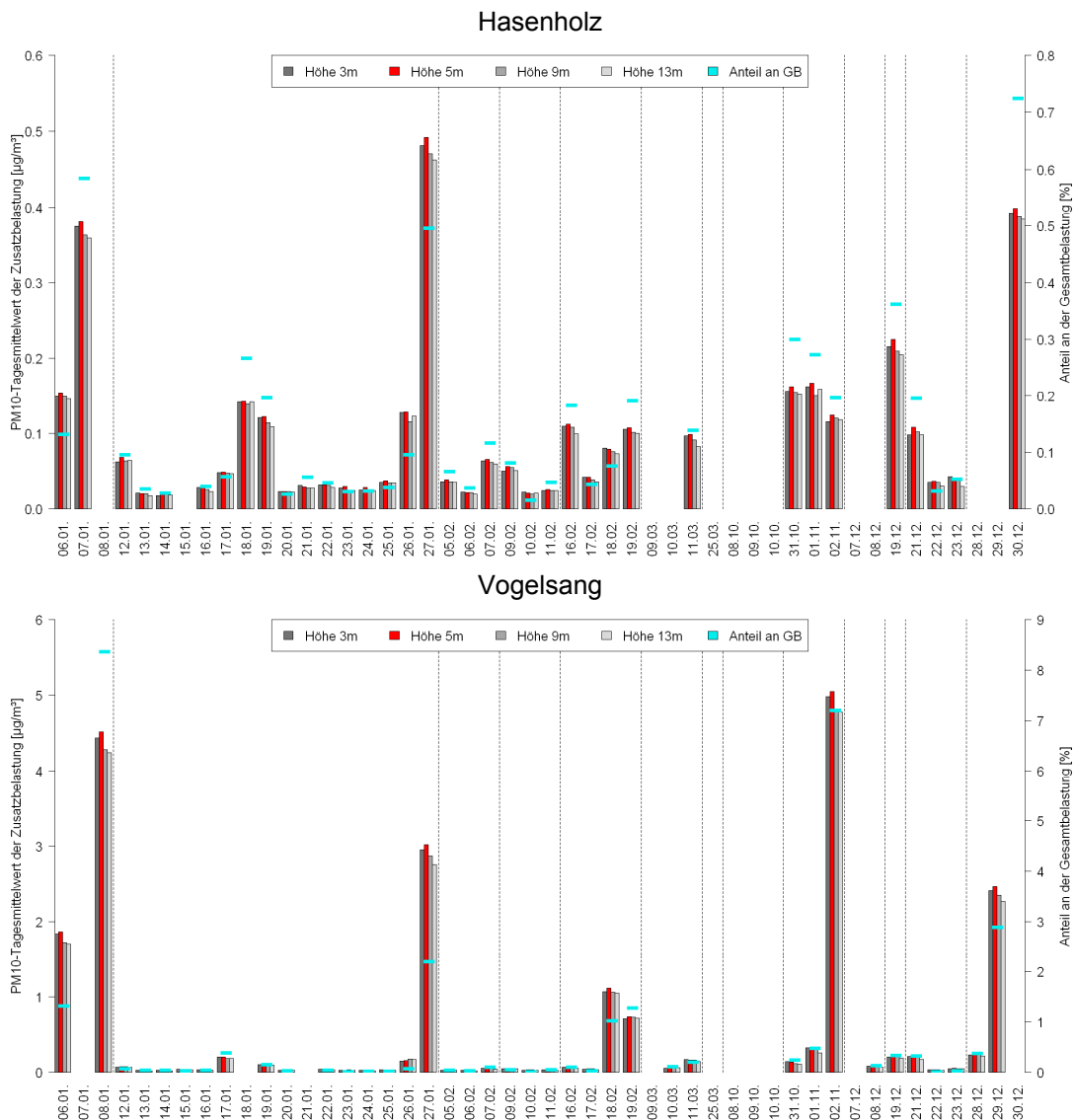
Im Folgenden werden daher die Ergebnisse der Modellhöhe 5 m betrachtet, die in Abbildung 6-61 und Abbildung 6-62 rot dargestellt sind. Auf diese Weise wird z. B. der direkte Einfluss der Quellgruppe Kfz-Verkehr auf die Auswertung reduziert, um zu berücksichtigen, dass die Modellrechnungen aufgrund der zu Grunde liegenden Gitterauflösung ohne Gebäude durchgeführt wurden und eine Abschirmung der Kfz-Emissionen durch Gebäude im Modell nicht stattgefunden hat.

Der Anteil der berechneten Zusatzbelastung in der Modellhöhe 5 m an der gemessenen Gesamtbelastung ist in Abbildung 6-61 und Abbildung 6-62 durch blaue Balken wiedergegeben und auf der rechten y-Achse skaliert.





**Abbildung 6-61: PM10-Tagesmittelwerte der mit LASAT in verschiedenen Höhen berechneten Zusatzbelastung an den Überschreitungstagen der jeweiligen Station sowie Anteil der für die „Höhe 5m“ berechneten Zusatz- an der gemessenen Gesamtbelastung (Teil 1)**



**Abbildung 6-62: PM10-Tagesmittelwerte der mit LASAT in verschiedenen Höhen berechneten Zusatzbelastung an den Überschreitungstagen der jeweiligen Station sowie Anteil der für die „Höhe 5m“ berechneten Zusatz- an der gemessenen Gesamtbelastung (Teil 2)**

In Tabelle 6-11 sind Minimum, Maximum und Mittelwert der berechneten Zusatzbelastung in 5 m Modellhöhe an den Überschreitungstagen für die fünf betrachteten Modellgebiete angegeben. Maximale Werte ergeben sich mit 5.6 µg/m<sup>3</sup> bzw. 5.1 µg/m<sup>3</sup> für die Stationen Cottbus und Vogelsang. Während Cottbus mit 1.3 µg/m<sup>3</sup> auch den höchsten Mittelwert aufweist, sind die Werte in Vogelsang bis auf die wenigen Spitzenwerte relativ gering, so dass auch der Mittelwert mit 0.6 µg/m<sup>3</sup> gering ist. Hasenholz weist mit maximal 0.5 µg/m<sup>3</sup> und 0.1 µg/m<sup>3</sup> im Mittel die niedrigsten Zusatzbelastungen auf. Grund dafür ist, dass der Anteil der lokalen Quellen dort ebenso wie in Vogelsang relativ gering ist.

Tabelle 6-12 zeigt Minimum, Maximum und Mittelwert des Anteils der berechneten Zusatzbelastung in 5 m Modellhöhe an der gemessenen Gesamtbelastung an den Überschreitungstagen. Maximalwerte weisen auch hier mit 8.9 % bzw. 8.4 % Cottbus und Vogelsang auf, während in Hasenholz der Anteil unter 1 % bleibt. Insgesamt ist der An-

teil der berechneten Zusatz- an der gemessenen Gesamtbelastung mit im Mittel unter 2 % gering.

**Tabelle 6-11: Minimum, Maximum und Mittelwert der mit LASAT an den Überschreitungstagen der jeweiligen Station in der Höhe 5 m berechneten PM10-Tagesmittelwerte der Zusatzbelastung**

Modellgebiet	Minimum [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Maximum [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Mittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
Cottbus	0.12	5.58	1.25
Eisenhüttenstadt	0.20	2.72	0.93
Frankfurt (Oder)	0.27	2.55	0.96
Hasenholz	0.02	0.49	0.10
Vogelsang	0.02	5.05	0.57

**Tabelle 6-12: Minimum, Maximum und Mittelwert des Anteils der mit LASAT an den Überschreitungstagen der jeweiligen Station in der Höhe 5 m berechneten PM10-Tagesmittelwerte der Zusatz- an der gemessenen Gesamtbelastung**

Modellgebiet	Minimum [%]	Maximum [%]	Mittelwert [%]
Cottbus	0.13	8.85	1.60
Eisenhüttenstadt	0.21	4.81	1.32
Frankfurt (Oder)	0.29	4.33	1.33
Hasenholz	0.02	0.73	0.15
Vogelsang	0.02	8.37	0.75

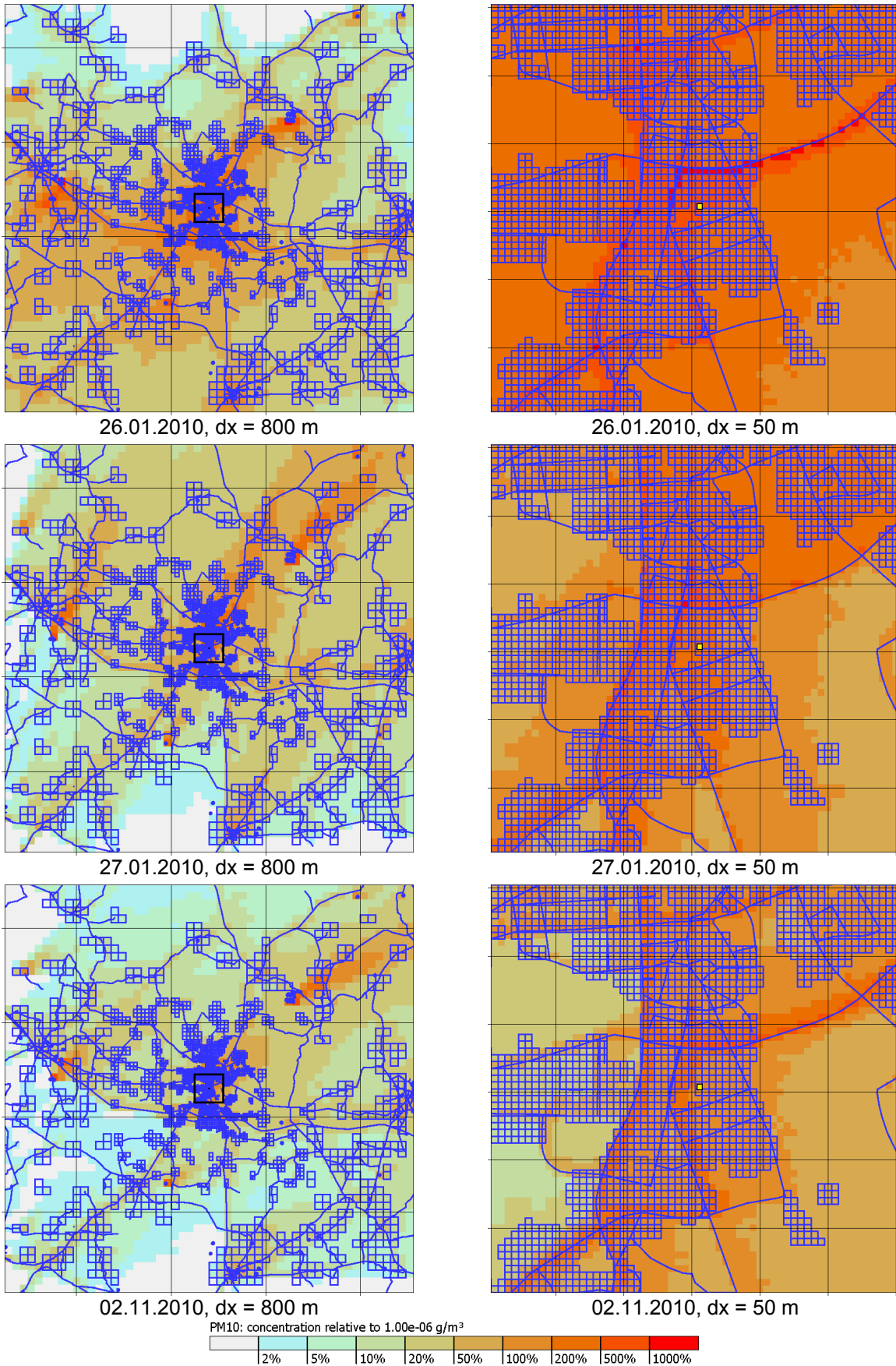
Für eine beispielhaft vertiefte Analyse der Datenreihen in Abbildung 6-61 und Abbildung 6-62 wurde die mit LASAT berechnete horizontale Konzentrationsverteilung der PM10-Zusatzbelastung in der Höhe 5 m über Grund in Zusammenschau mit den jeweiligen meteorologischen Eingangsdaten und den Emissionen herangezogen. Im Verhältnis hohe Zusatzbelastungen im Modellgebiet treten demnach bei austauscharmen Wetterlagen und/oder durch Industriequellen oder große Verkehrsachsen aufwind in Windrichtung auf. Beispielhaft sind in Abbildung 6-63 bis Abbildung 6-67 für alle Stationen die Modellergebnisse für die Überschreitungstage 26. und 27.01.2010 sowie 02.11.2010 dargestellt, links für das äußere Modellnest mit 800 m horizontaler Gitterauflösung und rechts für das innere Modellnest mit 50 m horizontaler Gitterauflösung. Jeweils in der Bildmitte, in gelb markiert, findet sich die Lage der Messstation. Die Lage der Quellen ist in blau dargestellt.

Die Überschreitungstage 26./27.01.2010 stellen eine Situation dar, in der am 26.01. Ostwind bei stabiler Schichtung vorherrscht mit gegen Abend immer geringeren Windgeschwindigkeiten. Über Nacht dreht der Wind auf südwestliche Richtungen und weist am 27.01. wieder deutlich höhere Windgeschwindigkeiten auf. Die städtisch geprägten Messstandorte Cottbus, Eisenhüttenstadt und Frankfurt (Oder) haben am 26.01. einen Spitzenwert in der Zusatzbelastung (Abbildung 6-61), der durch die austauscharme Wetterlage dieses Tages und durch die Drehung des Windes, die die kurz vorher abtransportierten Schadstoffe wieder zurückbringt, bedingt wird. Dies spiegelt sich in den durch die lokalen Quellen verursachten im Verhältnis zu den anderen Tagen hohen Konzentrationen im inneren Modellnest wieder, wie in Abbildung 6-63 bis Abbildung 6-65, rechts oben, dargestellt. Insbesondere die Ergebnisse für Eisenhüttenstadt und Frankfurt (Oder) unterstreichen den lokalen Charakter, da östlich des inneren Modellnest jenseits der Grenze zu Polen keine Emissionen mehr im Modellgebiet berücksichtigt wurden. Am 27.01. sinkt die berechnete Zusatzbelastung an den genannten drei

Stationen, abtransportiert durch die südwestlichen Winde und die höheren Windgeschwindigkeiten.

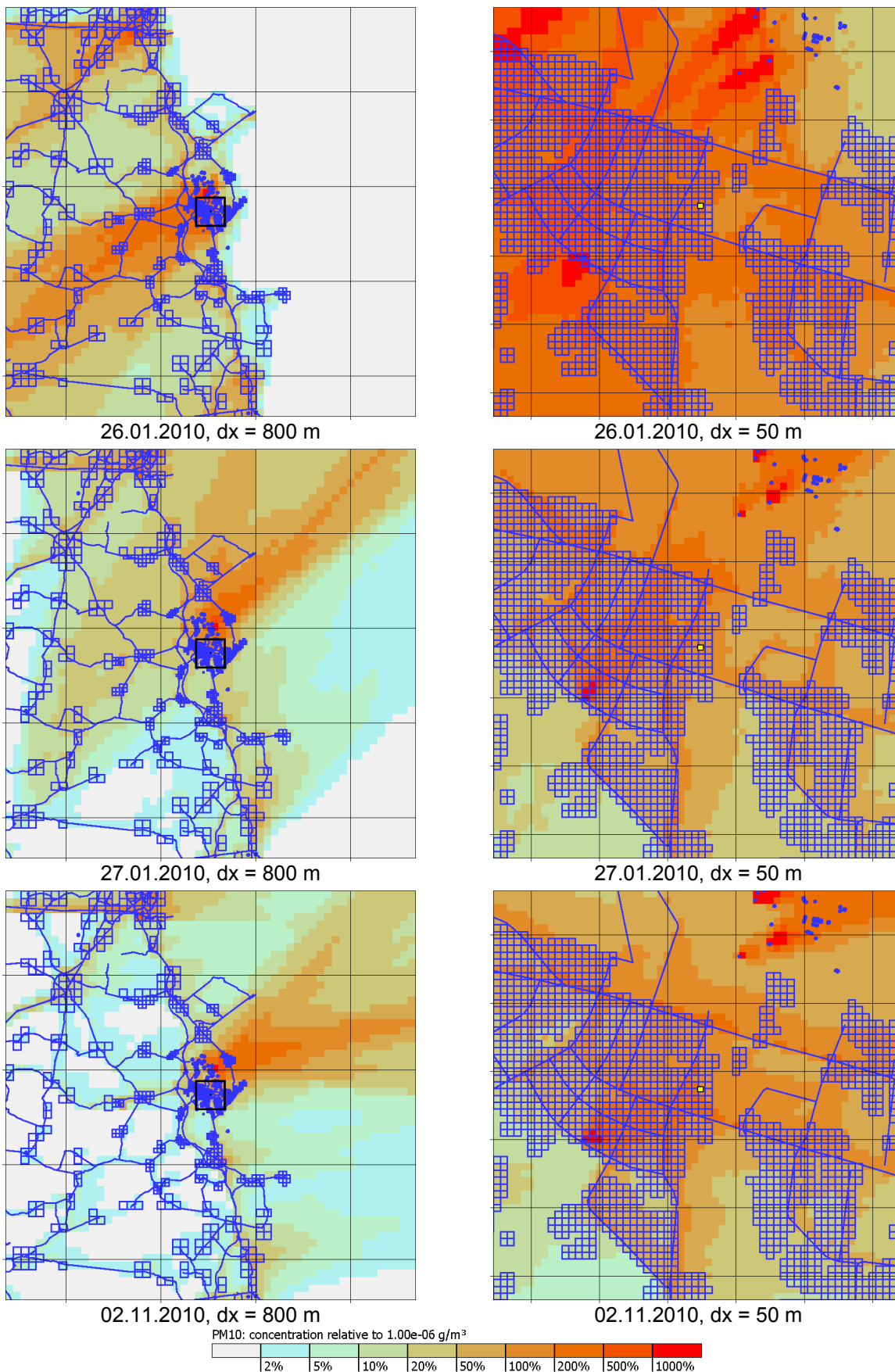
In Hasenholz und Vogelsang stellt sich die Situation am 26./27.01.2010 anders dar. Da kaum lokale Quellen in direkter Nähe der Station vorliegen, führt die austauscharme Wetterlage nur zu einer im Verhältnis geringfügigen Erhöhung der berechneten Zusatzbelastung. Hohe Werte der Zusatzbelastung treten hier erst am 27.01. auf, verursacht im Wesentlichen durch industrielle Quellen, die südwestlich der Stationsstandorte liegen (Abbildung 6-62, Abbildung 6-66, Abbildung 6-67). Insbesondere an der Station Vogelsang führen derartige meteorologische Bedingungen zu im Verhältnis zu den anderen Überschreitungstagen sehr hoher lokaler Zusatzbelastung. Dies erklärt auch den niedrigen Mittelwert und den hohen Maximalwert der Zusatzbelastung bzw. des Anteils an der Gesamtbelastung für Vogelsang in Tabelle 6-11 und Tabelle 6-12.

Abbildung 6-63 bis Abbildung 6-67, unten, stellt mit dem 02.11.2010 einen Überschreitungstag vor, der bei vorherrschenden Süd- und Westwinden auftrat. In den Modellgebieten Cottbus, Frankfurt (Oder) und Hasenholz fällt die berechnete Zusatzbelastung an diesem Tag eher mäßig hoch aus. Im Verhältnis hohe Werte der Zusatzbelastung verzeichnen Eisenhüttenstadt und Vogelsang, dies aus unterschiedlichen Gründen. Im Modellgebiet Eisenhüttenstadt gibt es im inneren Modellnest eine einzelne industrielle Quelle, deren Emissionen aufgrund der vorherrschenden Windrichtung wesentlich zu der erhöhten Zusatzbelastung an der Station führen. Im Modellgebiet Vogelsang wird die erhöhte Zusatzbelastung vor allem durch den Gürtel von Industriequellen verursacht, der zwischen Vogelsang und Eisenhüttenstadt liegt. Der Anteil der berechneten Zusatz- an der gemessenen Gesamtbelastung liegt an diesem Tag für Eisenhüttenstadt bei 3.1 % und für Vogelsang bei 7.2 % (Abbildung 6-61, Abbildung 6-62).

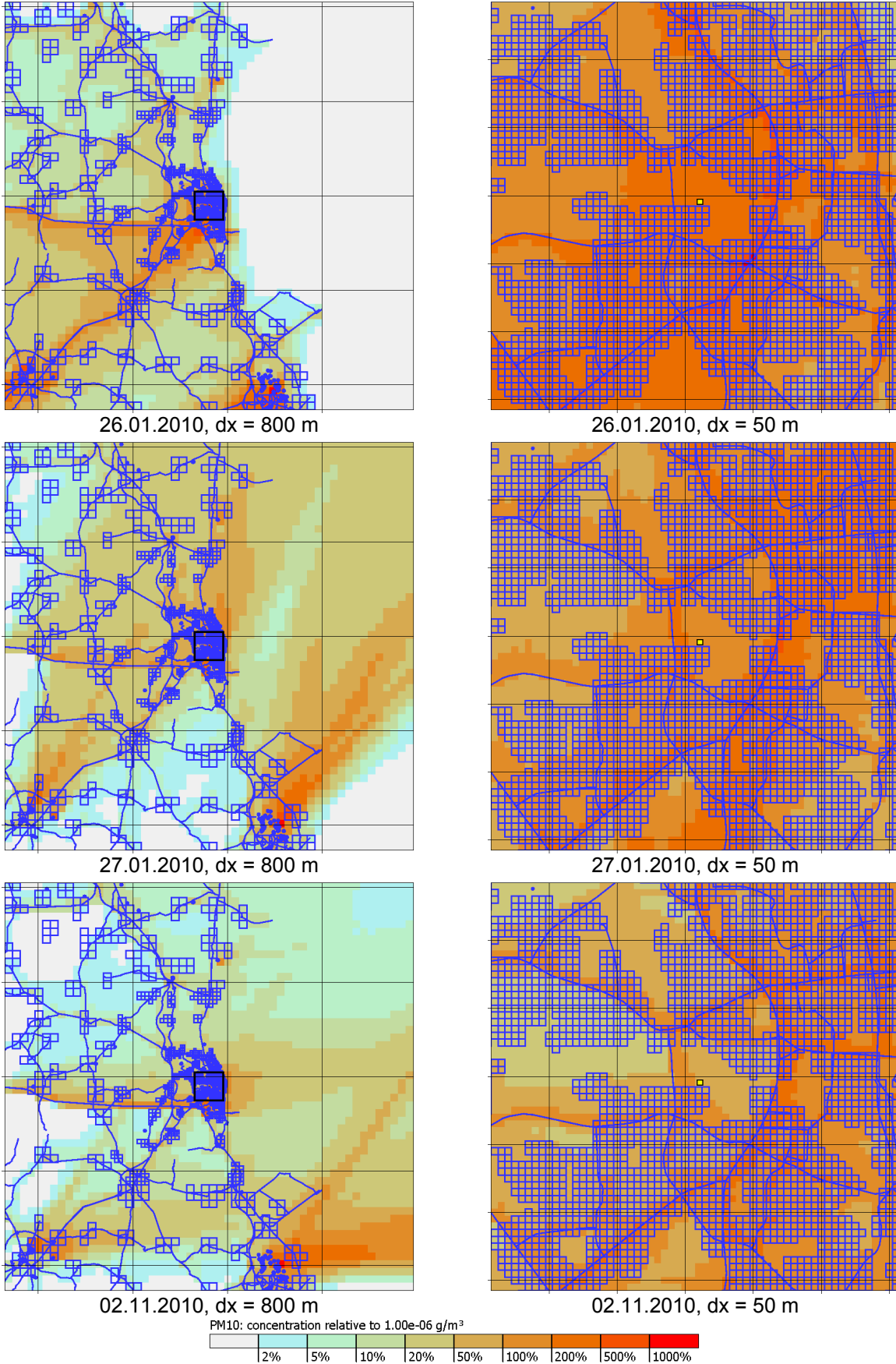


**Abbildung 6-63: PM10-Tagesmittelwert der mit LASAT berechneten Zusatzbelastung in Höhe 5 m für ausgewählte Tage, Modellgebiet Cottbus**

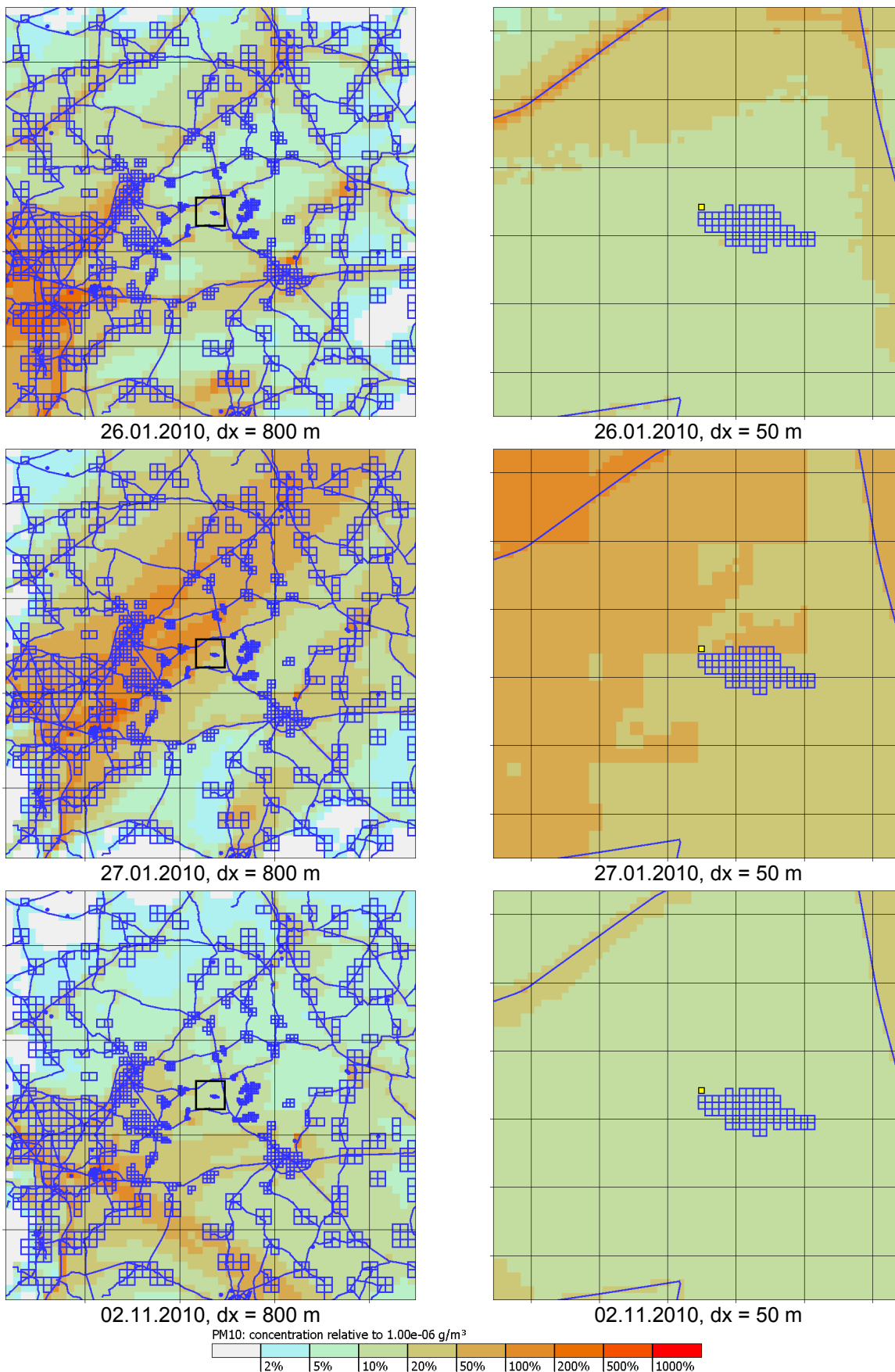




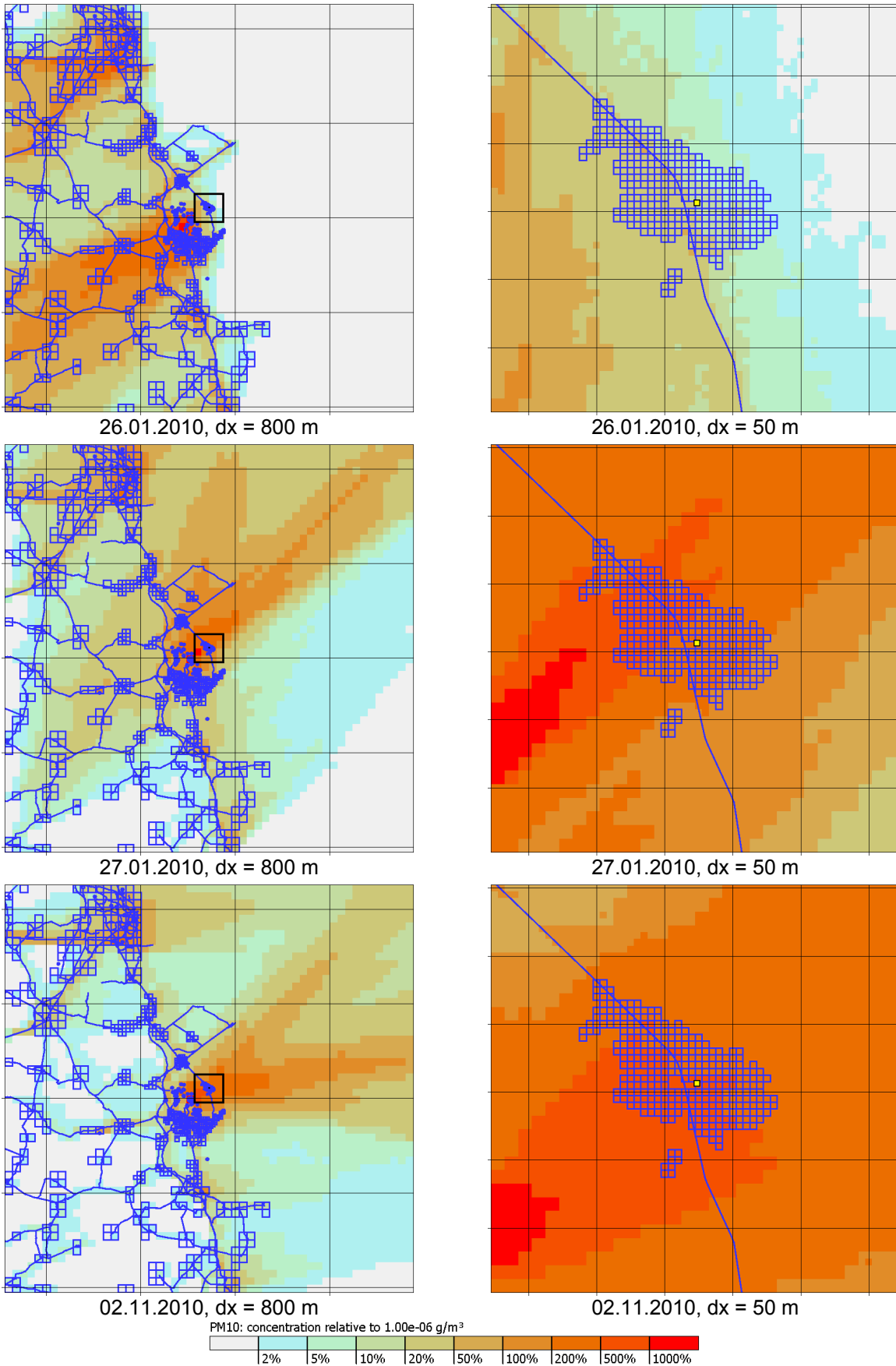
**Abbildung 6-64: PM10-Tagesmittelwert der mit LASAT berechneten Zusatzbelastung in Höhe 5 m für ausgewählte Tage, Modellgebiet Eisenhüttenstadt**



**Abbildung 6-65: PM10-Tagesmittelwert der mit LASAT berechneten Zusatzbelastung in Höhe 5 m für ausgewählte Tage, Modellgebiet Frankfurt (Oder)**



**Abbildung 6-66: PM10-Tagesmittelwert der mit LASAT berechneten Zusatzbelastung in Höhe 5 m für ausgewählte Tage, Modellgebiet Hasenholz**



**Abbildung 6-67: PM10-Tagesmittelwert der mit LASAT berechneten Zusatzbelastung in Höhe 5 m für ausgewählte Tage, Modellgebiet Vogelsang**

Insgesamt ist, wie an Abbildung 6-61 und Abbildung 6-62 sowie an Tabelle 6-11 und Tabelle 6-12 gezeigt, der Anteil der berechneten Zusatzbelastung an der gemessenen Gesamtbelastung gering, im Maximum knapp 9 %. Wird – zur Einordnung der Verhältnisse – die berechnete Zusatzbelastung, d. h. die aus den im jeweiligen Modellgebiet berücksichtigten Quellen resultierende Immissionsbelastung, von der gemessenen Gesamtbelastung abgezogen, so reduziert sich die Anzahl der PM10-Überschreitungstage um maximal 3 Tage (Tabelle 6-13). Wird die Zusatzbelastung verdoppelt, um eventuelle Unsicherheiten in den verwendeten Emissionsdaten abzufangen, und dieser Wert von der gemessenen Gesamtbelastung abgezogen, so sinkt die Anzahl der Überschreitungstage um maximal 5 Tage (Tabelle 6-13). Die größte Reduktion der Anzahl Überschreitungstage findet an den städtisch geprägten Stationen Cottbus, Eisenhüttenstadt und Frankfurt (Oder) statt. Dabei werden ausschließlich Überschreitungstage reduziert, für die Werte knapp über dem Grenzwert, d. h. maximal  $52 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , gemessen wurden. In einem Fall, in Vogelsang am 08.01.2010, werden  $54 \mu\text{g}/\text{m}^3$  auf knapp unterhalb des Grenzwertes reduziert, da, wie oben beschrieben, die Zusatzbelastung aus Industriequellen an diesem Tag mit  $4.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  verhältnismäßig hoch ist. In Hasenholz findet keine Reduktion der Überschreitungstage statt, da hier die berechnete Zusatzbelastung mit maximal  $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sehr gering ist.

Als Fazit ergibt sich, dass durch das theoretische Maximalszenario des Abschaltens aller lokalen Emissionsquellen der Grenzwert von 35 erlaubten Überschreitungen an zwei Stationen, Cottbus und Frankfurt (Oder), knapp eingehalten werden könnte. Andersherum ausgedrückt lassen sich aber auch jeweils 31 bis 38 der 36 bis 41 Überschreitungstage selbst durch lokale Maximalszenarien nicht verhindern.

**Tabelle 6-13: Anzahl der Tage  $> 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  bei Reduktion der gemessenen Gesamtbelastung um die einfache bzw. doppelte berechnete Zusatzbelastung**

Messstation	Anzahl Tage $> 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen	Reduktion der Anzahl Tage $> 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bei GB - ZB	Anzahl Tage $> 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ GB - ZB	Reduktion der Anzahl Tage $> 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bei GB - 2 · ZB	Anzahl Tage $> 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ GB - 2 · ZB
Cottbus	36	3	33	3	33
Eisenhüttenstadt	41	2	39	3	38
Frankfurt (Oder)	36	3	33	5	31
Hasenholz	36	0	36	0	36
Vogelsang	38	1	37	1	37

GB: gemessene Gesamtbelastung, ZB: berechnete Zusatzbelastung



## 6.8 Bestimmung des Einflusses des Ferntransports auf die Messstationen

In der Zusammenführung der Arbeiten aus den Abschnitten 4 und 6.1 bis 6.7 wird in der folgenden Tabelle 6-14 die Bewertung aus Tabelle 6-7 weitergeführt und um die Ergebnisse der regionalen und lokalen Ausbreitungsmodellierung ergänzt. Die aggregierende Bewertung in dieser Tabelle stellt für die einzelnen Überschreitungstage jeweils eine ungewichtete Aggregation aller hier und in Tabelle 6-7 vorhandenen Klassifikationen dar.

Für die Bewertung der lokalen Ausbreitungsmodellierung in dieser Tabelle ergibt sich die Schwierigkeit, dass alle modellierten lokalen Anteile unter 10 % der gemessenen Gesamtbelastungen liegen und damit im Prinzip für alle Tage deutliche Hinweise vorliegen, dass Ferntransport und/oder regionale Quellen für die Belastung verantwortlich sind. Um aber dennoch eine Strukturierung zu erreichen und die für die einzelnen Tage durchaus in unterschiedlicher Höhe modellierten lokalen Beiträge zu verdeutlichen, wurden alle Tage, an denen mindestens eine der beiden Bedingungen

- der Tagesmittelwert der modellierten Zusatzbelastung ist größer oder gleich dem halben Maximalwert aller modellierten Tagesmittelwerte der Zusatzbelastung für die jeweilige Station
- der Anteil der modellierten Zusatzbelastung an der gemessenen Gesamtbelastung des jeweiligen Überschreitungstags ist größer oder gleich dem halben Maximalwert aller modellierten Anteile für die jeweilige Station

erfüllt ist, mit der Klassifizierung „-“ für Hinweise auf „zu relevanten Anteilen lokal/regional verursacht“ versehen. Eine Ausnahme davon bildet die Station Hasenholz, bei der alle modellierten Absolutwerte und Anteile unter  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  bzw. 1 % liegen, so dass alle Tage für Hasenholz mit „o“ für „indifferent“ bzw. „keine Aussage möglich“ klassifiziert wurden.

**Tabelle 6-14: Klassifizierung bezüglich Einfluss des Ferntransports 2**

Datum	RCG	Hinweis auf Ferntransport-Einfluss in ...					Einzelklassifikation aus Tabelle 6.7	Aggregierte Klassifikation incl. Tabelle 6.7				
		lokale Modellierung						Vo	Ei	Fr	Ha	Co
		Vo	Ei	Fr	Ha	Co		Vo	Ei	Fr	Ha	Co
06.01.10	+	o	-	o	o	-	...	+	+	+	+	+
07.01.10	-				o		...				o	
08.01.10	+	-				-	...	+				+
12.01.10	++	o	o	o	o	o	...	++	++	++	++	++
13.01.10	++	o	o		o	o	...	++	++		++	++
14.01.10	++	o	o		o	o	...	++	++		++	++
15.01.10	++	o	o	o		o	...	++	++	++		++
16.01.10	++	o	o	o	o	o	...	++	++	++	++	++
17.01.10	++	o	o		o		...	++	++		++	
18.01.10	o				o		...				+	
19.01.10	o	o	o	o	o		...	+	+	+	+	
20.01.10	++	o	o	o	o	o	...	++	++	++	++	++
21.01.10	++				o	o	...				++	++
22.01.10	++	o	o	o	o	o	...	++	++	++	++	++
23.01.10	++	o	o	o	o	o	...	++	++	++	++	++
24.01.10	++	o	o	o	o	o	...	++	++	++	++	++
25.01.10	++	o	o	o	o	o	...	++	++	++	++	++
26.01.10	++	o	-	-	o	-	...	++	++	++	++	++
27.01.10	++	-	-	-	o	o	...	+	+	+	++	++
05.02.10	++	o	o	o	o		...	+	+	+	+	
06.02.10	++	o	o	o	o	o	...	+	+	+	+	+
07.02.10	++	o	-	o	o	o	...	+	+	+	+	+
09.02.10	++	o	o	o	o	o	...	++	++	++	++	++
10.02.10	++	o	o	o	o	o	...	++	++	++	++	++
11.02.10	++	o	-	o	o	o	...	++	++	++	++	++
16.02.10	o	o	o	o	o	o	...	+	+	+	+	+
17.02.10	++	o	o	o	o	o	...	+	+	+	+	+
18.02.10	++	o	o	o	o	o	...	++	++	++	++	++
19.02.10	+	o	o	-	o		...	+	+	+	+	
09.03.10	+		o	-		o	...		+	+		+
10.03.10	+	o	o	-		o	...	+	+	+		+
11.03.10	+	o	-	o	o	o	...	+	+	+	+	+
25.03.10	++		o				...		+			
08.10.10	++		o			o	...		++			++
09.10.10	++		o			o	...		++			+
10.10.10	++		o	-			...		+	+		
31.10.10	+	o	o	-	o		...	+	+	+	+	
01.11.10	o	o	-	-	o		...	+	+	+	+	
02.11.10	-	-	-	o	o	o	...	o	o	+	+	+
07.12.10	+					o	...					+
08.12.10	++	o	o	o		o	...	++	++	++		++
19.12.10	o	o	o	-	o		...	+	+	+	+	
21.12.10	o	o	o	-	o	o	...	+	+	+	+	+
22.12.10	++	o	o	o	o	o	...	++	++	++	++	++
23.12.10	++	o		o	o	o	...	++		++	++	++
28.12.10	+	o	-	o			...	+	+	+		
29.12.10	+	o	-	-		-	...	+	+	+		+
30.12.10	-				o	o	...				+	+

Klassifikation nach Hinweisen auf Ferntransport allgemein für alle Überschreitungstage und für die Überschreitungstage der einzelnen Stationen auf Basis verschiedener Datengrundlagen:  
 ++ = starke Hinweise, + = Hinweise, o = keine Hinweise auf "durch Ferntransport verursacht"  
 - = Hinweise auf "zu relevanten Anteilen lokal/regional verursacht"  
 leere Zellen: kein Überschreitungstag an der Station;  
 RCG: Modellierung des Anteils des Ferntransports zur Bewertung der lokalen Modellierung: s. Text

Als Zusammenfassung der Datenlage und der darauf basierenden Analysen der

- Literatur,
- Wetterlage,
- Trajektorien,
- Messdaten,
- großräumigen Belastungssituation,
- regionalen Modellierung und
- lokalen Modellierung

ergibt sich folgendes Bild (s. auch Abschnitt 6.4).

Auswertungen zu Feinstaubepisoden 2010 in Deutschland und Brandenburg, die z. T. auf anderen Ansätzen und Datenquellen basierenden zeigen bereits für den Großteil der hier vorkommenden Überschreitungstage eine deutliche Klassifikation als durch Ferntransport dominierte Überschreitungstage (s. Abschnitt 4).

Aus der Klassifikation der Wetterlagen für die einzelnen Zeitabschnitte in Abschnitt 6.1 ergeben sich deutliche Hinweise für zahlreiche Tage, an denen mit hohen Ferntransportanteilen an den gemessenen Werten zu rechnen ist. Die 3D-Rückwärtstrajektorien aus Abschnitt 6.2 bzw. Anhang A bieten ebenfalls an vielen Tagen ein deutliches Bild zum Luftmassentransport, der sich häufig als stabile Situation mit östlichen Anströmungen zeigt. Gleichzeitig wird dort auch erkennbar, dass es durchaus Tage bzw. Zeitabschnitte mit Winddrehungen gibt, an denen die Trajektorien in den letzten Stunden vor Erreichen der jeweiligen Station bodennah aus anderen Richtungen kommen, als die Verläufe der jeweils vorigen zwei bis drei Tage anzeigen.

Der in Abschnitt 6.3.1 dargelegte sehr homogen Verlauf der Messzeitreihen an den untersuchten Stationen, die bis zu fast 100 km voneinander entfernt sind, ist prinzipiell ein deutliches Indiz dafür, dass die Belastungen stark durch großräumigere Transportphänomene – wozu natürlich auch die meteorologische Situation zählt – beeinflusst sind und die in diesen Zeiträumen gemessenen Spitzenkonzentrationen daher nur in einem geringen Umfang durch lokale Quellen im Umfeld der Stationen hervorgerufen werden.

Aus der windrichtungsabhängigen Betrachtung auf Basis von Schadstoffwindrosen in Abschnitt 6.3.2 wird deutlich, dass an den Überschreitungstagen Bedingungen vorherrschen, die sich deutlich von den über das ganze Jahr geltenden unterscheiden, und dass die hohen Belastungen an den Überschreitungstagen vorwiegend bei (süd-)östlichen Anströmrichtungen auftreten.

Die in Abschnitt 6.3.3 untersuchten PM<sub>2.5</sub> zu PM<sub>10</sub>-Verhältnisse zeigen für die Überschreitungstage im Vergleich zu den übrigen Tagen ein deutliches Bild, das für alle Überschreitungstage auf große und für die meisten auf sehr große Ferntransportanteile hindeutet.

Die Analyse der großräumigen Belastungssituation in Abschnitt 6.3.4 zeigt, dass an den meisten Überschreitungstagen generell in Ostdeutschland und insbesondere in Ostbrandenburg großräumig hohe Belastungen auftreten.

Die großräumigen Modellierungen mit RCG und die daraus abgeleiteten größenordnungsmäßigen Abschätzungen der regionalen bzw. durch Ferntransport verursachten Immissionsanteile liefern ebenfalls eine deutliche Aussage für sehr hohe Ferntransportanteile an der Mehrzahl der Überschreitungstage. Dies wird überblickshaft insbesondere

re auch am Vergleich der Mittelwerte der Überschreitungstage mit den anderen Tagen in Abbildung 6-45 deutlich.

Die lokalen Ausbreitungsmodellierungen in Abschnitt 6.7.2 liefern für alle Stationen und alle Überschreitungstage lokale Anteile an der gemessenen Gesamtbelastung von unter 10 % und damit deutliche Hinweise, dass lokale Quellen nicht für die Überschreitung des jeweiligen Tagesgrenzwerts verantwortlich sind bzw. nicht relevant dazu beitragen.

Diese Zusammenstellung macht deutlich, dass die verschiedenen Ansätze erwartungsgemäß teilweise zu unterschiedlichen Einschätzungen führen, da sie sich auf unterschiedliche Aspekte stützen, und damit alle ihre Berechtigung haben. In der ungewichteten Zusammenschau der Einzelaspekte ergibt sich, dass der Einfluss des Ferntransports an fast allen Überschreitungstagen sehr hoch ist.

Bei einzelnen Tagen, wie z. B. dem 7./8.1., 18./19.1., 16.2., 2.11. und 29./30.12. finden sich verstärkt Hinweise, dass auch lokale und insbesondere regionale Quellen einen relevanten Beitrag zur Gesamtbelastung liefern. Hierbei handelt es sich immer um Tage mit ungünstigen Ausbreitungsbedingungen bei sehr niedrigen Mischungsschichthöhen und/oder schwachwindigen Situationen.

## 6.9 Verursacheranteile

In Ergänzung zur qualitativen Bewertung im vorangegangenen Abschnitt werden hier auf Basis der durchgeführten Modellierungen die räumlichen Verursacheranteile für die einzelnen Überschreitungstage abgeschätzt. Eine exakte Angabe ist dabei nicht möglich, da sich aus den vorliegenden regionalen Modellierungen nur größenordnungsmäßige Abschätzungen der regionalen bzw. durch Ferntransport verursachten Immissionsanteile an den Messstationen ausweisen lassen. Theoretisch kommt eine kleine weitere Unsicherheit dadurch hinzu, dass die lokalen Quellen nicht nur in den lokalen Ausbreitungsrechnungen, die explizit auf diesen basieren, berücksichtigt sind, sondern auch bei der Abschätzung des Beitrags Brandenburgs unter Verwendung der PAREST-Emissionsdaten Eingang fanden. Aufgrund der geringen Beiträge der lokalen Quellen kann dies aber vernachlässigt werden.

In Tabelle 6-15 sind diese abgeschätzten Verursacheranteile für die jeweiligen Überschreitungstage der einzelnen Stationen zusammengestellt. Bei den lokalen Anteilen, die aus den Berechnungen mit LASAT gemäß Abschnitt 6.7.2 stammen, sind Werte  $\geq 5\%$  rot hervorgehoben. Bei den regionalen Anteilen, also den aus den RCG-Berechnungen abgeleiteten größenordnungsmäßigen Abschätzungen des Beitrags aller brandenburgischen Quellen, gilt dies für Werte  $\geq 25\%$ .

Diese quantitativen Abschätzungen zeigen ein den qualitativen entsprechendes Bild. Die lokalen Anteile sind mit Ausnahme von vier Werten alle unter  $5\%$  und insgesamt mit im Mittel weniger als  $2\%$  sehr niedrig. Die abgeschätzten regionalen Anteile liegen für die einzelnen Stationen mit Werten zwischen  $5$  und  $45\%$  im Mittel bei  $9$  bis  $17\%$ . Als Rest ergeben sich hohe bis sehr hohe Ferntransportanteile, die mit Werten zwischen  $60$  und  $90\%$  im Mittel zwischen  $80$  und  $90\%$  liegen.

Entsprechend der Diskussion der Ergebnisse der lokalen Modellierung gibt es mit dem 8.1, dem 7.2. und dem 28.12. drei Überschreitungstage, an denen der Grenzwert so knapp überschritten ist, dass das rein hypothetische Szenario der vollständigen Abschaltung aller lokalen Quellen die Messwerte einzelner Stationen auf  $50\ \mu\text{g}/\text{m}^3$  oder knapp darunter senken würde<sup>9</sup>.

Die Abschätzung der regionalen Beiträge führt an einzelnen Stationen und Tagen zu Beiträgen von bis zu  $45\%$  an den gemessenen Gesamtbelastungen. Insbesondere an den Tagen, an denen die gemessenen Werte nur knapp über  $50\ \mu\text{g}/\text{m}^3$  liegen sind hypothetisch durch drastische Reduktion der regionalen Beiträge Einhaltungen des Grenzwerts für den Tagesmittelwert denkbar. Bei der quantitativen Betrachtung dieser Zahlen ist zu beachten, dass es sich um größenordnungsmäßige Abschätzungen handelt, und für konkrete Zahlenwerte räumlich höher aufgelöste regionale Modellierungen erforderlich sind.

<sup>9</sup> In Cottbus würde dazu am 8.1 auch das ebenfalls hypothetische Szenario der Reduzierung aller lokaler Emissionen auf die Hälfte ausreichen.



Tabelle 6-15: PM10-Verursacheranteile an den fünf Stationen

Datum	Messung [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]					lokaler Anteil [%]					regionaler Anteil [%]					Ferntransport [%]				
	Vo	Eh	Fr	Ha	Co	Vo	Eh	Fr	Ha	Co	Vo	Eh	Fr	Ha	Co	Vo	Eh	Fr	Ha	Co
06.01.	141	134	140	116	128	1.3	1.5	0.8	0.1	2.7	10	25	15	20	30	89	74	84	80	67
07.01.				65					0.6					25					74	
08.01.	54				52	8.4				8.9	15				25	77				66
12.01.	95	87	69	71	89	0.1	0.8	1.4	0.1	0.7	5	5	5	10	15	95	94	94	90	84
13.01.	59	56		56	64	0.1	0.4		0	0.2	5	5		10	10	95	95		90	90
14.01.	62	56		70	62	0.1	0.4		0	0.2	5	5		10	10	95	95		90	90
15.01.	99	87	84		84	0	0.3	0.5		0.3	5	5	5		10	95	95	95		90
16.01.	71	65	66	71	75	0.1	0.4	0.5	0	0.3	5	5	5	10	10	95	95	95	90	90
17.01.	52	51		84		0.4	0.8		0.1		10	10		15		90	89		85	
18.01.				53						0.3					25					75
19.01.	64	63	57	62		0.2	1.1	1.7	0.2		15	15	15	25		85	84	83	75	
20.01.	82	75	67	85	87	0	0.3	0.5	0	0.2	5	10	5	10	10	95	90	95	90	90
21.01.				52	57				0.1	0.5				10	10				90	89
22.01.	76	70	69	67	81	0.1	0.5	0.6	0	0.3	5	10	5	10	10	95	90	94	90	90
23.01.	106	100	94	94	86	0	0.2	0.4	0	0.2	5	5	5	10	10	95	95	95	90	90
24.01.	95	95	92	87	116	0	0.2	0.3	0	0.1	5	5	5	10	10	95	95	95	90	90
25.01.	106	104	104	95	125	0	0.3	0.5	0	0.2	5	10	5	10	10	95	90	95	90	90
26.01.	179	164	191	133	179	0.1	1.3	1.1	0.1	3.1	10	10	10	10	15	90	89	89	90	82
27.01.	137	126	130	99	133	2.2	1.1	1.4	0.5	1.8	15	20	15	15	20	83	79	84	85	78
05.02.	57	60	51	58		0.1	0.4	0.7	0.1		5	5	10	15		95	95	89	85	
06.02.	54	56	55	58	63	0	0.4	0.6	0	0.4	5	5	5	10	15	95	95	94	90	85
07.02.	51	51	51	56	51	0.1	4.4	1.5	0.1	3	5	5	5	10	20	95	91	94	90	77
09.02.	86	84	85	69	79	0.1	0.5	0.8	0.1	0.4	5	5	5	10	10	95	95	94	90	90
10.02.	156	132	144	125	155	0	0.6	0.4	0	1	5	10	5	5	10	95	89	95	95	89
11.02.	61	64	58	54	71	0.1	3.8	0.7	0	2.5	5	5	5	10	15	95	91	94	90	83
16.02.	59	57	62	61	54	0.1	1.3	1.3	0.2	1.1	15	20	20	45	40	85	79	79	55	59
17.02.	115	106	112	96	83	0	0.4	0.4	0	0.6	5	5	5	15	15	95	95	95	85	84
18.02.	107	98	110	103	82	1	0.6	0.6	0.1	1	10	10	10	15	15	89	89	89	85	84
19.02.	57	54	57	56		1.3	2.2	3	0.2		15	20	25	20		84	78	72	80	
09.03.		64	74		65		2	2.9		2.8		15	10		25		83	87		72
10.03.	53	67	65		60	0.1	1.1	2.2		3.2	5	10	5		15	95	89	93		82
11.03.	76	80	81	71	77	0.2	2.9	1.0	0.1	2.7	5	10	10	15	20	95	87	89	85	77
25.03.		52					0.8					10					89			
08.10.		52			54		0.4			0.3		5			10		95			90
09.10.		53			51		0.5			0.3		5			10		95			90
10.10.		51	52				1.2	2.8				10	5				89	92		
31.10.	52	61	53	54		0.3	1.2	2.3	0.3		10	10	15	25		90	89	83	75	
01.11.	66	84	70	61		0.5	2.9	2.3	0.3		20	25	20	30		80	72	78	70	
02.11.	70	62	66	63	69	7.2	3.1	1.4	0.2	2.4	35	35	35	35	25	58	62	64	65	73
07.12.				70						2.3					20					78
08.12.	59	57	51		76	0.1	1.8	1.2		2.4	5	10	10		10	95	88	89		88
19.12.	61	54	59	62		0.3	1.6	4.3	0.4		10	15	20	35		90	83	76	65	
21.12.	68	63	66	55	54	0.3	1.2	2.1	0.2	1.7	5	10	20	30	35	95	89	78	70	63
22.12.	119	109	117	113	136	0	0.2	0.3	0	0.3	5	10	10	10	15	95	90	90	90	85
23.12.	119		108	76	119	0		0.5	0.1	1.2	5		5	5	15	95		94	95	84
28.12.	62	56	51			0.4	4.8	1.8			5	5	10			95	90	88		
29.12.	85	65	75		73	2.9	4.2	3.1		4.2	25	35	25		30	72	61	72		66
30.12.				55	51					0.7				25	35				74	61
Min	51	51	51	52	51	0	0.2	0.3	0	0.1	5	5	5	5	10	58	61	64	55	59
Mittel	83	76	82	75	84	0.7	1.3	1.3	0.2	1.6	8.8	11	11	17	17	90	88	88	83	81
Max	179	164	191	133	179	8.4	4.8	4.3	0.7	8.9	35	35	35	45	40	95	95	95	95	90

Lokale Beiträge: Modellierung mit LASAT, rot hervorgehoben sind Werte  $\geq 5\%$ ;

Anteil regionale Quellen: größenordnungsmäßige Abschätzung mit RCG, rot Werte  $\geq 25\%$ ;

Ferntransport = 100 - lokaler Anteil - regionaler Anteil



## 7 Schlussfolgerungen

Alle hier untersuchten Überschreitungen des Grenzwerts für den PM10-Tagesmittelwert treten an ländlichen oder städtischen Hintergrundstationen auf, die nicht im direkten Einfluss von lokalen Quellen liegen, wie dies z. B. bei verkehrsbezogenen Luftmessstationen in Straßenräumen der Fall ist. Alle Überschreitungsfälle betreffen sehr spezielle Tage im besonderen Jahr 2010, an denen die Belastungssituationen durch sehr hohe Ferntransportanteile und/oder Wetterlagen, die, unabhängig von der jeweiligen Quelle, zu einer starken Anreicherung der Schadstoffe im Untersuchungsgebiet führen, bestimmt sind.

Die lokalen Anteile durch brandenburgische Quellen im Umkreis von ca. 20 km um die jeweiligen Stationen an der Gesamtbelastung sind für die betrachteten Tage mit im Mittel unter 2 % und insgesamt an allen Stationen nur in drei Fällen über 5 % (s. Abschnitt 6.7.2 und Tabelle 6-15) sehr gering. Daher gibt es keine lokalen Maßnahmen, die kurzfristig eine Einhaltung der Grenzwerte sicherstellen könnten. Selbst das theoretische Maximalszenario der Abschaltung aller lokalen Emissionsquellen führt nur dazu, dass an diesen hier untersuchten besonderen Tagen der Grenzwert von 35 erlaubten Überschreitungen nur an den zwei städtischen Hintergrundstationen Cottbus und Frankfurt (Oder) knapp eingehalten werden könnte. Dabei würden ausschließlich Überschreitungstage reduziert, für die Werte knapp über dem Grenzwert gemessen wurden. Für die übrigen Hintergrundstationen Eisenhüttenstadt, Hasenholz und Vogelsang lässt sich auch durch solche hypothetischen lokalen Maximalszenarien in dem besonderen Jahr 2010 keine Einhaltung der Grenzwerte erreichen. Unabhängig davon, dass solche Extremszenarien nicht praktisch umsetzbar sind, würden sie aufgrund der nur sehr geringen Wirkung an den hier untersuchten Tagen auch den Grundsatz der Verhältnismäßigkeit verletzen.

Für die beiden Städte Cottbus und Frankfurt (Oder) liegen Luftreinhalteplanungen vor bzw. werden zur Zeit aktualisiert (MLUV, 2006; MUGV, 2011a, 2012), in deren Rahmen mögliche allgemeine Maßnahmen, die sich nicht nur auf einzelne verkehrliche Hotspots beschränken, geplant und umgesetzt werden. Solche Maßnahmen werden einen Beitrag zur generellen Absenkung der Luftschadstoffbelastung leisten, jedoch bezüglich der hier betrachteten speziellen Überschreitungstage keine signifikante Wirkung zeigen. In diesem Zusammenhang wird auch auf die Mitteilung des Landes Brandenburg an die Europäische Kommission zu den Ursachen der Überschreitungen der Tagesmittelwert-Grenzwerte für PM10-Schwebstaub im Land Brandenburg im Jahr 2010 und den zu ihrer Vermeidung ergriffenen Maßnahmen (MUGV, 2011b) verwiesen.

Ein zumindest theoretisches Potential zur Immissionsminderung gibt es bezüglich des Beitrags aus brandenburgischen Quellen insgesamt, für den an einzelnen Überschreitungstagen durchaus relevante Anteile abgeschätzt werden. Allerdings handelt es sich hierbei nicht um Beiträge greifbarer Einzelquellen, die spezifisch angegangen werden könnten, sondern um eine, z. T. auch innerhalb Brandenburgs, über weite Strecken transportierte allgemeine Belastung. Eine Reduktion dieses Beitrags lässt sich durch allgemeine Maßnahmen zur Emissionsreduktion erreichen, wie sie im Rahmen der Luftreinhalteplanung in Brandenburg geplant sind und umgesetzt werden. Für diese Maßnahmen gilt aber, dass sie i. d. R. nur mittel- bis langfristig wirken und für sich genommen meist auch keine großen Wirkungen haben. Aufgrund der vielen lokalen Maßnahmen, den nationalen Programmen zur Emissionsreduktion und dem technischen Fortschritt wird sich mittelfristig eine Reduktion des regionalen Beitrags einstellen. Betrachtet man einzelne Quellgruppen, müssen die Emissionsreduktionen in dieser Gruppe

aber jeweils beträchtlich sein, um *regional* spürbare Effekte zu erreichen. Vor diesem Hintergrund sind – mit Ausnahme von nicht praktikablen drastischen hypothetischen Maßnahmen, wie z. B. einem generellen landesweiten Fahrverbot für alle Kfz – keine Maßnahmen auf regionaler Ebene erkennbar, die kurz- und mittelfristig dazu führen, dass solche Überschreitungssituationen an Hintergrundstationen wie im besonderen Jahr 2010 nicht mehr auftreten.

Ergänzend ist festzustellen, dass sich der in Überschreitungsepisoden potentiell sehr hohe Beitrag von sekundären Aerosolen durch lokale Maßnahmen kaum mindern lässt, da diese vor allem großräumig gebildet werden. Bezüglich der Reduktion der sekundären Aerosole können daher kurzfristige regionale Maßnahmen als nicht wirkungsvoll eingeschätzt und nur langfristige, großräumig angelegte Maßnahmen als Erfolg versprechend betrachtet werden (s. dazu z. B. auch LUBW, 2007).

Ein Ansatz, der an allen Stationen zu weniger als 35 Tagen mit Tagesmittelwerten über  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  führen würde, wäre die Senkung des absoluten Beitrags des abgeschätzten Ferntransports um jeweils 10 %. Zur Realisierung dieses Ziels sind allerdings Maßnahmen zur Reduktion der Emissionen in den Quellregionen der transportierten Emissionen nötig. Anhand der Einflussmatrizen werden dafür vorwiegend die Gebiete in Polen und Tschechien südöstlich von Ostbrandenburg als mögliche Quellgebiete hoher Emissionen oder auch sekundärer Produktion entlang der Trajektorien identifiziert. Auch an anderer Stelle, z. B. in IFT (2011), wird festgestellt, dass es trotz des zeitlich seltenen Auftretens der so genannten Ostwetterlagen notwendig erscheint, „... menschlich verursachte Emissionen in den osteuropäischen Ländern vor Ort weiter zu reduzieren. Die Forscher weisen auf ein entsprechendes Einwirken der EU auf jene Mitgliedsländer hin. Weitere technische Verbesserungen, z. B. bei der Reduzierung von Kraftwerks- und Hausbrandemissionen, könnten die großräumige Verfrachtung von Feinstaub innerhalb Europas merklich reduzieren. Außerdem würde das auch zu deutlichen Verbesserungen der Luftqualität in den osteuropäischen Problemgebieten selbst führen.“

Daraus ergibt sich, dass zur Einhaltung der Immissionsgrenzwerte – gerade in Situationen wie den hier untersuchten – von Seiten der EU eine integrierte Umweltpolitik umgesetzt werden muss, zu der insbesondere auch die Fortschreibung der Richtlinie 2001/81/EG über nationale Emissionshöchstmenge (NEC-Richtlinie; EU, 2001b) und deren verbindliche Umsetzung gehören. Dies findet sich auch in den Empfehlungen des Ausschusses der Regionen zur „Überarbeitung der EU-Politik für Luftqualität und Emissionen“ (EU, 2012) wieder. Dieser Ausschuss ist u. a. „... der Ansicht, dass einzelne lokale und regionale Gebietskörperschaften die Verbesserung der Luftqualität vor Ort nur räumlich begrenzt beeinflussen können (Faktor-Kategorie 1). Lokale und regionale Maßnahmen sind auf die Verringerung der Emissionen aus örtlichen Quellen ausgerichtet, wohingegen insbesondere die Feinstaubkonzentrationen PM10, PM2,5 und Ozonkonzentrationen vor Ort zu großen Teilen von grenzüberschreitenden und/oder überregionalen Emissionen verursacht wird.“ Im weiteren betont der Ausschuss, dass „...die Überschreitung der Grenzwerte auf lokaler und regionaler Ebene zum großen Teil auf eine nicht ausreichend ehrgeizige Emissionsquellenpolitik zurückzuführen“ ist und „... dass die Richtlinie über nationale Emissionshöchstmenge (NEC-Richtlinie) das Instrument par excellence für die Verringerung der Hintergrundkonzentrationen ist. [...] Die Überarbeitung dieser Richtlinie muss nach Auffassung des Ausschusses so ehrgeizig angelegt sein, dass die Hintergrundkonzentrationen in ganz Europa gesenkt werden können. Dadurch wird auch die Durchführung einer Luftqualitätspolitik auf lokaler und regionaler Ebene realistisch und machbar“.

Dazu gehört nicht zuletzt auch, dass diese Richtlinien verbindlich umgesetzt werden bzw. diesbezüglich gewährte Ausnahmen in der Beurteilung des lokalen Luftqualitätsmanagements berücksichtigt werden. So hat beispielsweise Polen im Rahmen des EU-Beitritts 2004 weitreichende Ausnahmeregelungen erhalten, u. a. für die EU-Richtlinien 2001/80/EG (EU, 2001a) und 96/61/EG bzw. 2008/1/EG (IVU-Richtlinie; EU, 2008b). Nach dem EU-Beitrittsvertragsgesetz vom 18. September 2003 (EU, 2003) zur Umsetzung der Richtlinie 2001/80/EG wurden Ausnahmen für Energieerzeugungsanlagen bezüglich der SO<sub>2</sub>-Emission bis 31.12.2015 sowie für Staub und Stickstoffdioxid bis 31.12.2017 erteilt.

Als Ergänzung zur Richtlinie 2008/50/EG werden in der „Mitteilung der Kommission über die Mitteilung einer Verlängerung der Fristen für die Erfüllung der Vorschriften und Ausnahmen von der vorgeschriebenen Anwendung bestimmter Grenzwerte gemäß Artikel 22 der Richtlinie 2008/50/EG über Luftqualität und saubere Luft für Europa.“ (EU, 2008c) die Bedingungen für die Gewährung von Fristverlängerungen konkretisiert. Diese „... gibt den Mitgliedstaaten die Möglichkeit, der Kommission mitzuteilen, dass sie [...] die Voraussetzung für die Ausnahme von der Verpflichtung zur Anwendung der Grenzwerte für PM<sub>10</sub>-Partikel erfüllen“.

Als spezielle Voraussetzung für PM<sub>10</sub> werden unter Punkt 37 der Mitteilung „Grenzüberschreitende Einträge“ genannt, die auftreten, „... wenn aufgrund der meteorologischen und topografischen Bedingungen anthropogene Verschmutzung von außerhalb des Mitgliedstaats über die Grenzen getragen wird und hierdurch hohe Konzentrationen entstehen. Solche Einträge können aus der näheren Umgebung der in der Nähe einer Landesgrenze gelegenen Gebiete und Ballungsräume (grenzüberschreitende Einträge mit kurzer Reichweite) oder aus größerer Entfernung ab etwa 100 km (grenzüberschreitende Einträge mit langer Reichweite) stammen.“ Im weiteren wird unter Punkt 40 festgelegt, dass „Mitgliedstaaten, die einen grenzüberschreitenden Eintrag geltend machen, [...] angeben [müssen], ob mit dem Mitgliedstaat, aus dem der Schadstoff kommt [...] Konsultationen geführt wurden. Solche Konsultationen haben mit Polen 2006, 2007 und zuletzt am 10.05.2011 unter Beteiligung von Vertretern des Bundesministeriums für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit, des Umweltbundesamts, der Länder Berlin, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern und Sachsen sowie des Leibniz-Instituts für Troposphärenforschung stattgefunden.

In Punkt 41 und 42 wird festgelegt: „Grenzüberschreitende Einträge können entweder durch Messung oder durch Modellbildung beurteilt werden. Solche Beurteilungen müssen gegebenenfalls durch Analyse der Rückwärtstrajektorien und Quellenzuordnung der einzelnen Überschreitungen ergänzt werden. [...] Wird der tägliche Grenzwert überschritten, so ist nachzuweisen, dass nach Abzug des grenzüberschreitenden Eintrags die Konzentration im Tagesdurchschnitt unter dem Grenzwert liegt.“ Beide Anforderungen sind mit der hier vorliegenden Untersuchung erfüllt. Damit ergibt sich, dass die hier untersuchten Überschreitungstage im besonderen Jahr 2010 als eine Ausnahmesituation im Sinne der Mitteilung der Kommission (EU, 2008c) betrachtet werden können.

Ergänzend wird nochmals auch auf die Mitteilung des Landes Brandenburg an die Europäische Kommission zu den Ursachen der Überschreitungen der Tagesmittelwert-Grenzwerte für PM<sub>10</sub>-Schwebstaub im Land Brandenburg im Jahr 2010 und den zu ihrer Vermeidung ergriffenen Maßnahmen (MUGV, 2011b) und die erfolgreiche Beantragung der Fristverlängerung für die PM<sub>10</sub>-Grenzwert-Einhaltung für die Verkehrsmessstation Cottbus verwiesen.





## 8 Zusammenfassung

An den fünf Hintergrundstationen Vogelsang, Eisenhüttenstadt, Frankfurt (Oder), Hasenholz und Cottbus in Ostbrandenburg wurden im Jahr 2010 an 48 Kalendertage insgesamt 187 Überschreitungen des Tagesgrenzwerts der 39. BImSchV (2010) für PM10 in Höhe von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  gemessen, wobei die Anzahl der Überschreitungsfälle an den einzelnen Stationen zwischen 36 und 41 liegt. Mit dem vorliegenden Projekt wurde die Belastungssituation an den fünf Hintergrund-Messstationen untersucht, mit dem Ziel zu klären, welche Beiträge lokale und regionale Verursacher zu den hohen PM10-Konzentrationen leisten, inwieweit Ferntransportprozesse einen Beitrag zur Gesamtbelastung geleistet haben, inwieweit besonders ungünstige Wetterlagen für eine spezifische Luftschadstoffverfrachtung und mangelnde „Verdünnung“ der Luftschadstoffkonzentrationen gesorgt haben und welche Maßnahmen denkbar sind, um die Grenzwerte auf Dauer einzuhalten.

Dazu wurden im Projekt umfassenden Untersuchungen und Analysen der aktuellen Literatur zum Thema, der Wetterlagen, der Trajektorien, der Messdaten und der großräumigen Belastungssituation durchgeführt sowie die Schadstoffbelastung durch regionale und lokale Quellen modelliert.

Aus den Analysen zeigt sich zusammenfassend, dass die verschiedenen methodischen Ansätze erwartungsgemäß teilweise zu unterschiedlichen Einschätzungen führen, da sie sich auf unterschiedliche Aspekte stützen, und damit alle ihre Berechtigung haben. Insgesamt ergibt sich jedoch eindeutig, dass der Einfluss des Ferntransports an den Überschreitungstagen sehr hoch ist und dass der Großteil der hier vorkommenden Überschreitungstage als durch Ferntransport dominierte Überschreitungstage klassifiziert werden muss.

Bei einzelnen Tagen finden sich Hinweise, dass auch lokale und insbesondere regionale Quellen einen relevanten Beitrag zur Gesamtbelastung liefern. Hierbei handelt es sich um Tage mit ungünstigen Ausbreitungsbedingungen bei sehr niedrigen Mischungsschichthöhen und/oder schwachwindigen Situationen. Insbesondere die lokalen Ausbreitungsmodellierungen liefern für alle Stationen und alle Überschreitungstage lokale Anteile an der gemessenen Gesamtbelastung von im Mittel unter 2 % und insgesamt an allen Stationen nur in drei Fällen über 5 % und damit deutliche Hinweise, dass lokale brandenburgische Quellen im Umkreis von ca. 20 km um die jeweilige Messstation nicht für die Überschreitung des jeweiligen Tagesgrenzwerts verantwortlich sind bzw. nicht relevant dazu beitragen.

Vor diesem Hintergrund ergibt sich, dass es keine praktikablen und verhältnismäßigen Maßnahmen gibt, die eine dauerhafte Einhaltung der PM10-Tagesmittelwert-Grenzwerte in besonderen Jahren wie 2010 sicherstellen und in Brandenburg umgesetzt werden könnten. Vielmehr muss der Beitrag durch Ferntransport reduziert werden. Dies kann – im Einklang mit Forderungen z. B. des Ausschuss der Regionen der EU – nur durch eine integrierte Umweltpolitik der EU erfolgen, bei der der Emissionsreduktion ein höheres Gewicht beigemessen wird. Dies gilt insbesondere, aber nicht ausschließlich, für die (süd-)östlich Brandenburgs gelegenen Gebiete, die als Quellregionen identifiziert wurden.

Hinsichtlich der Bewertung des Luftqualitätsmanagements in Brandenburg können die hier untersuchten Überschreitungstage im besonderen Jahr 2010 als eine Ausnahmesituation im Sinne der Mitteilung der Kommission (EU, 2008c) betrachtet werden.



## 9 Literatur

39. BImSchV, 2010: Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen - 39. BImSchV). In der Fassung vom 02.08.2010. BGBl. I S. 1065. 2010.
- AfS BB, 2010: Statistisches Jahrbuch Brandenburg 2010. Amt für Statistik Berlin-Brandenburg. 2010.
- AfS BB, 2011: Die kleine Brandenburg-Statistik 2011. Amt für Statistik Berlin-Brandenburg. 2011.
- Berliner Wetterkarte, 2011. Berliner Wetterkarte. Hrsg. Berliner Wetterkarte e.V., Freie Universität Berlin. 2011.
- Birmili, W.; Engler, C., 2011: Studie zur Charakterisierung und Quantifizierung der räumlichen Herkunft der PM10-Belastung an hoch belasteten Orten. Ausarbeitung für das Umweltbundesamt, Fachgebiet II 4.2. FKZ 312 01 283. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. 2011.
- Birmili, W.; Schepanski, K.; Ansmann, A.; Spindler, G.; Tegen, I.; Wehner, B.; Nowak, A.; Reimer, E.; Mattis, I.; Müller, K.; Brüggemann, E.; Gnauk, T.; Herrmann, H.; Wiedensohler, A.; Althausen, D.; Schladitz, A.; Tuch, T.; Löschan, G., 2008: A case of extreme particulate matter concentration over Central Europe caused by dust emitted over the southern Ukraine. *Atmospheric Chemistry and Physics* Nr. 8, S. 997-1016. 2008.
- BMBF, 2005: Results of the German Atmospheric Research Programme – AFO 2000. Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). 2005.
- Braun, F. J.; Hermsdörfer, K.; Höfl, H.; Richter, C.; Scherer, P.; Beyer, A.; Hugo, A.; Jarzyna, D.; Kuhlbusch, T. A. J.; Gärtner, A., 2012: Diffuse Feinstaub-Emissionen beim Umschlag von Kohle. *Immissionsschutz* Nr. 4, S. 20-26. 2012.
- Bruckmann, P.; Otto, R.; Wurzler, S.; Pfeffer, U.; Doppelfeld, A.; Beier, R., 2009: Welche Anforderungen stellen die neuen europäischen Regelungen zu der Feinstaubfraktion PM2.5 an den Immissionsschutz? *Immissionsschutz* 14 Nr. 3, S. 112 - 116. 2009.
- Bruckmann, P.; Friesel, J.; Wurzler, S.; Straub, W.; Romberg, U.; Wilhelm, S.; Pfeffer, U., 2010: Hohe Feinstaubbelastungen von Polen bis Nordfrankreich im Januar 2010. *Immissionsschutz* 15 Nr. 2, S. 56 - 63. 2010.
- Bruckmann, P.; Gehrig, R.; Kuhlbusch, T.; Sträter, E.; Nickel, C., 2010: Vorkommen von Feinstäuben und die Maßstäbe ihrer Bewertung. In: GDCh; KRdL; ProcessNet (Hrsg.): Statuspapier Feinstaub. GDCh-, KRdL- und ProcessNet-Gemeinschaftsausschuss "Feinstäube". 2010. ISBN 978-3-89746-120-8.
- Bruckmann, P.; Wurzler, S.; Mildenerger, K., 2006: Die Episode hoher Staubkonzentrationen im Januar und Februar 2006. *Immissionsschutz* Nr. 2, S. 556-62. 2006.
- Brüggemann, E.; Gnauk, T.; Herrmann, H.; Müller, K.; Birmili, W.; Engler, C.; Weinhold, K.; Wiedensohler, A., 2008: Einfluss des Ferneintrages auf die Feinstaubbelastung im Ballungsraum. Abschlußbericht. Forschungsprojekt im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie. 2008.
- CGIAR, 2008: Jarvis A.; Reuter, H.I.; Nelson, A.; Guevara, E.: Hole-filled seamless SRTMdata V4, International Centre for Tropical Agriculture (CIAT), available from <http://srtm.csi.cgiar.org>. 2008.

- DLR, 2011: <https://centaurus.caf.dlr.de:8443/>. 2011.
- Düring, I.; Moldenhauer, A.; Vogt, U.; Baumbach, G.; Straub, D.; Fleischer, P., 2011: Ermittlung von PM10-Emissionen aus einem Steinbruch. Immissionsschutz Nr. 4, S. 178-183. 2011.
- DWD, 2011: Klimawandel im Detail - Zahlen und Fakten zum Klima in Deutschland. Deutscher Wetterdienst. 2011.
- EEA, 2005: Corine Land Cover 2000. European Environment Agency. Copenhagen, 2005.
- EEA, 2007: CLC2006 technical guidelines. Technical report No 17/2007. European Environment Agency. Copenhagen, 2007.
- EEA, 2011: AirBase - the European Air quality dataBase. On behalf of the European Environment Agency. [http://acm.eionet.europa.eu/databases/airbase/index\\_html](http://acm.eionet.europa.eu/databases/airbase/index_html). 2011.
- EEA, 2011: European Union emission inventory report 1990–2009 under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (LRTAP). EEA technical report 9/2011. European Environment Agency. 2011.
- Eikmann, T.; Dopp, E.; Herr, C., 2010: Die Wirkung von Fein- und Feinststäuben auf die menschliche Gesundheit. In: GDCh; KRdL; ProcessNet (Hrsg.): Statuspapier Feinstaub. GDCh-, KRdL- und ProcessNet-Gemeinschaftsausschuss "Feinstäube". 2010. ISBN 978-3-89746-120-8.
- EMEP, 2007: EMEP Particulate Matter Assessment Report. Convention on Long-range Transboundary Air Pollution. EMEP/CCC-Report 8/2007. Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long Range Transmission of Air Pollutants in Europe (EMEP). 2007.
- EMEP, 2011: Transboundary particulate matter in Europe. Status report 2011. Convention on Long-range Transboundary Air Pollution. EMEP Report 4/2011. Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long Range Transmission of Air Pollutants in Europe (EMEP). 2011.
- EU, 2001a: Richtlinie 2001/80/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2001 zur Begrenzung von Schadstoffemissionen von Großfeuerungsanlagen in die Luft. Geändert durch Beitrittsakte 2003 und Richtlinien 2006/105/EG und 2009/31/EG. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 309, S. 1. 2001.
- EU, 2001b: Richtlinie 2001/81/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2001 über nationale Emissionshöchstmengen für bestimmte Luftschadstoffe. Geändert durch Beitrittsakte 2003 und Richtlinie 2006/105/EG und VO (EG) 219/2009. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 309, S. 22. 2001.
- EU, 2003: EU-Beitrittsvertragsgesetz vom 18. September 2003, Anhang XII – Liste nach Artikel 24 der Beitrittsakte Polen, Nr.13 – Umwelt. D. Bekämpfung der Industriellen Umweltbelastung und Risikomanagement, S. 1530-1536. 2003.
- EU, 2008a: Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa. Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 152, S. 1. 2008.
- EU, 2008b: Richtlinie 2008/1/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Januar 2008 über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmut-



zung (kodifizierte Fassung) (IVU-Richtlinie). Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 24, S. 8–29. 2008.

EU, 2008c: Mitteilung der Kommission über die Mitteilung einer Verlängerung der Fristen für die Erfüllung der Vorschriften und Ausnahmen von der vorgeschriebenen Anwendung bestimmter Grenzwerte gemäß Artikel 22 der Richtlinie 2008/50/EG. über Luftqualität und saubere Luft für Europa. (Mitteilung KOM/2008/0403). 2008.

EU, 2012: Stellungnahme des Ausschusses der Regionen zu: „Überarbeitung der EU-Politik für Luftqualität und Emissionen“. Amtsblatt der Europäischen Union C 225/03 vom 27.07.2012.

Flemming, J.; Stern, R., 2004: Datenassimilation auf der Basis der Optimalen Interpolation für die Kartierung von Immissionsbelastungen. Beschreibung der Methodik und praktische Anwendung für 2002. Abschlussbericht im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsvorhaben 201 43 250 auf dem Gebiet des Umweltschutzes „Anwendung modellgestützter Beurteilungssysteme für die bundeseinheitliche Umsetzung der EU-Rahmenrichtlinie Luftqualität und ihrer Tochtrichtlinien“. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. 2004.

GDCh; KRdL; ProcessNet (Hrsg.), 2010: Statuspapier Feinstaub. GDCh-, KRdL- und ProcessNet-Gemeinschaftsausschuss "Feinstäube". 2010. ISBN 978-3-89746-120-8.

Geoflux, 2008: Potenzielle Erosionsgefährdung durch Wasser und Wind im Land Brandenburg. Abschlussbericht. Auftraggeber: Scilands GmbH Göttingen. Im Auftrag des Landesamtes für Bergbau, Geologie und Rohstoffe, Brandenburg (LBGR). 2008.

Herrmann, H.; Kuhlbusch, T.; Gnauk, T.; Weinbruch, S.; Baltensperger, U.; Pöschl, U., 2010: Chemische Charakterisierung von Feinstäuben. In: GDCh; KRdL; ProcessNet (Hrsg.): Statuspapier Feinstaub. GDCh-, KRdL- und ProcessNet-Gemeinschaftsausschuss „Feinstäube“. 2010. ISBN 978-3-89746-120-8.

IER, 2005: Fortschreibung des Emissionskatasters Bayern für das Jahr 2000. Schlussbericht. Auftraggeber: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz. Stuttgart, 2005.

IFT, 2011: Hohe Feinstaubbelastungen bei Kaltluft aus Osteuropa. Pressemitteilung. Leibniz-Institut für Troposphärenforschung (IfT). 2011.

IVU Umwelt, 2004: Ausbreitungsrechnungen als Beitrag zur Ursachenanalyse im Ballungsraum Rhein-Main. Auftraggeber: Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie. 2004.

IVU Umwelt, 2006a: Maßnahmen zur Reduzierung von Feinstaub und Stickstoffdioxid. FKZ 204 42 222. Veröffentlichung UBA-Texte 22/07. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Unter Mitarbeit von ifeu Heidelberg GmbH. 2006.

IVU Umwelt, 2006b: Ausbreitungsrechnungen zum Luftreinhalteplan Lahn-Dill. Auftraggeber: Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie. 2006.

IVU Umwelt, 2008: LAS<sup>arc</sup> – Handbuch zur Version 3.2. IVU Umwelt GmbH. Freiburg. 2008.

IVU Umwelt, 2009: Ausbreitungsrechnungen als Beitrag zur Ursachenanalyse für den Luftreinhalteplan Rhein-Main. Auftraggeber: Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie. 2009.

IVU Umwelt, 2011a: Ausbreitungsrechnungen für die Gebiete Mittel- und Nordhessen, Lahn-Dill und den Ballungsraum Kassel. Auftraggeber: Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG). 2011.

IVU Umwelt, 2011b: IMMIS<sup>em/luft/lärm</sup> - Handbuch zur Version 5. IVU Umwelt GmbH, Freiburg. 2011.

IVU Umwelt, 2012: Einfluss des Verkehrs und seiner Entwicklung auf die Luftqualität im Land Brandenburg. Verkehrsgutachten. Auftraggeber: Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz (MLUV) des Landes Brandenburg. 2012.

Janicke, 2002: Ermittlung der Rauigkeitslänge mit RLint. 2002.

Janicke, 2007: Dispersion Modell LASAT Version 3.0. Reference Book. Janicke Consulting. 2007.

Janicke, 2011: AUSTAL2000. Programmbeschreibung zu Version 2.5 Stand 01.08.2011. Auftraggeber: Umweltbundesamt; LfU Baden-Württemberg; Niedersächsisches Landesamt für Ökologie; Landesumweltamt NRW. 2011.

John, A.; Kuhlbusch, T., 2004: Ursachenanalyse von Feinstaub (PM10)-Immissionen in Berlin auf der Basis von Messungen der Staubinhaltsstoffe am Stadtrand, in der Innenstadt und in einer Straßenschlucht. IUTA-Bericht LP 09/2004. 2004.

Kerschbaumer, A.; Reimer, E., 2003: Erstellung der Meteorologischen Eingangsdaten für das REM/CALGRID-Modell: Modellregion Berlin-Brandenburg. Abschlussbericht zum UBA-Forschungsvorhaben FKZ 299 43 246. 2003.

Kerschbaumer, A.; Stern, R.; Reimer, E., 2005: Ausbreitungsrechnungen mit dem Aerosol-Chemie-Transportmodells REM-CALGRID für die Region Berlin-Brandenburg. Abschlußbericht. Im Rahmen des Projekts „Untersuchung des Potentials und der Umsetzbarkeit von Maßnahmen und der damit erzielbaren Minderungen der Feinstaub- (PM10) und Stickoxidemissionen in Berlin“. Institut für Meteorologie, FU Berlin. Auftraggeber: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin. 2005.

Koschitzki, Th.; Möller, M; Wurbs, D., 2008: Potenzielle Erosionsgefährdung durch Wasser und Wind im Land Brandenburg. Bericht der geoflux GbR Halle im Auftrag der sciLands GmbH Göttingen und des Landesamtes für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg (LBGR). Unveröffentlicht. 2008.

KRdL, 2000: Umweltmeteorologie - Atmosphärische Ausbreitungsmodelle - Partikelmodell. VDI-Richtlinie 3945 Blatt 3. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN - Normenausschuss KRdL. 2000.

KRdL, 2005: Umweltmeteorologie - Emissionen von Gasen, Gerüchen und Stäuben aus diffusen Quellen - Grundlagen. VDI-Richtlinie 3790 Blatt 1. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN - Normenausschuss KRdL. 2005.

KRdL, 2010: Umweltmeteorologie - Emissionen von Gasen, Gerüchen und Stäuben aus diffusen Quellen - Lagerung, Umschlag und Transport von Schüttgütern. VDI-Richtlinie 3790 Blatt 3. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN - Normenausschuss KRdL. 2010.

Kuhlbusch, T.; Quass, U.; Theloke, J.; Friedrich, R.; Herrmann, H.; Jaenicke, R.; Després, V., 2010: Quellen von Feinstäuben. In: GDCh; KRdL; ProcessNet (Hrsg.): Statuspapier Feinstaub. GDCh-, KRdL- und ProcessNet-Gemeinsschaftsausschuss "Feinstäube". 2010. ISBN 978-3-89746-120-8.

- Kühne, M., 2006: Die Episode hoher PM10-Schwebstaubkonzentrationen im Januar 2006 in Brandenburg. Immissionsschutz Nr. 6, S. 155-159. 2006.
- Lenschow, P.; Abraham, H. J.; Kutzner, K.; Lutz, M.; Preuss, J. - D.; Reichenbacher, W., 2001: Some ideas about the sources of PM10. Atmospheric Environment 35 Nr. Supplement 1, 2001.
- Löschau, G.; Birmili, W.; Engler, C.; Weinhold, K.; Gnauk, T.; Brüggemann, E.; Müller, K.; Herrmann, H.; Wiedensohler, A., 2011: Teil 3: Räumliche Variation der Partikelkonzentration sowie Hauptverursacher im Ballungsraum. Messung der Anzahl von ultrafeinen Partikeln in der Außenluft in einem Luftgütemessnetz. Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft Nr. 1/2, S. 57-63. 2011.
- LUA Brandenburg, 2002: Staubbiederschlag und Niederschlagsdeposition im Land Brandenburg. Studien und Tagungsberichte Band 36. Landesumweltamt Brandenburg. 2002.
- LUA Brandenburg, 2004: Einfluss von Niederschlag auf die PM10-Schwebstaubkonzentration. Landesumweltamt (LUA) Brandenburg. 2004.
- LUA Brandenburg, 2010: Konzeption zur Überwachung der Luftqualität im Land Brandenburg 2010 - 2014 (KÜL 2010). Landesumweltamt (LUA) Brandenburg. 2010.
- LUBW, 2007: Einflussgrößen auf die zeitliche und räumliche Struktur der Feinstaubkonzentrationen. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW). 2007.
- LUGV, 2011a: Luftqualität in Brandenburg. Jahresbericht 2010. Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (LUGV) Brandenburg. 2011.
- LUGV, 2011b: PM10-Tagesmittelwerte > 50 µg/m<sup>3</sup> an brandenburgischen Verkehrsmessstellen mit dominantem Ferntransportanteil und mehr als 35 Überschreitungen im Jahr 2010. Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (LUGV) Brandenburg. 2011.
- LUGV, 2011c: PM10-Schwebstaubimmission im Einwirkungsbereich der Lausitzer Braunkohletagebaue – Schlussfolgerungen aus langjährigen regionalen Messungen. Unveröffentlicht. Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (LUGV) Brandenburg. 2011.
- LUNG MV, 2002: Bodenerosion 2. überarbeitete Auflage. Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie (LUNG) Mecklenburg-Vorpommern. Beiträge zum Bodenschutz in Mecklenburg-Vorpommern. 2002.
- LUNG MV, 2004: Feinstaubimmissionen in Mecklenburg-Vorpommern. Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie (LUNG) Mecklenburg-Vorpommern. Materialien zur Umwelt. 2004.
- LUNG MV, 2005: Untersuchungen zu PM10- und NO<sub>2</sub>-Immissionen an ausgewählten Standorten im Rostocker Stadtgebiet. Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie (LUNG) Mecklenburg-Vorpommern. Materialien zur Umwelt. 2005.
- LUNG MV, 2010: Luftgütebericht 2008 / 2009. Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie (LUNG) Mecklenburg-Vorpommern. 2010.
- MLUV, 2006: Luftreinhalteplan Frankfurt (Oder). Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz (MLUV) des Landes Brandenburg. In Zusammenarbeit mit CS Planungs- und Ingenieurgesellschaft mbH Berlin und IVU Umwelt GmbH. 2006.

- MUGV, 2009: Umweltdaten Brandenburg 2008/09. Ministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (MUGV) des Landes Brandenburg. 2009.
- MUGV, 2011a: Luftreinhalteplan Cottbus Fortschreibung 2011. Ministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (MUGV) des Landes Brandenburg. 2011.
- MUGV, 2011b: Mitteilung an die Europäische Kommission zu den Ursachen der Überschreitungen der 24 h-Grenzwerte für PM10-Schwebstaub im Land Brandenburg im Jahr 2010 und den zu ihrer Vermeidung ergriffenen Maßnahmen. Ministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (MUGV) des Landes Brandenburg. Potsdam, 14.06.2011.
- MUGV, 2012: Luftreinhalteplan Frankfurt (Oder) Fortschreibung 2012. Ministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (MUGV) des Landes Brandenburg. In Bearbeitung.
- PAREST, 2010: Bultjes, P.; Jörß, W.; Stern, R.; Theloke, J.: Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung (PAREST). Zusammenfassender Abschlussbericht. FE-Vorhaben FKZ 206 43 200/01. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. 2010.
- Potsdam, 2011: Luftreinhalte- und Qualitätsplan für die Landeshauptstadt Potsdam. Fortschreibung 2010-2015. Entwurf. Hrsg.: Landeshauptstadt Potsdam. 2011.
- Pregger, T., 2006: Ermittlung und Analyse der Emissionen und Potenziale zur Minderung primärer anthropogener Feinstäube in Deutschland. Dissertation. Universität Stuttgart, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER). 2006. <http://elib.uni-stuttgart.de/opus/volltexte/2006/2590/>.
- Quass, U.; Beuck, H.; Pfeffer, U.; Bruckmann, P.; Kuhlbusch, T. A. J., 2009: PM10 und natürliche Feinstaubquellen - Bestimmung in der Routine. KRdL-Expertenforum "Partikel und Stickstoffdioxid", 7.10.2009 in Bonn. 2009.
- Quass, U.; Kuhlbusch, T.; Koch, M., 2004: Identifizierung von Quellgruppen für die Feinstaubfraktion. IUTA-Report Nr. LP 15/2004. Auftraggeber: Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNLV). Duisburg, 2004.
- Reimer, E., 2003: Untersuchung des Transports von Luftschadstoffen und Geruchsstoffen im deutsch-tschechischen Grenzgebiet mittels Trajektorien im Winterhalbjahr 2001/02. Abschlussbericht. Auftraggeber: Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG). 2003.
- Reimer, E., 2006: Ursachenanalyse zu hohen PM10-Konzentrationen im Jahr 2003 in Ostdeutschland und Anrainerstaaten. 2006.
- Reimer, E.; Kerschbaumer, A., 2003: Ursachenanalyse zu hohen PM10-Konzentrationen im Jahr 2002 und 2003 in Bayern. Auftraggeber: Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen. 2003.
- Reimer, E.; Kerschbaumer, A.; Beekmann, M., 2005: Source/Receptor-Analyse für Aerosolmessreihen und Modellrechnungen auf der Basis von Trajektorien, HOVERT (Sep 2001 – Oct 2002). Gefördert im Rahmen des Deutsches Atmosphären-Forschungs-Programms (AFO 2000) vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). 2005.
- Reimer, E.; Scherer, B., 1992: An operational meteorological diagnostic system for regional air pollution analysis and long-term modelling. In: Van Dop, H.; Kallos, G. (Ed.): Air Pollution Modelling and its Applications IX. 1992.

Reimer, E.; Sodoudi, S.; Streckenbach, B., 2007: Meteorologischer Einfluss auf die PM10-Feinstaub-Konzentration. Immissionsklimatologie zur Normierung des meteorologischen Einflusses auf die Kenngrößen der PM10-Feinstaubbelastung für ein Kalenderjahr. Auftraggeber: Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz (MLUV) des Landes Brandenburg. 2007.

Renner, E.; Wolke, R., 2008: Simulationen zur Episode hoher Schwebstaubkonzentrationen im Januar und Februar 2006. Immissionsschutz Nr. 1, S. 13-17. 2008.

Spangl, W.; Kaiser, A., 2008: Herkunftsanalyse von PM10 und seinen Inhaltsstoffen. Ferntransport nach Österreich und regionale Beiträge. REPORT REP-0156. Auftraggeber: Umweltbundesamt Österreich. Report REP-0135. Wien, 2008.

Spangl, W.; Nagl, C.; Schneider, J.; Kaiser, A., 2006: Herkunftsanalyse der PM10-Belastung In Österreich. Ferntransport und regionale Beiträge. REPORT REP-0034. Auftraggeber: Umweltbundesamt Österreich. Report REP-0135. Wien, 2006.

Spindler, G.; Brüggemann, E.; Gnauk, T.; Gruner, A.; Müller, K.; Herrmann, H., 2010: A four-year size-segregated characterization study of particles PM10, PM2.5 and PM1 depending on air mass origin at Melpitz. Atmospheric Environment Nr. 44, S. 164-173. 2010.

Spindler, G.; Brüggemann, E.; Gnauk, T.; Grüner, A.; Müller, K.; Herrmann, H.; Poulain, L.; Tuch, T. M.; Wehner, B.; Wiedensohler, A., 2008: Fortsetzung der chemischen und physikalischen Charakterisierung des atmosphären-getragenen Feinstaubes an der Messstelle Melpitz. Abschlussbericht zum Vorhaben des Umweltbundesamtes Förderkennzeichen 351 01 038 Laufzeit: November 2006 bis Oktober 2007. 2008.

Statistikportal, 2011: Statistik-Portal der statistischen Ämter des Bundes und der Länder. [http://www.statistikportal.de/Statistik-Portal/de\\_zs01\\_bund.asp](http://www.statistikportal.de/Statistik-Portal/de_zs01_bund.asp). Stand: 29.11.2011.

Stern, R.; Builtjes, P.; Schaap, M.; Timmermans, R.; Vautard, R.; Hodzic, A.; Memmesheimer, M.; Feldmann, H.; Renner, E.; Wolke, R.; Kerschbaumer, A., 2008: A model inter-comparison study focussing on episodes with elevated PM10 concentrations. Atmospheric Environment 42 S. 4567-4588. 2008.

Stern, R., 2003: Entwicklung und Anwendung des chemischen Transportmodells REM-CALGRID. Abschlussbericht zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben 298 41 252 des Umweltbundesamtes "Modellierung und Prüfung von Strategien zur Verminderung der Belastung durch Ozon". 2003.

Stern, R., 2006a: Großräumige PM10-Ausbreitungsmodellierung: Abschätzung der gegenwärtigen Immissionsbelastung in Europa und Prognose bis 2010. S. 85-102. In: KRdL (Hrsg.): Feinstaub und Stickstoffdioxid. Wirkung, Quellen, Luftreinhaltepläne, Minderungsmaßnahmen. Herausgeber: Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN - Normenausschuss KRdL. Beuth Verlag, 2006.

Stern, R., 2006b: Der Beitrag des Ferntransports zu den PM10- und den NO2-Konzentrationen in Deutschland unter besonderer Betrachtung der polnischen Emissionen: Eine Modellstudie. Abschlussbericht zu dem F&E-Vorhaben 204 42 202/03 "Analyse und Bewertung der Immissionsbelastung durch Feinstaub in Deutschland durch Ferntransporte" und zu dem F&E-Vorhaben 202 43 270 "Entwicklung von Modellen zur Identifizierung von Schadstoffquellen -insbesondere im Verkehrsbereich- im Rahmen der 22. BImSchV - Dokumentation, Weiterentwicklung, Validierung und Maßnahmenplanung für ein bundeseinheitliches Vorgehen". Im Auftrag des Umweltbundesamtes. 2006.



UBA, 2010: Stationsdatenbank des Umweltbundesamtes. <http://www.env-it.de/stationen/public/open.do>. 2010.

UBA, 2011: Luftbelastungssituation 2010. Vorläufige Auswertung. Umweltbundesamt. 2011.

UBA, 2012: Luftqualität 2011. Feinstaubepisoden prägten das Bild. Langfassung zum Vortrag auf dem 4. Freiburger Workshop "Luftreinhalung und Modelle" 2012. Umweltbundesamt. 2012.

Vautard, R. et. al., 2007: Vautard, R.; Builtjes P.; Thunis, P.; Cuvelier, K.; Bedogni, M.; Bessagnet, B.; Honoré, C.; Moussiopoulos, N.; Schaap, M.; Stern, R.; Tarrason, L.; van Loon, M., 2007: Evaluation and intercomparison of Ozone and PM10 simulations by several chemistry-transport models over 4 European cities within the City-Delta project, 2007. Atmospheric Environment 41 173-188. 2007.

VDI, 2007: Energie- und Wasserverbrauchskennwerte für Gebäude - Grundlagen. VDI-Richtlinie 3807 Blatt 1. Verein Deutscher Ingenieure e. V. Düsseldorf, 2007.

Whyatt, J. D. et. al., 2007: Whyatt, J. D.; Metcalfe, S. E.; Nicholson, J.; Derwent, R. G.; Page, T.; Stedman, J. R., 2007: Regional scale modelling of particulate matter in the UK, source attribution and an assessment of uncertainties. Atmospheric Environment 41 3315-3327. 2007.

ZALF, 2012: Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e. V. Müncheberg, Brandenburg. Telefonische und schriftliche Mitteilungen. 24.02.2012.

Zellner, R.; Kuhlbusch, T. A. J.; Diegmann, V.; Herrmann, H.; Kasper, M.; Schmidt, K. G.; Dott, W.; Bruch, J., 2009: Feinstäube und Umweltzonen. Eine Stellungnahme von Fachleuten aus dem Arbeitsausschuss "Feinstäube" von ProcessNet, KRdL und GDCh. Chemie Ingenieur Technik - CIT 81 Nr. 9, S. 1363 - 1367. 2009.

Zimmermann, R.; Schnelle-Kreis, J.; Streibel, T.; Lammel, G.; Hoffmann, T., 2010: Organische Verbindungen in Feinstäuben. In: GDCh; KRdL; ProcessNet (Hrsg.): Statuspapier Feinstaub. GDCh-, KRdL- und ProcessNet-Gemeinschaftsausschuss "Feinstäube". 2010. ISBN 978-3-89746-120-8.

## A Trajektorienanalyse

### A.1 Vogelsang

Abbildung A-1 bis Abbildung A-8 zeigen die 3-D-Rückwärtstrajektorien für Vogelsang.

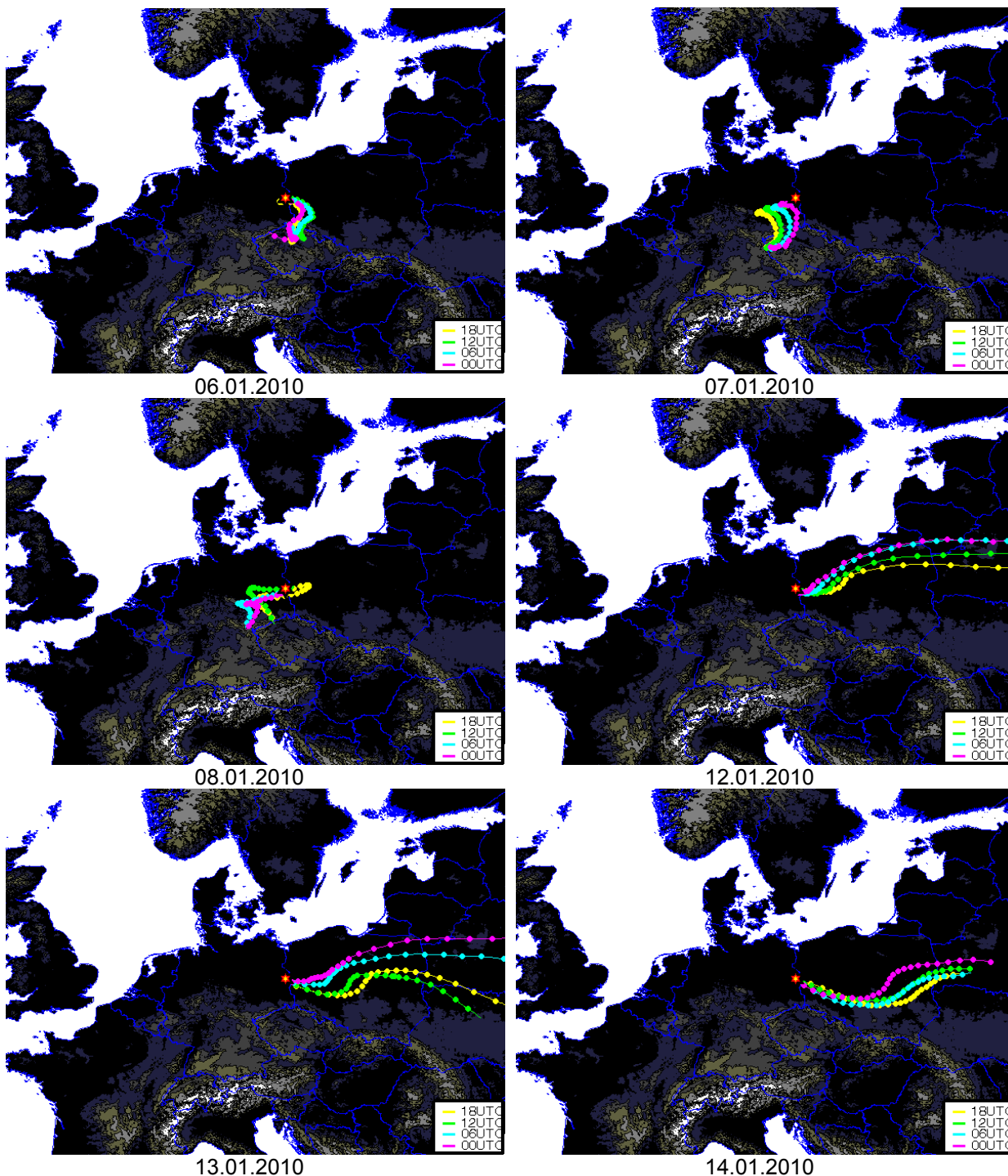


Abbildung A-1: 3-D-Rückwärtstrajektorien für Vogelsang (Teil 1)

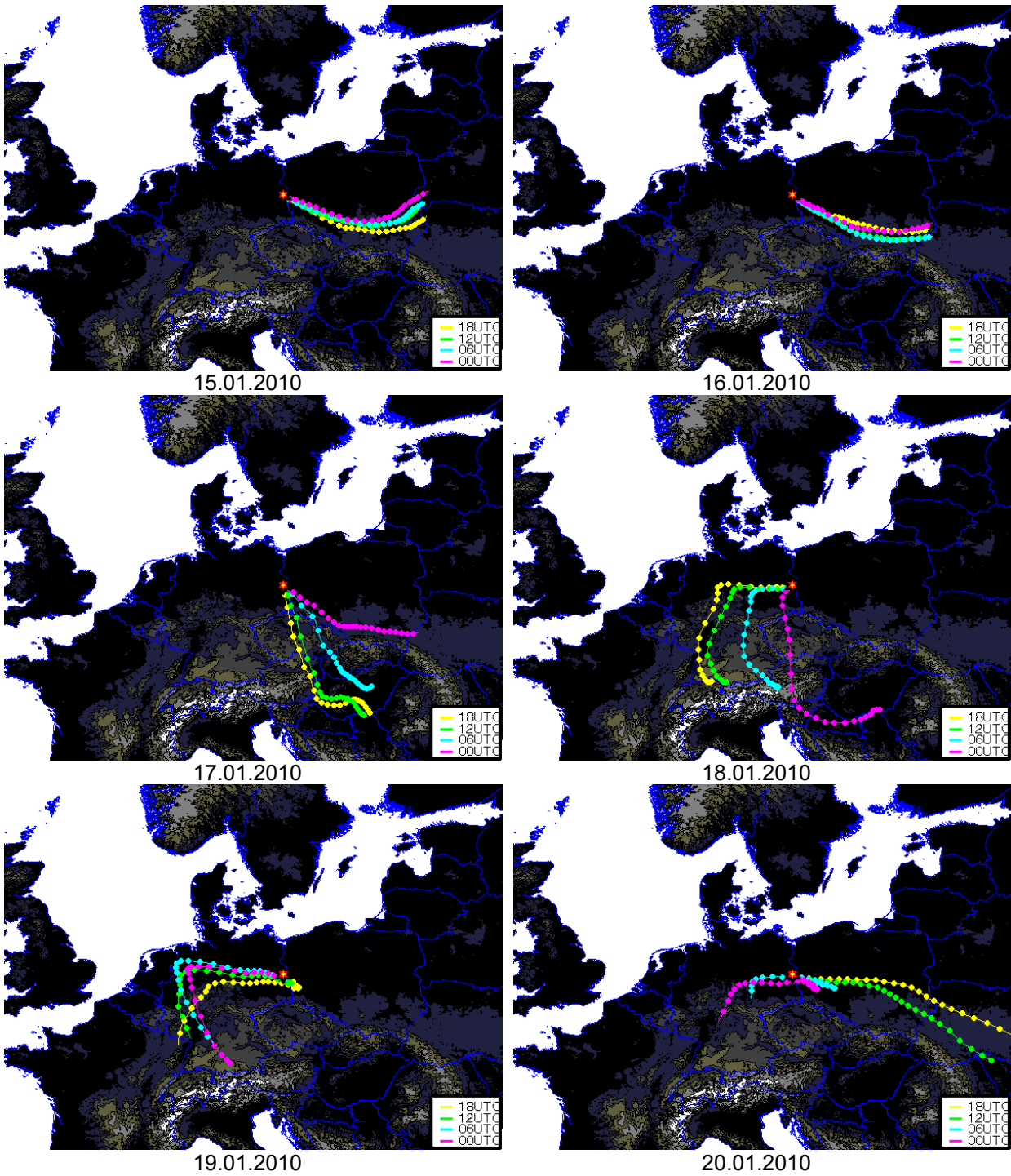


Abbildung A-2: 3-D-Rückwärtstrajektorien für Vogelsang (Teil 2)

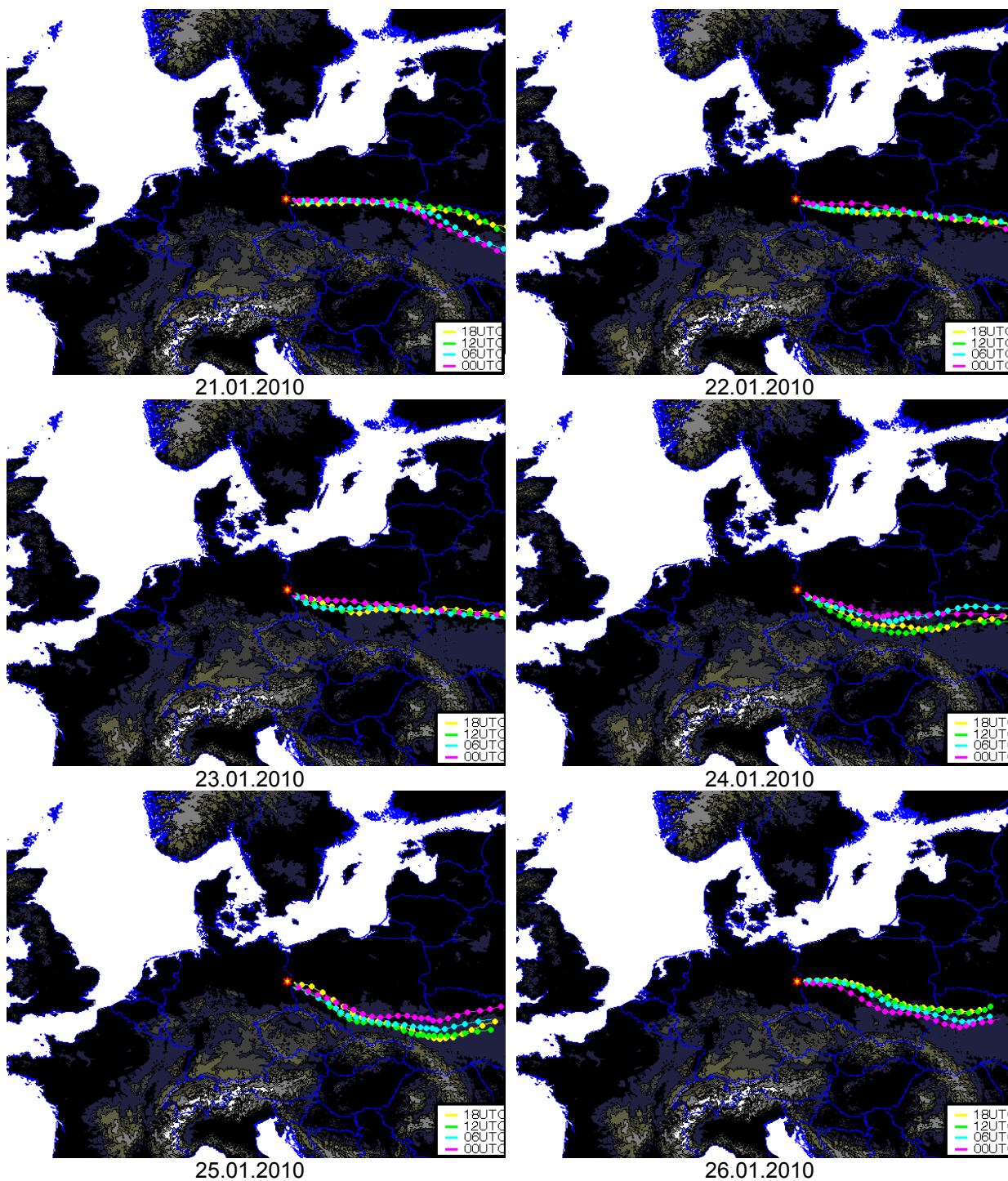


Abbildung A-3: 3-D-Rückwärtstrajektorien für Vogelsang (Teil 3)

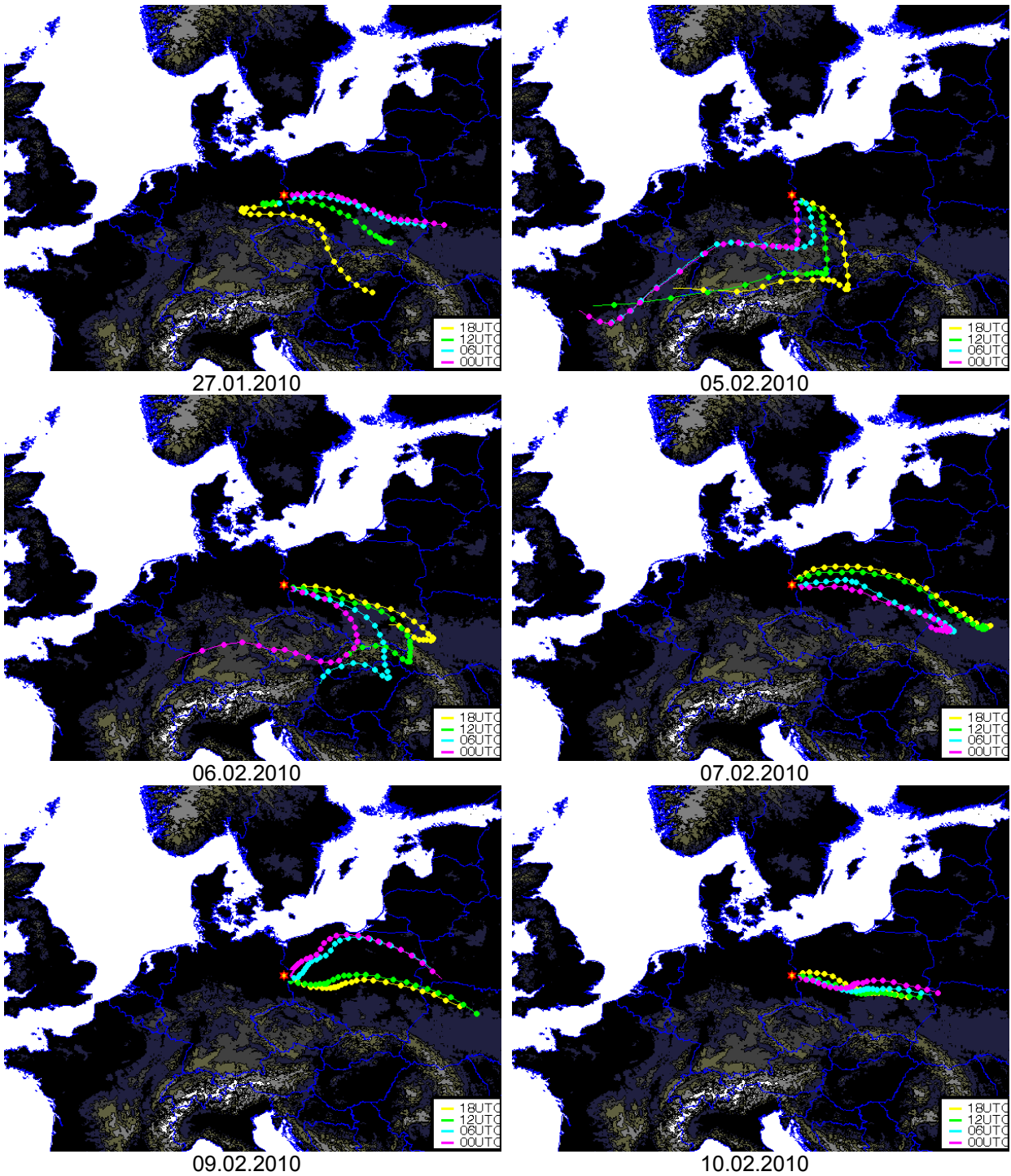


Abbildung A-4: 3-D-Rückwärtstrajektorien für Vogelsang (Teil 4)



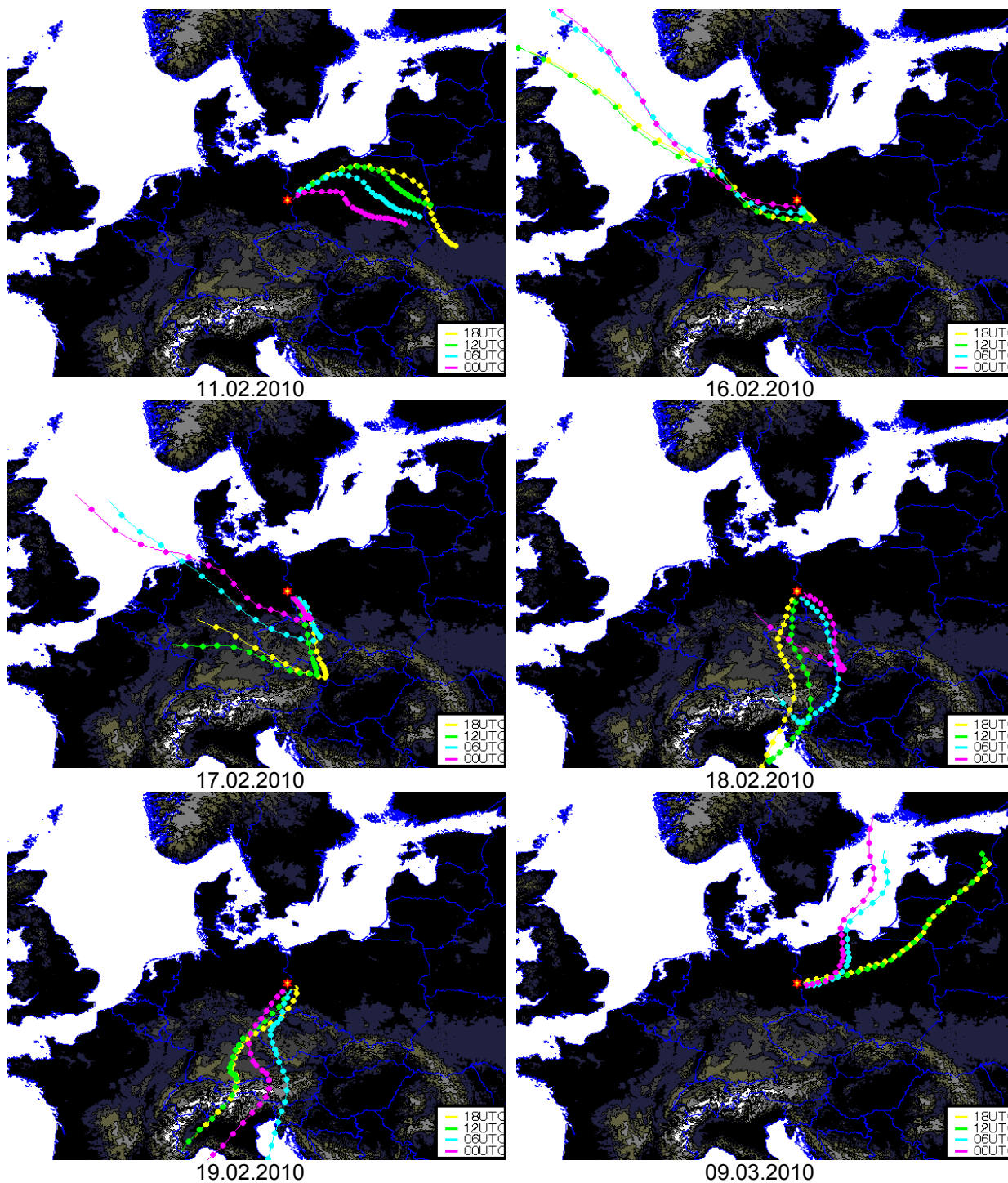


Abbildung A-5: 3-D-Rückwärtstrajektorien für Vogelsang (Teil 5)

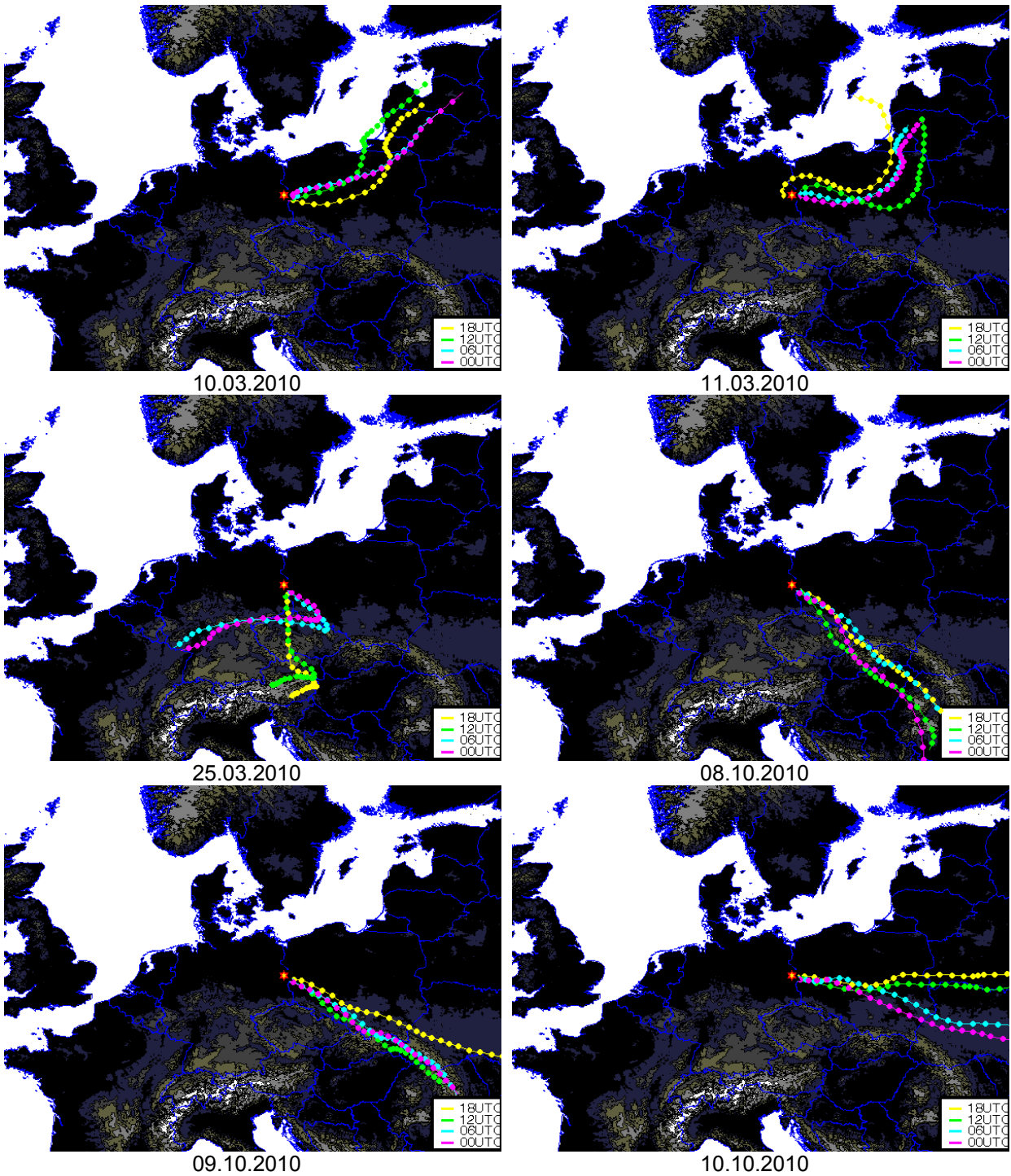


Abbildung A-6: 3-D-Rückwärtstrajektorien für Vogelsang (Teil 6)

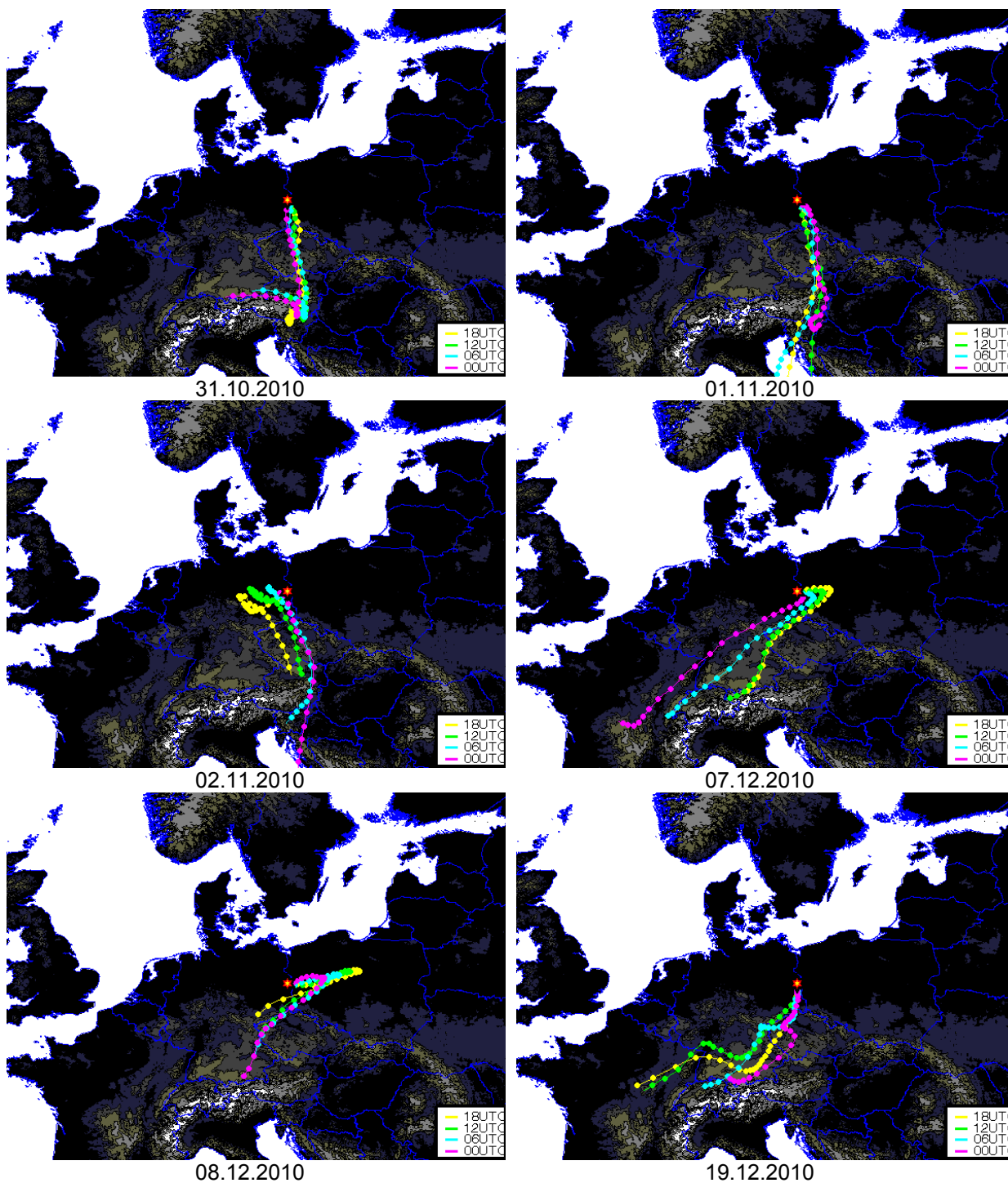


Abbildung A-7: 3-D-Rückwärtstrajektorien für Vogelsang (Teil 7)

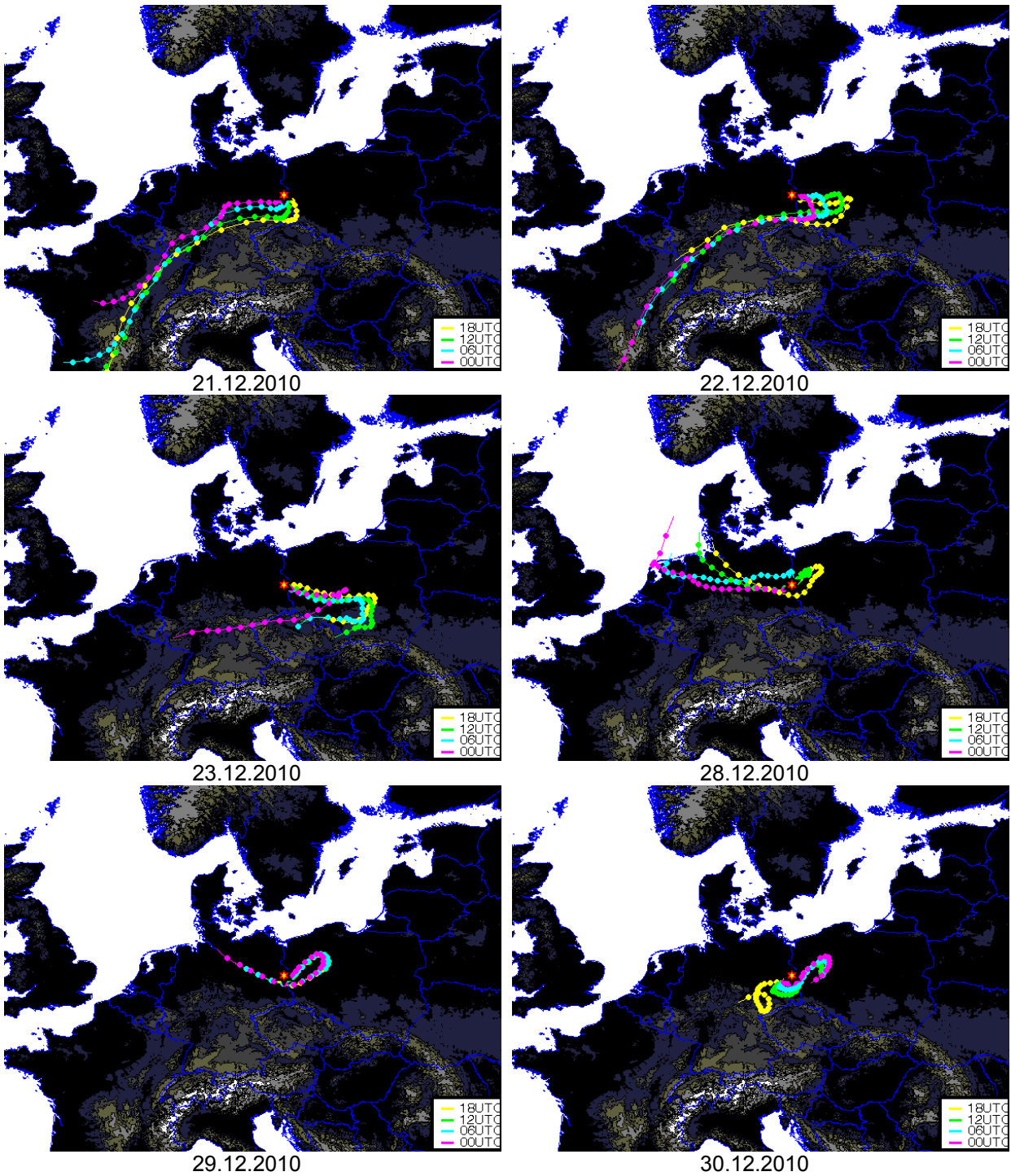


Abbildung A-8: 3-D-Rückwärtstrajektorien für Vogelsang (Teil 8)

## A.2 Eisenhüttenstadt

Abbildung A-9 bis Abbildung A-16 zeigen die 3-D-Rückwärtstrajektorien für Eisenhüttenstadt.

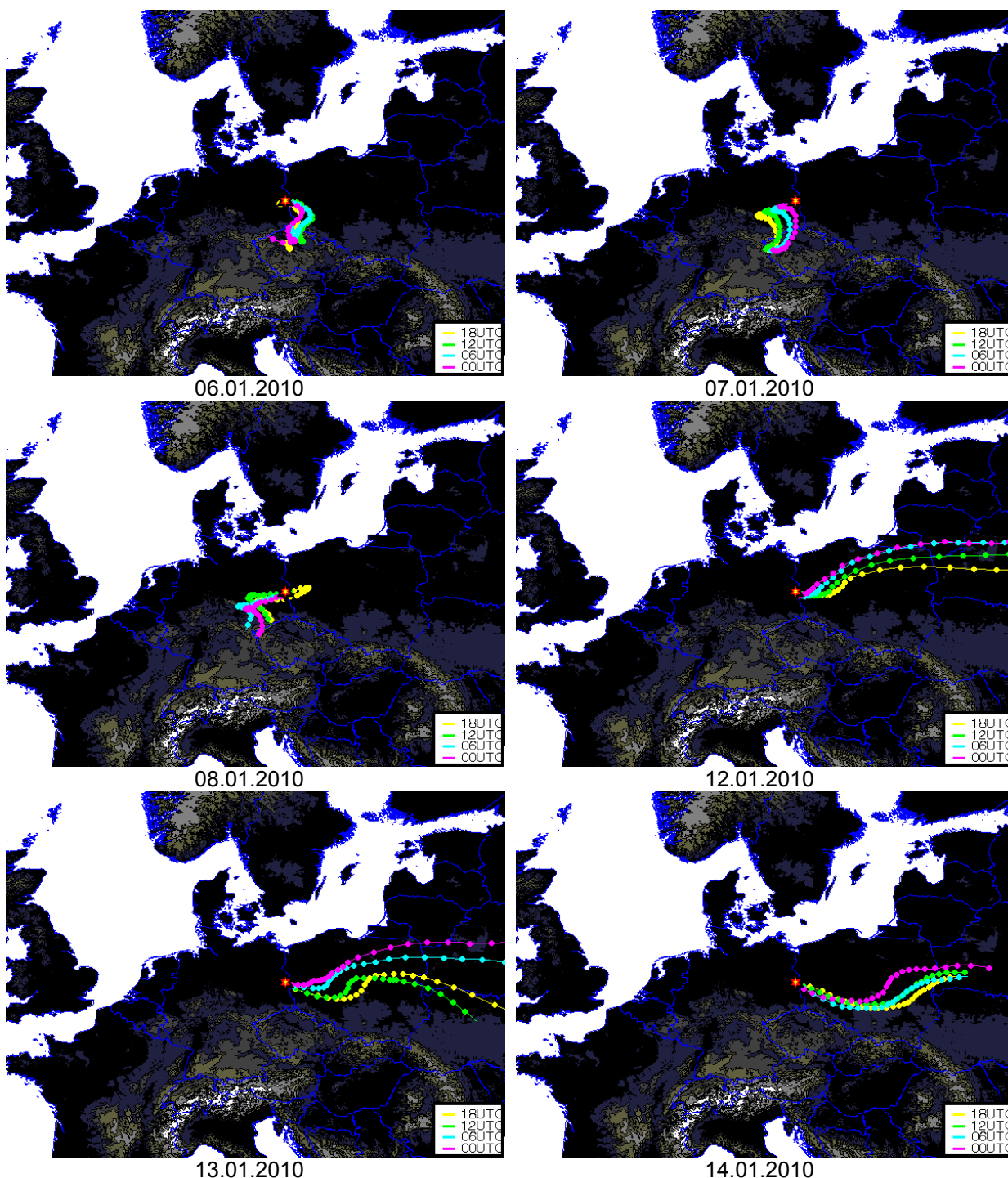


Abbildung A-9: 3-D-Rückwärtstrajektorien für Eisenhüttenstadt (Teil 1)



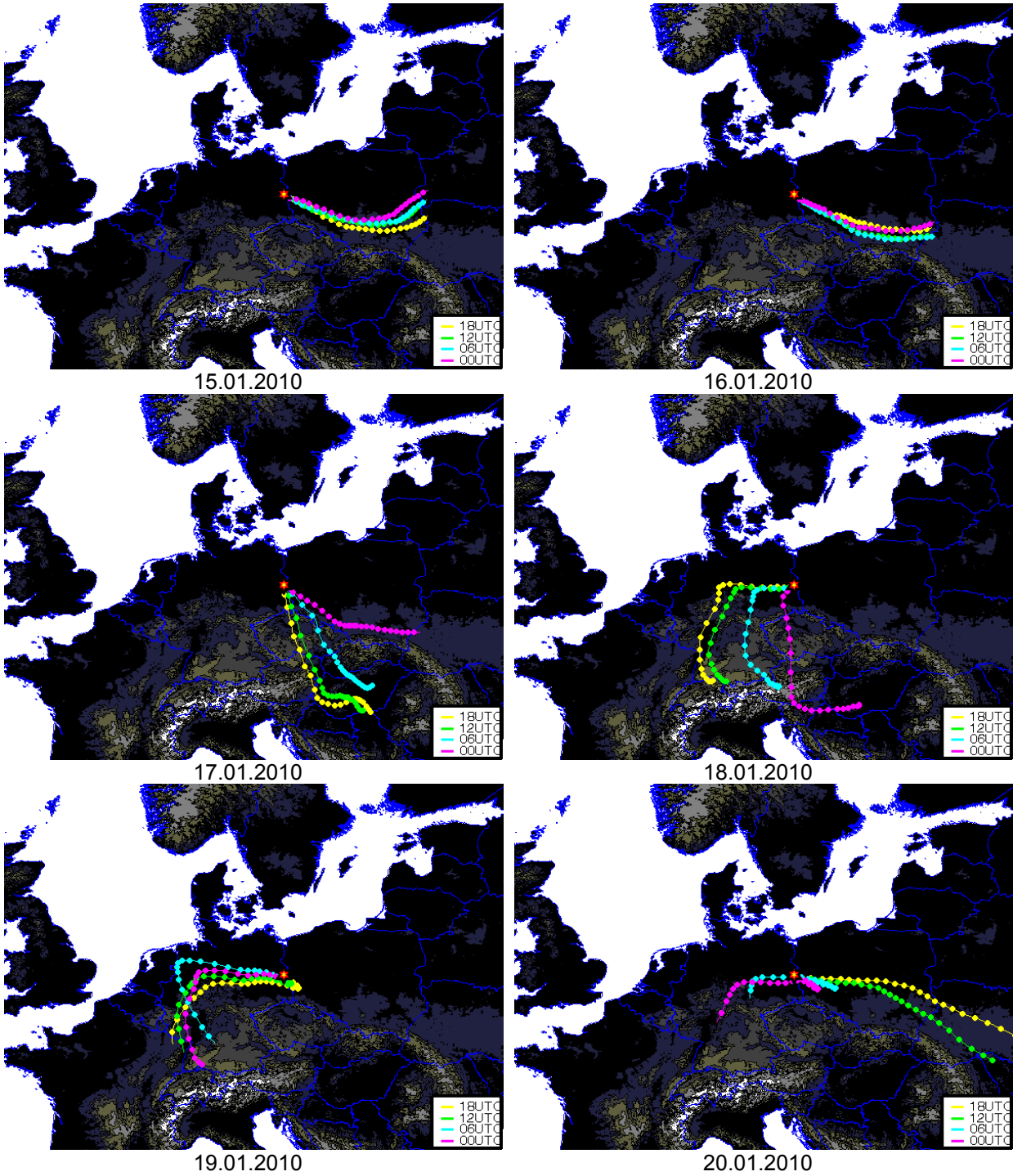


Abbildung A-10: 3-D-Rückwärtstrajektorien für Eisenhüttenstadt (Teil 2)

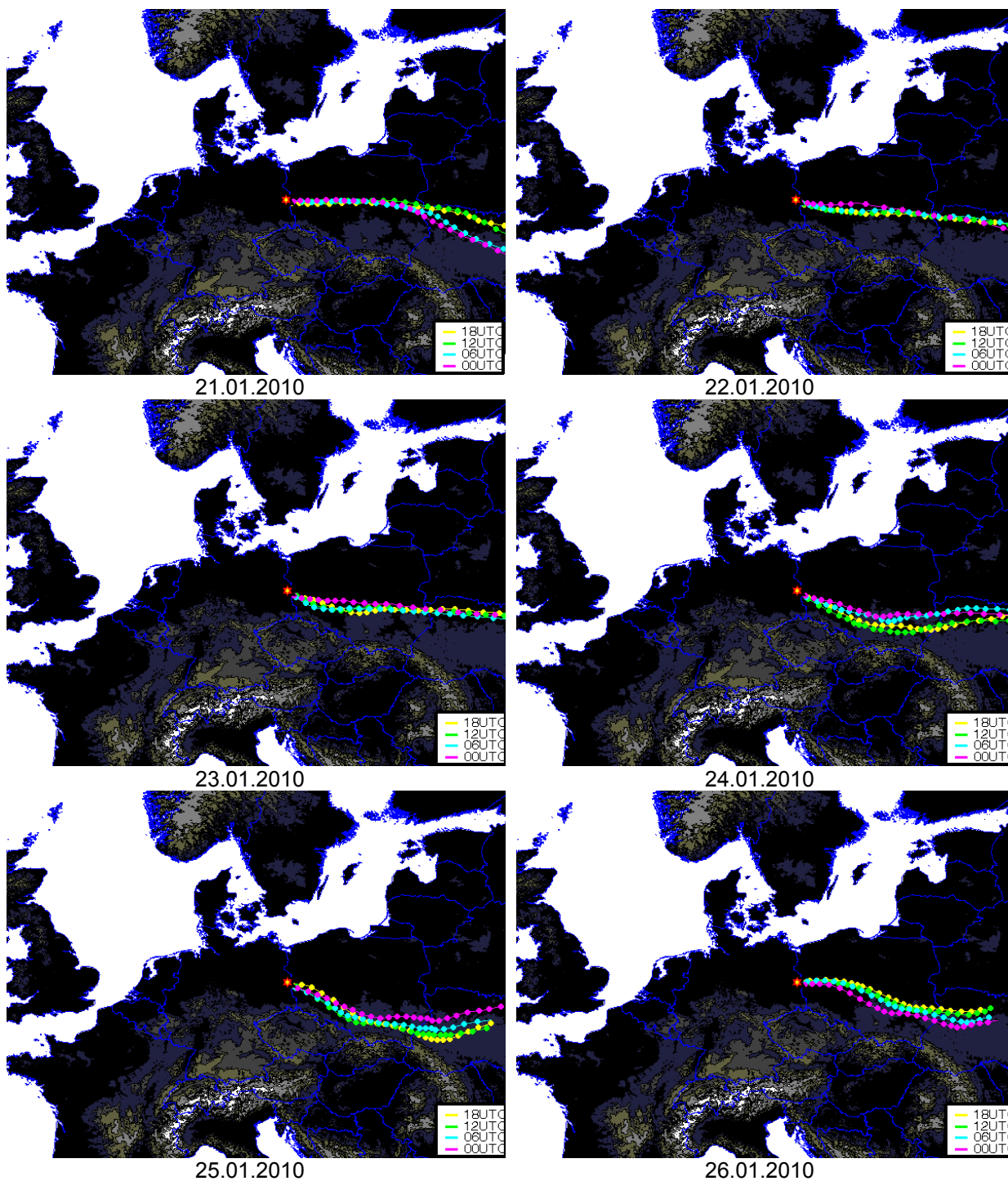


Abbildung A-11: 3-D-Rückwärtstrajektorien für Eisenhüttenstadt (Teil 3)

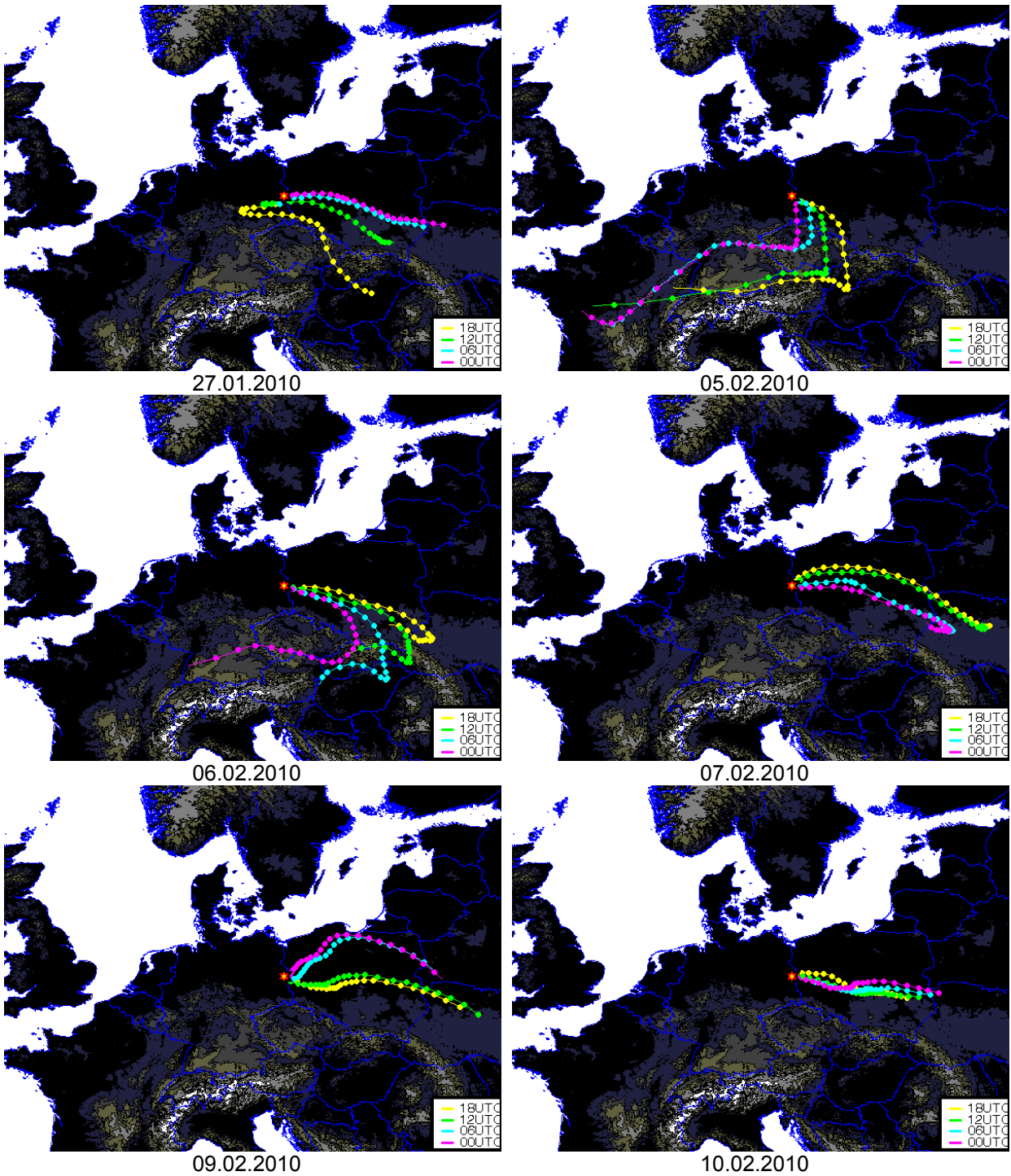


Abbildung A-12: 3-D-Rückwärtstrajektorien für Eisenhüttenstadt (Teil 4)

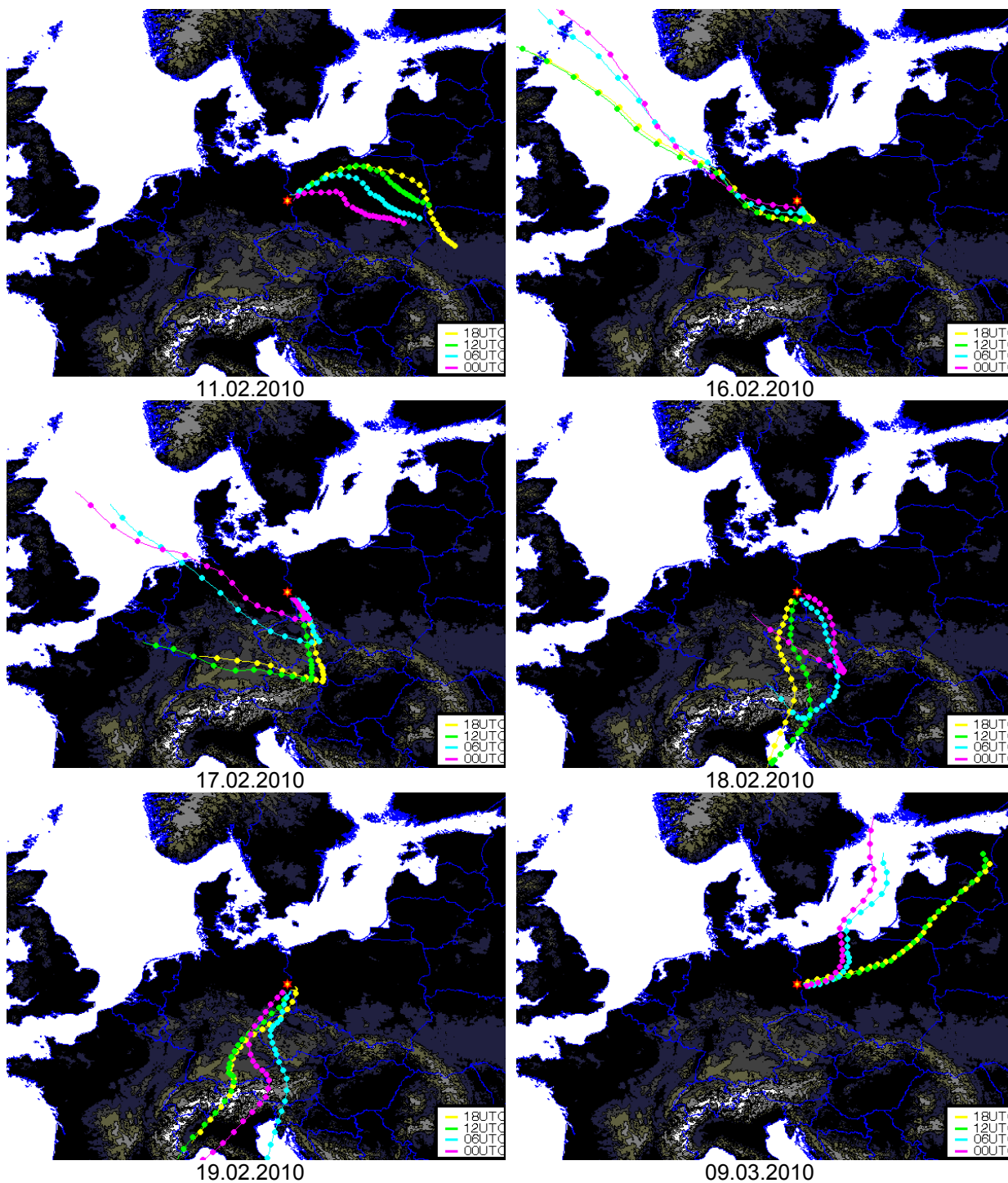


Abbildung A-13: 3-D-Rückwärtstrajektorien für Eisenhüttenstadt (Teil 5)

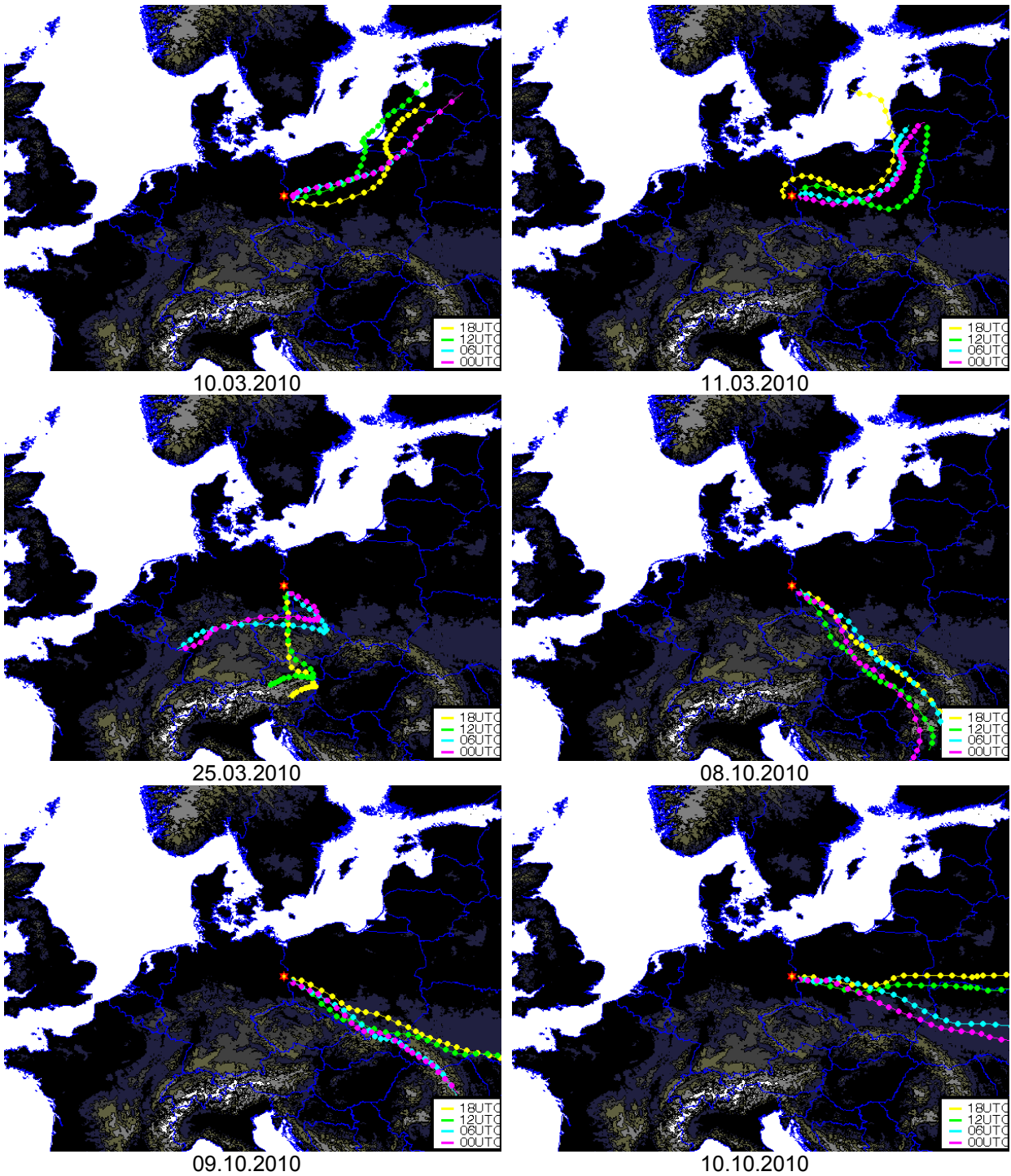


Abbildung A-14: 3-D-Rückwärtstrajektorien für Eisenhüttenstadt (Teil 6)



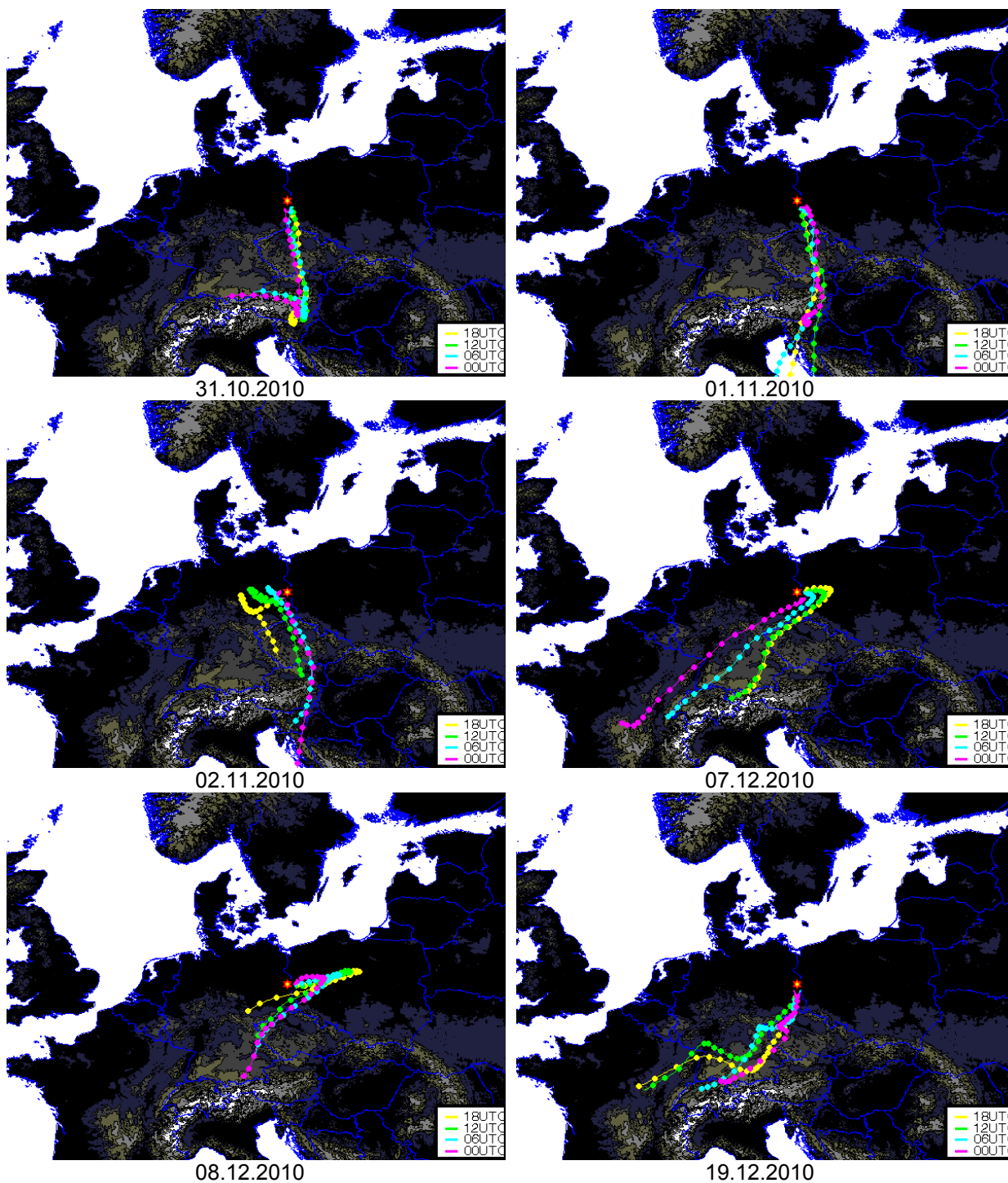


Abbildung A-15: 3-D-Rückwärtstrajektorien für Eisenhüttenstadt (Teil 7)

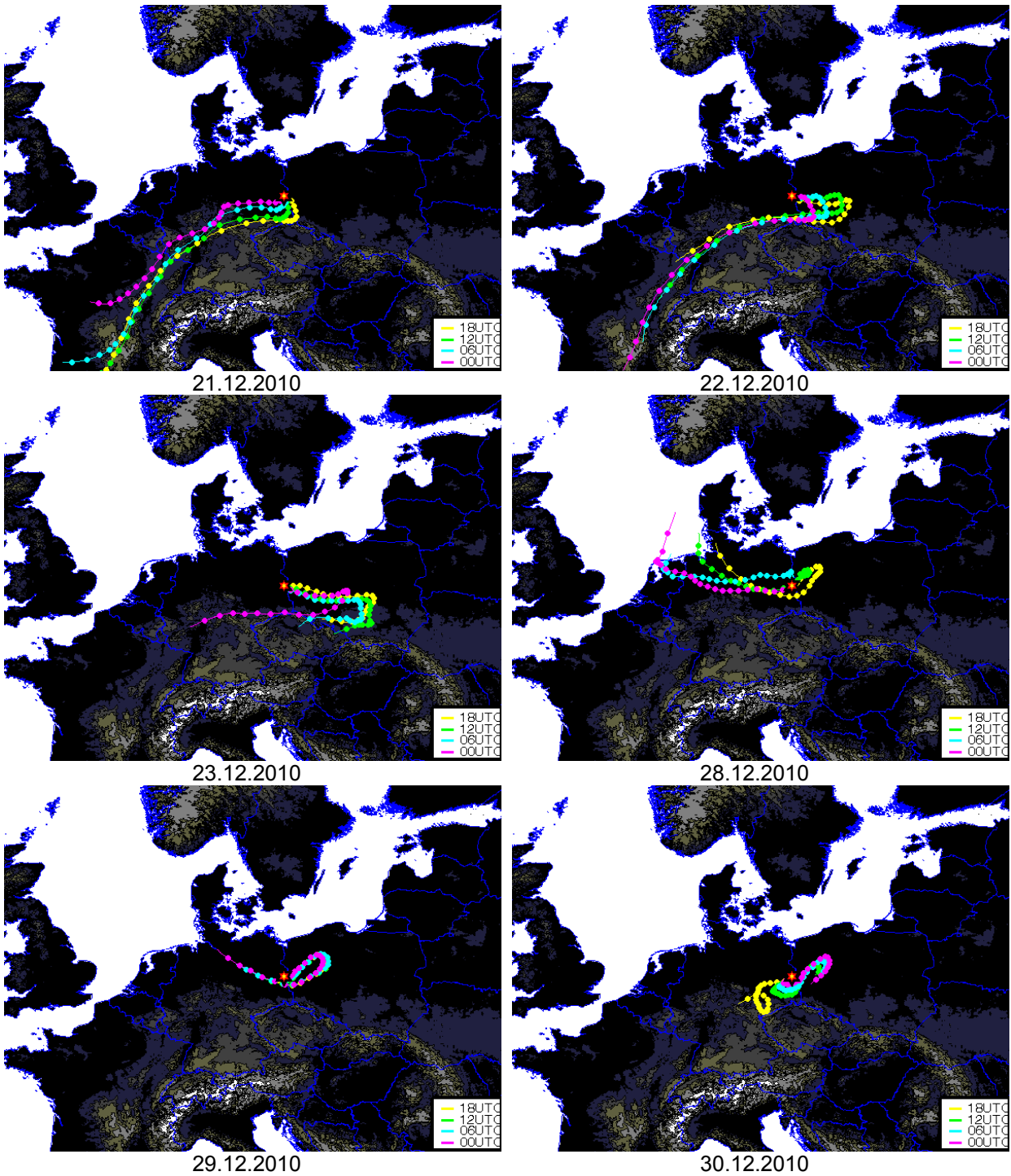


Abbildung A-16: 3-D-Rückwärtstrajektorien für Eisenhüttenstadt (Teil 8)

### A.3 Frankfurt (Oder)

Abbildung A-17 bis Abbildung A-24 zeigen die 3-D-Rückwärtstrajektorien für Frankfurt (Oder).

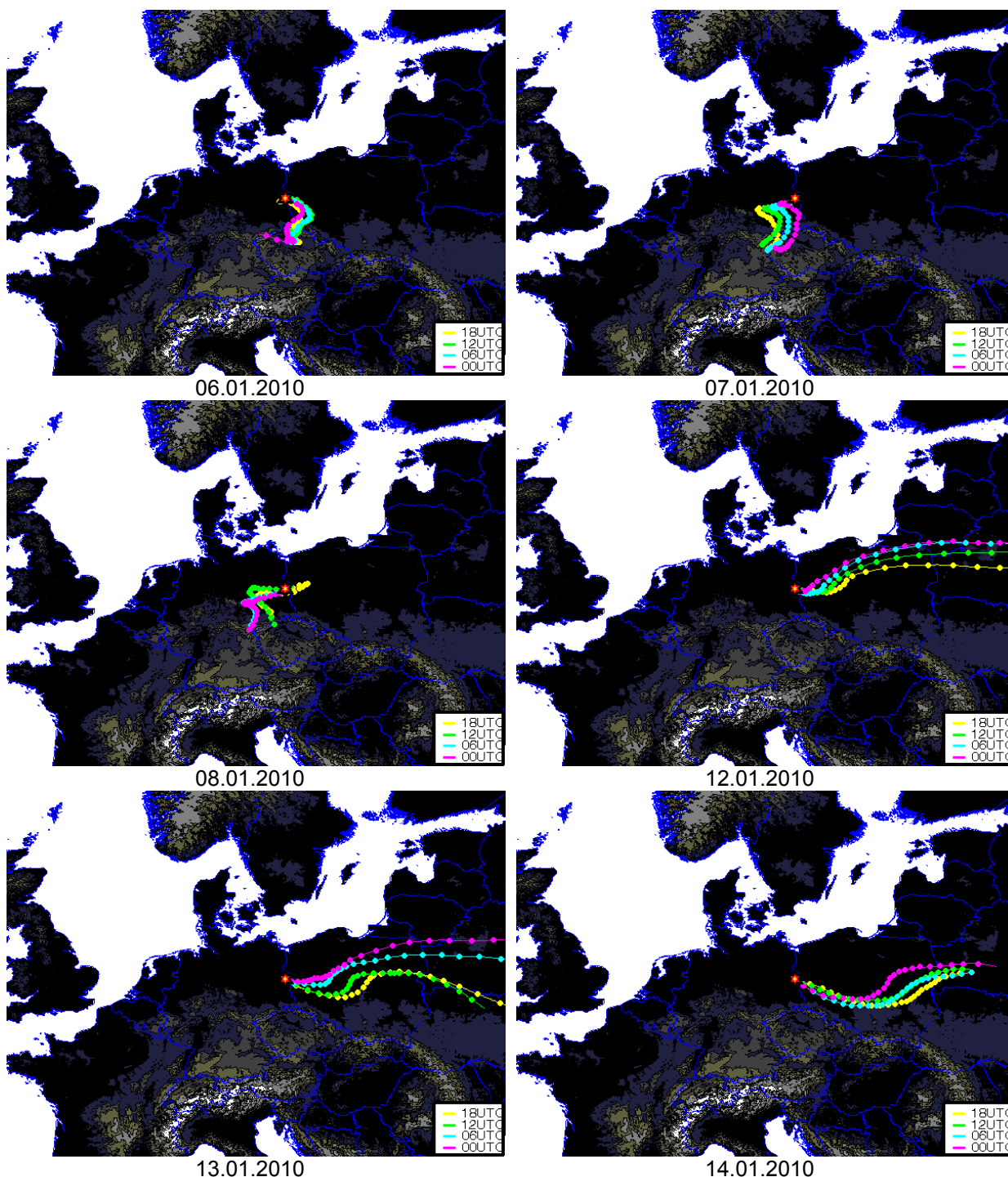


Abbildung A-17: 3-D-Rückwärtstrajektorien für Frankfurt (Oder) (Teil 1)

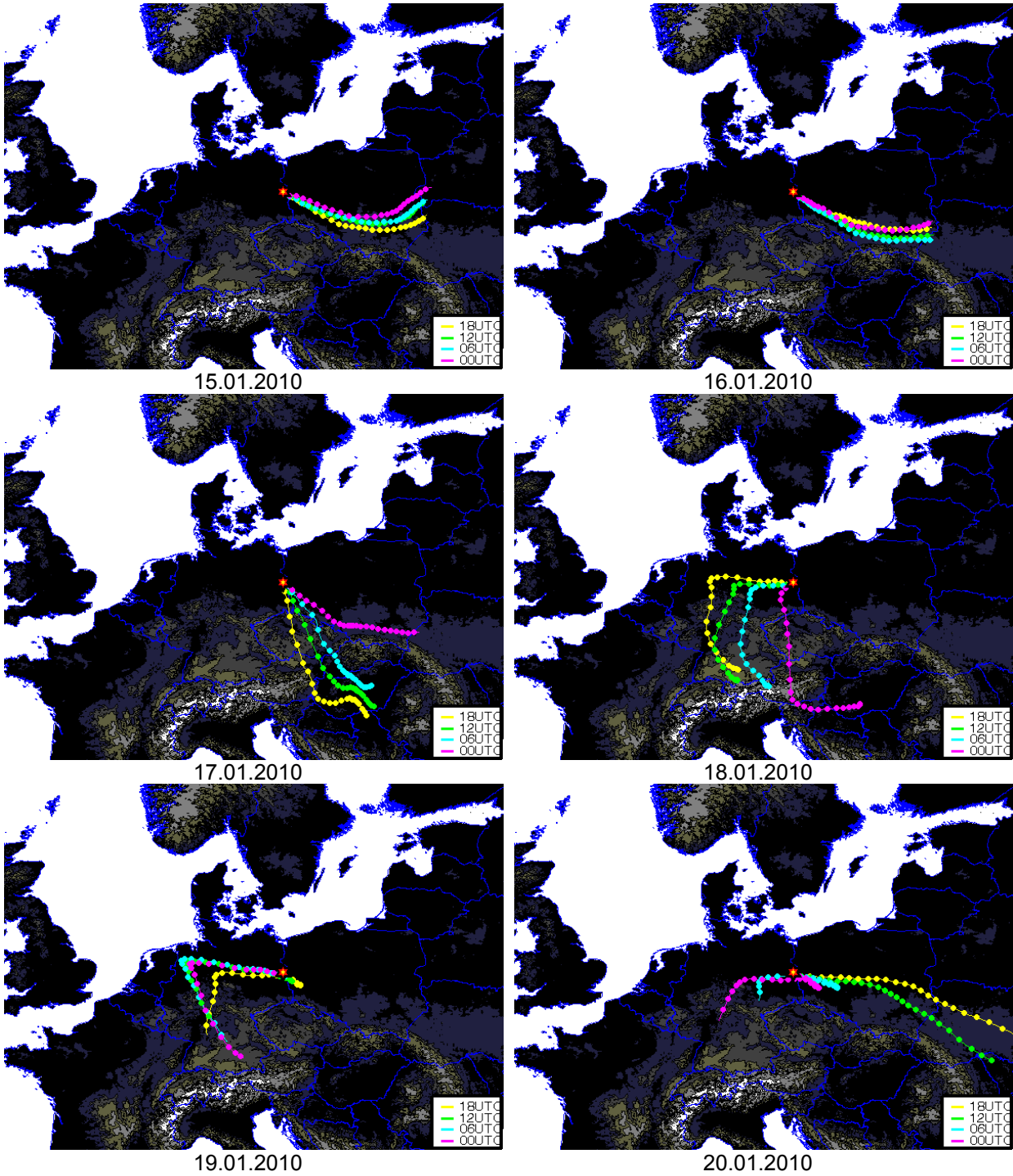


Abbildung A-18: 3-D-Rückwärtstrajektorien für Frankfurt (Oder) (Teil 2)

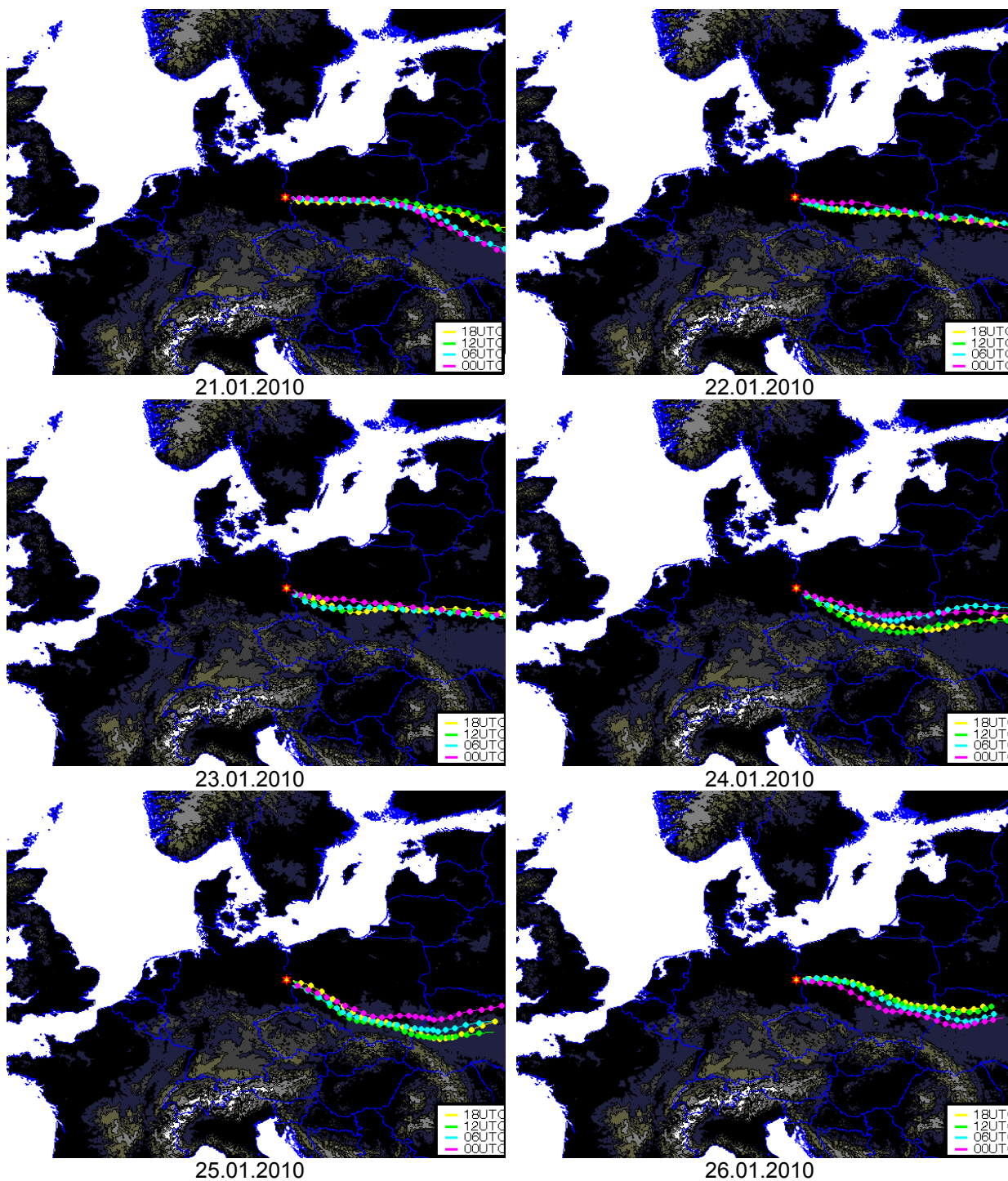


Abbildung A-19: 3-D-Rückwärtstrajektorien für Frankfurt (Oder) (Teil 3)



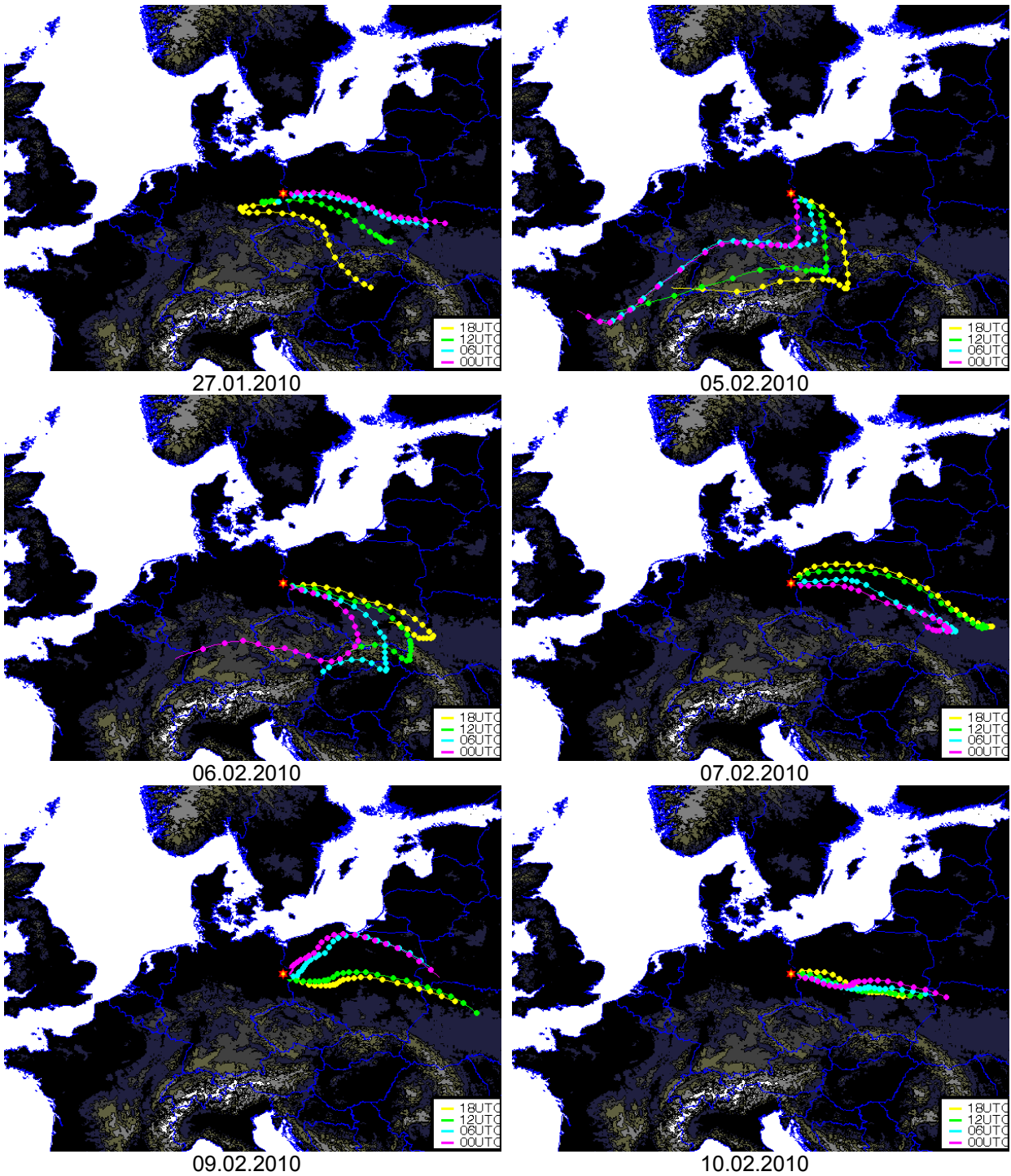


Abbildung A-20: 3-D-Rückwärtstrajektorien für Frankfurt (Oder) (Teil 4)

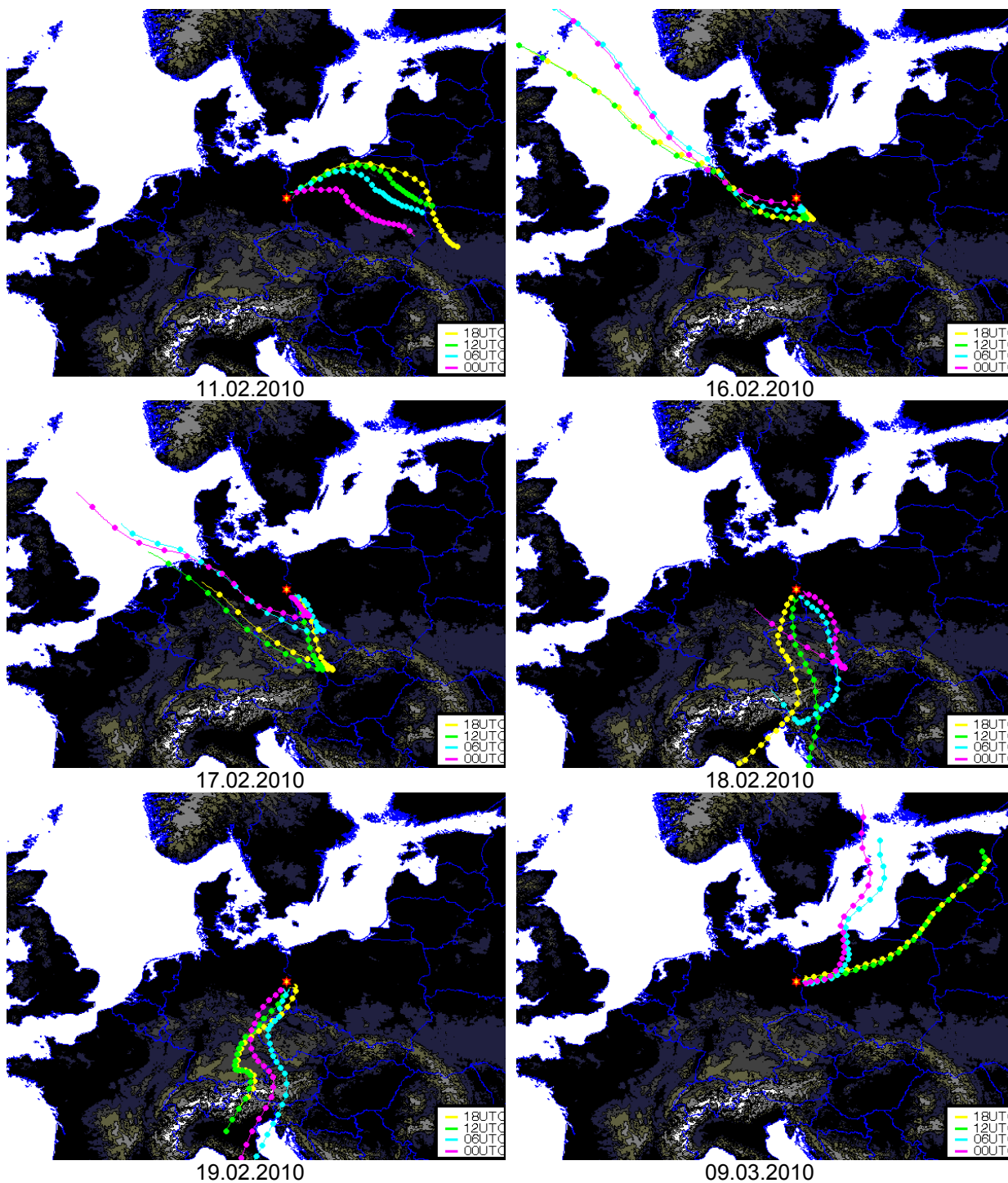


Abbildung A-21: 3-D-Rückwärtstrajektorien für Frankfurt (Oder) (Teil 5)

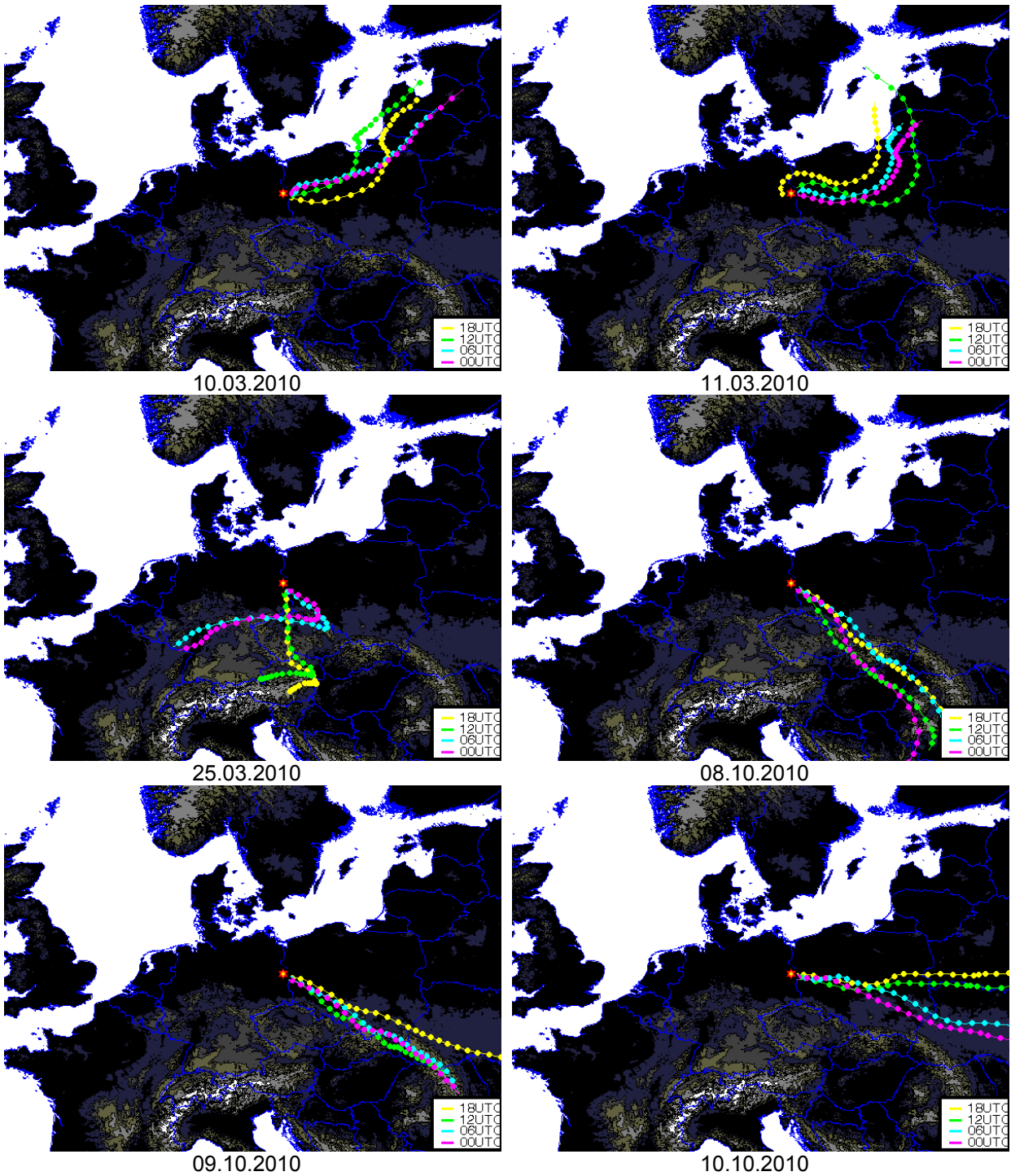


Abbildung A-22: 3-D-Rückwärtstrajektorien für Frankfurt (Oder) (Teil 6)

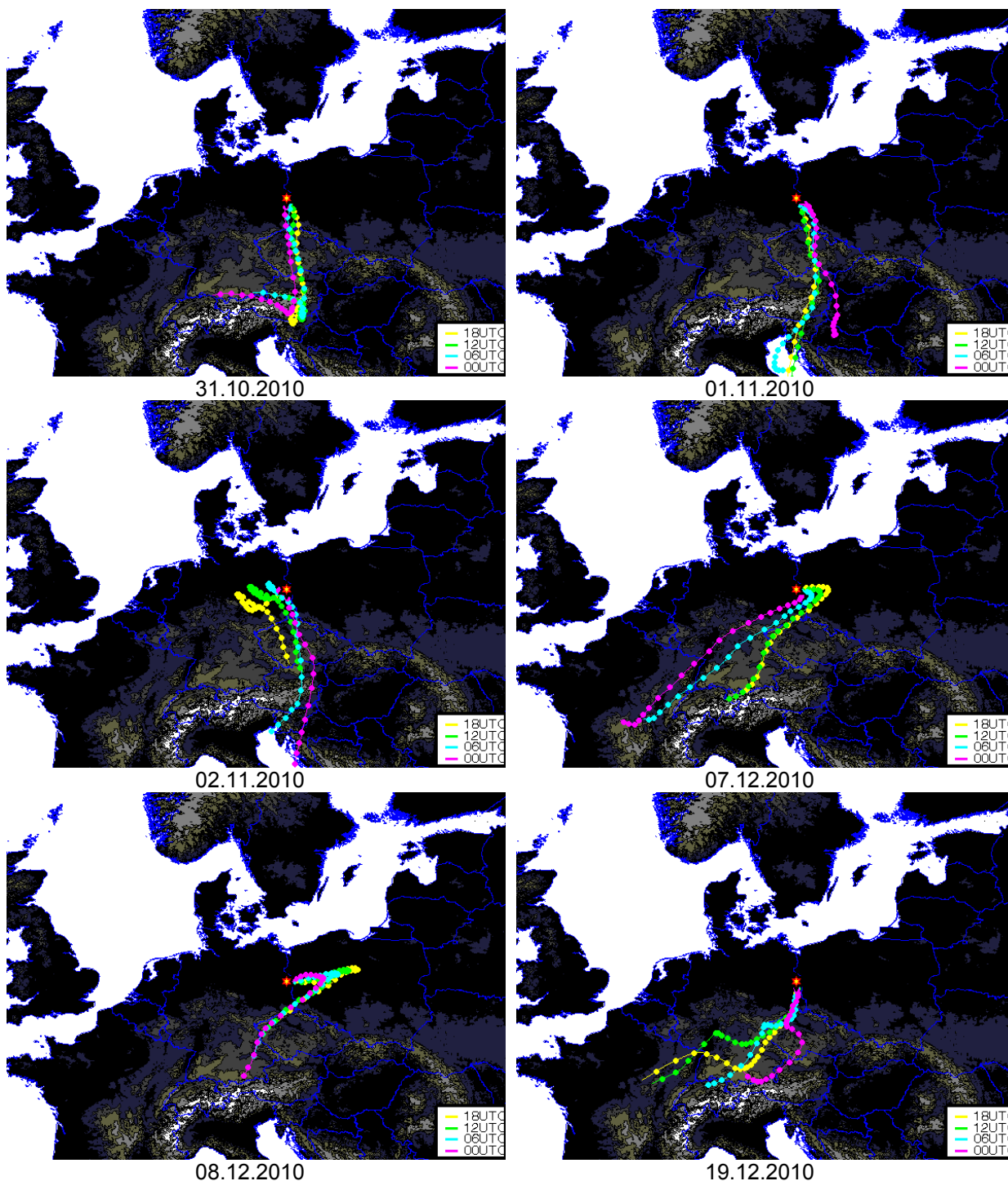


Abbildung A-23: 3-D-Rückwärtstrajektorien für Frankfurt (Oder) (Teil 7)

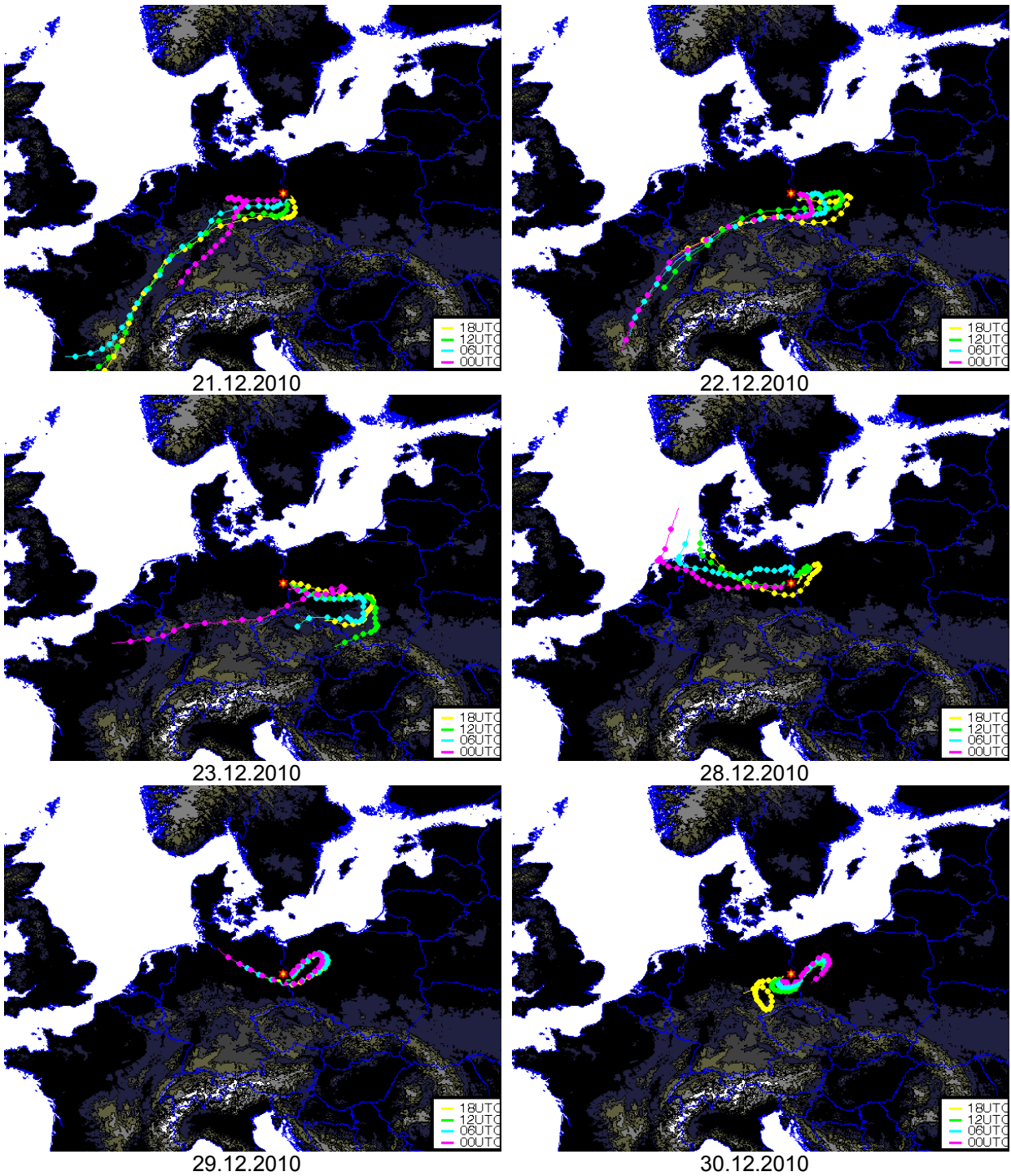
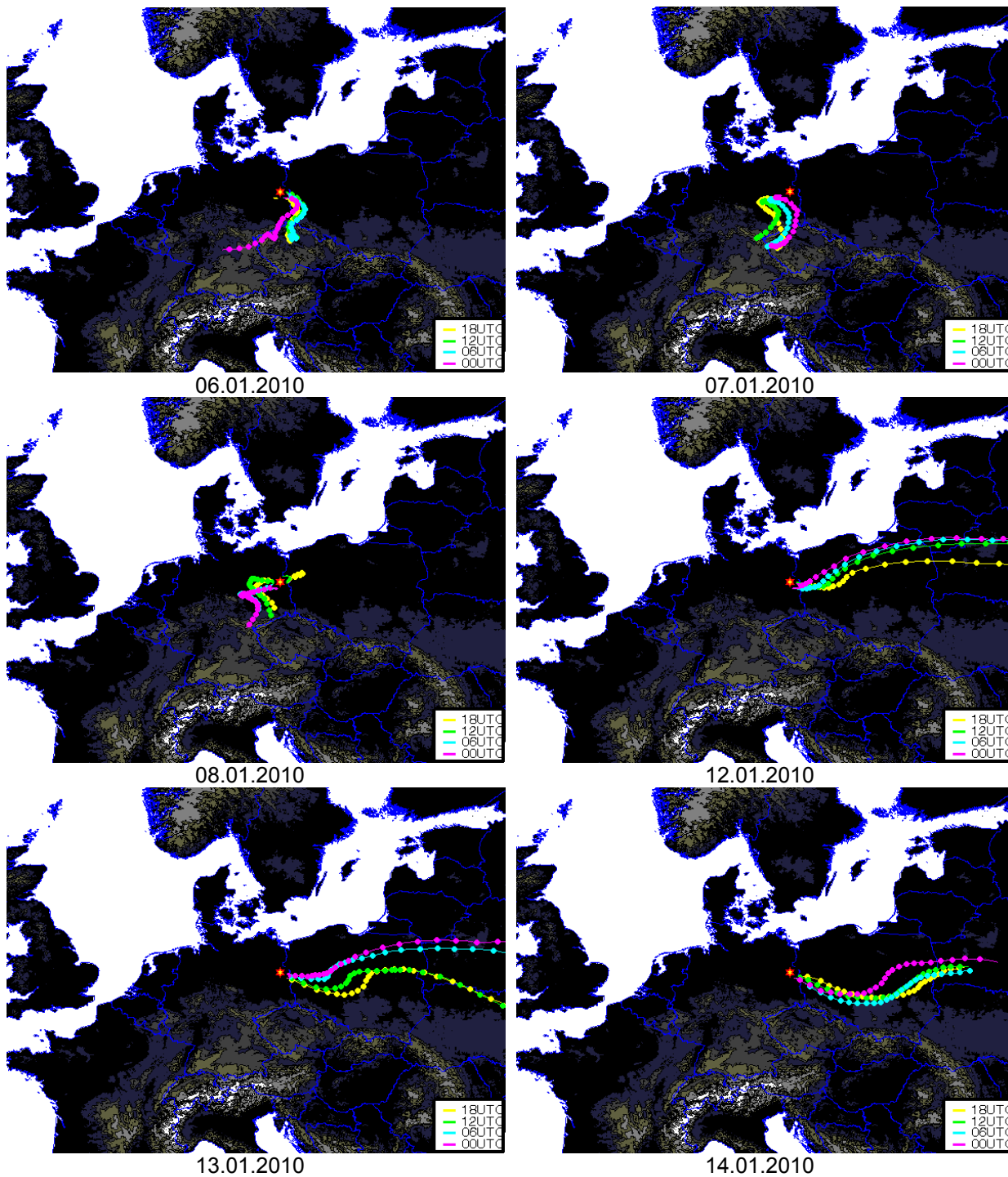


Abbildung A-24: 3-D-Rückwärtstrajektorien für Frankfurt (Oder) (Teil 8)



**A.4 Hasenholz**

Abbildung A-25 bis Abbildung A-32 zeigen die 3-D-Rückwärtstrajektorien für Hasenholz.



**Abbildung A-25: 3-D-Rückwärtstrajektorien für Hasenholz (Teil 1)**

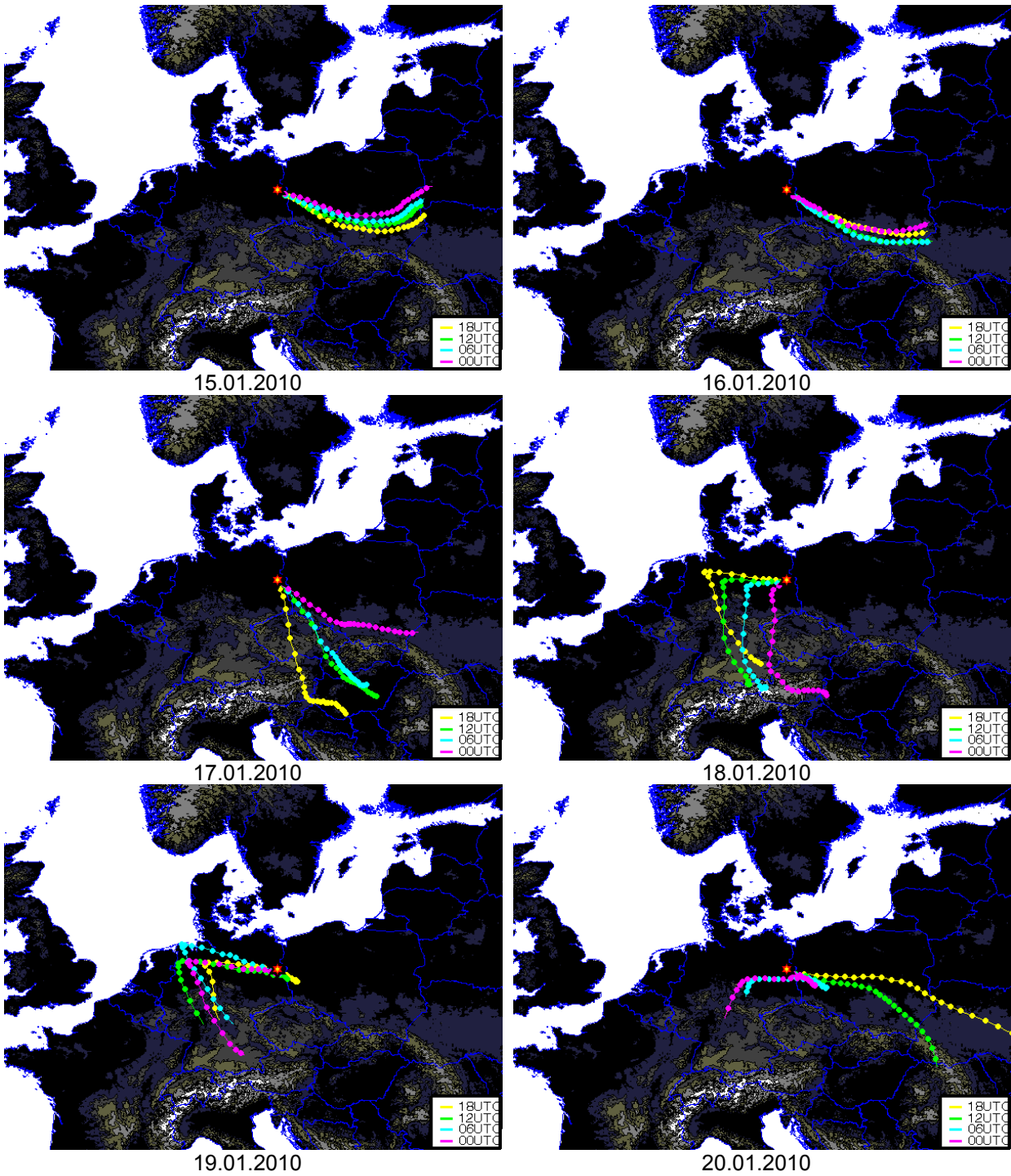


Abbildung A-26: 3-D-Rückwärtstrajektorien für Hasenholz (Teil 2)

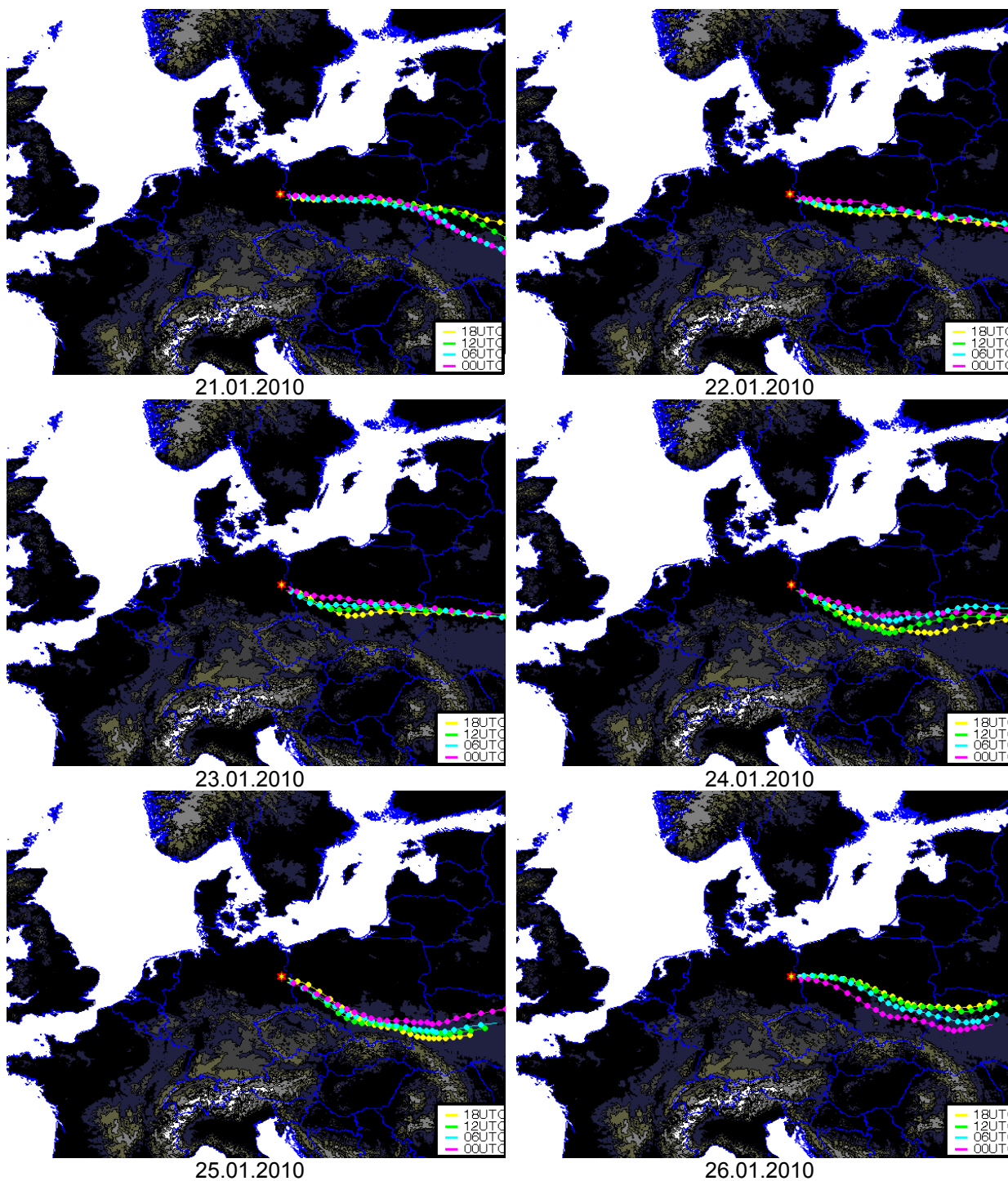


Abbildung A-27: 3-D-Rückwärtstrajektorien für Hasenholz (Teil 3)

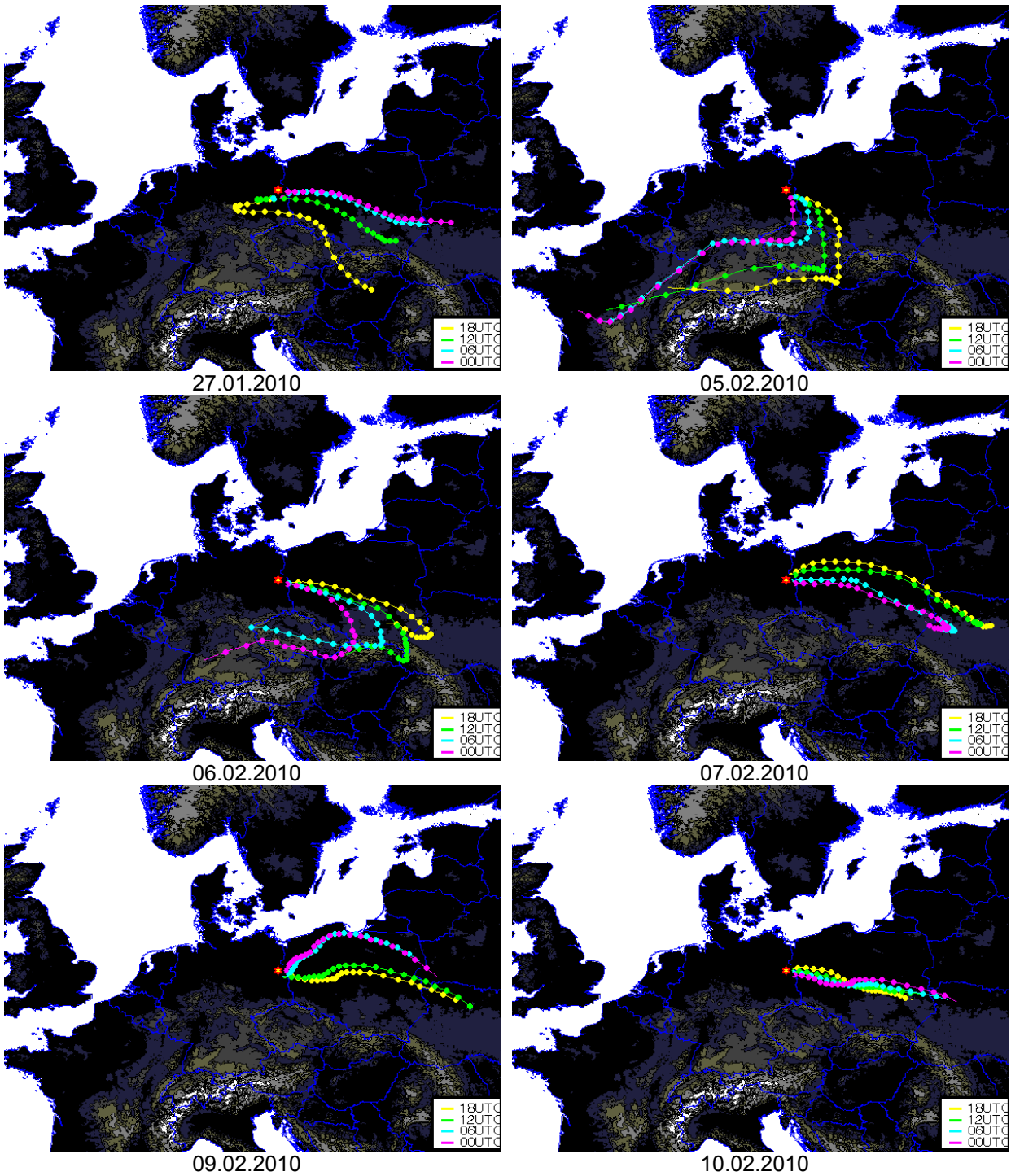


Abbildung A-28: 3-D-Rückwärtstrajektorien für Hasenholz (Teil 4)



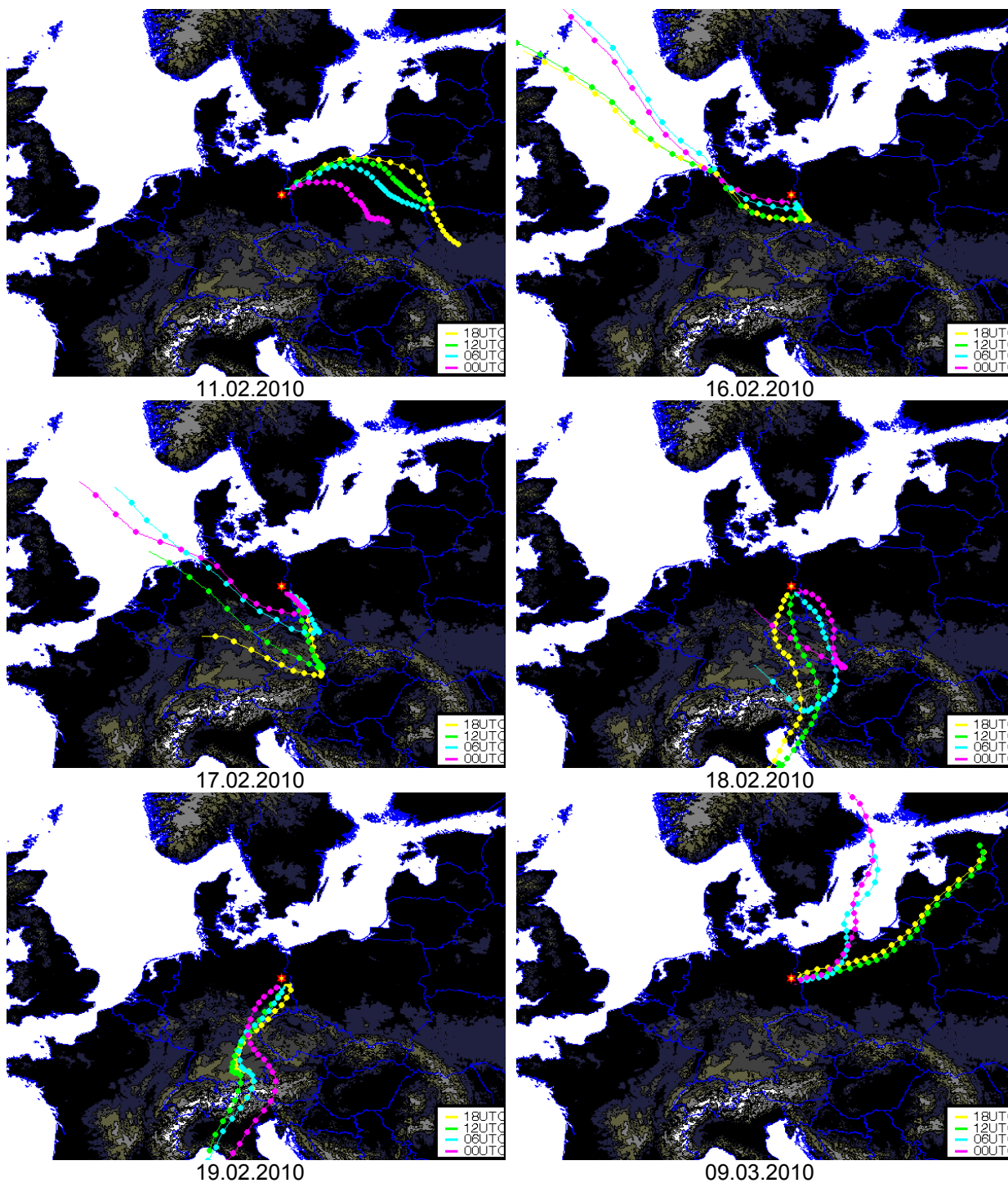


Abbildung A-29: 3-D-Rückwärtstrajektorien für Hasenholz (Teil 5)



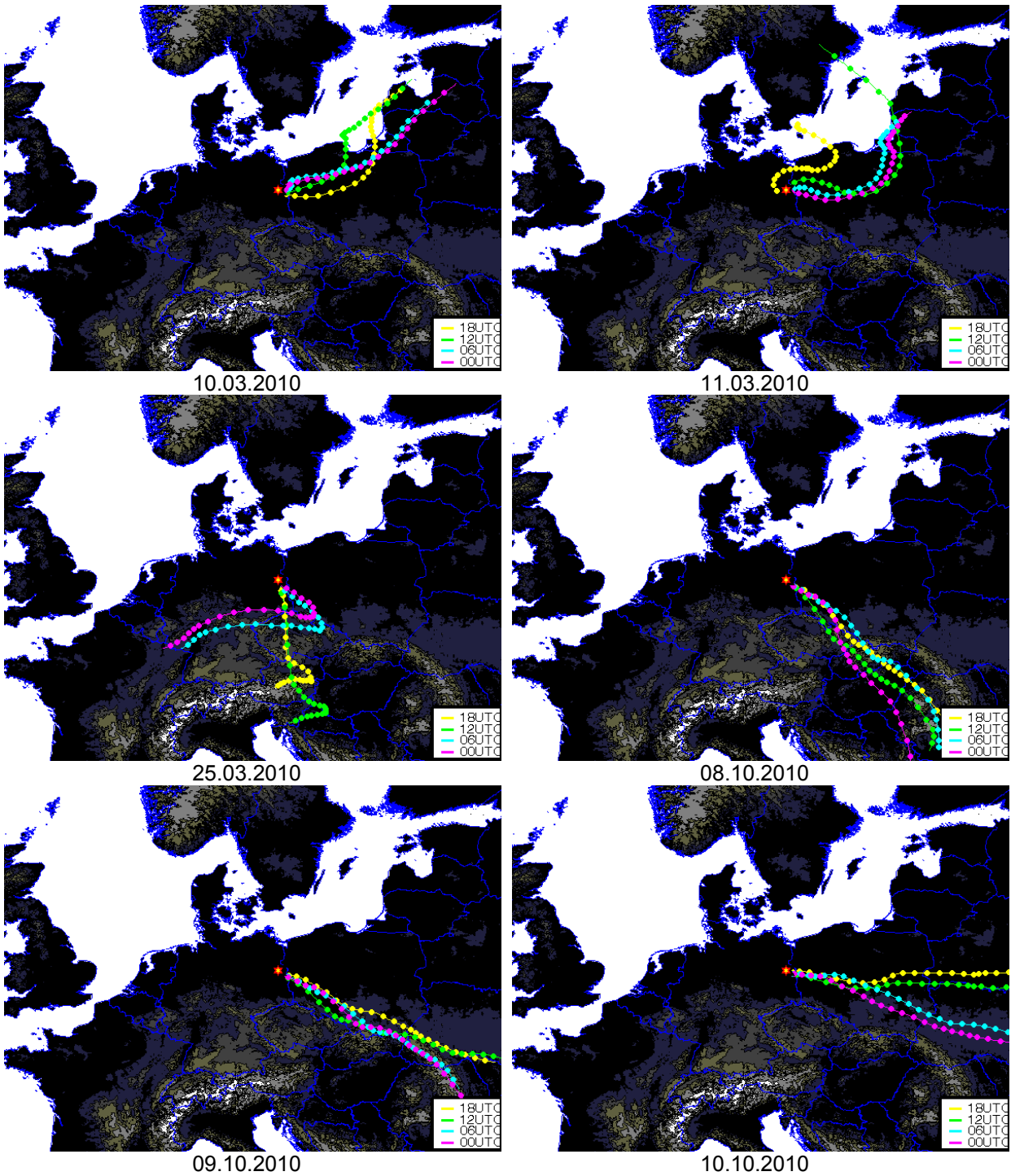


Abbildung A-30: 3-D-Rückwärtstrajektorien für Hasenholz (Teil 6)

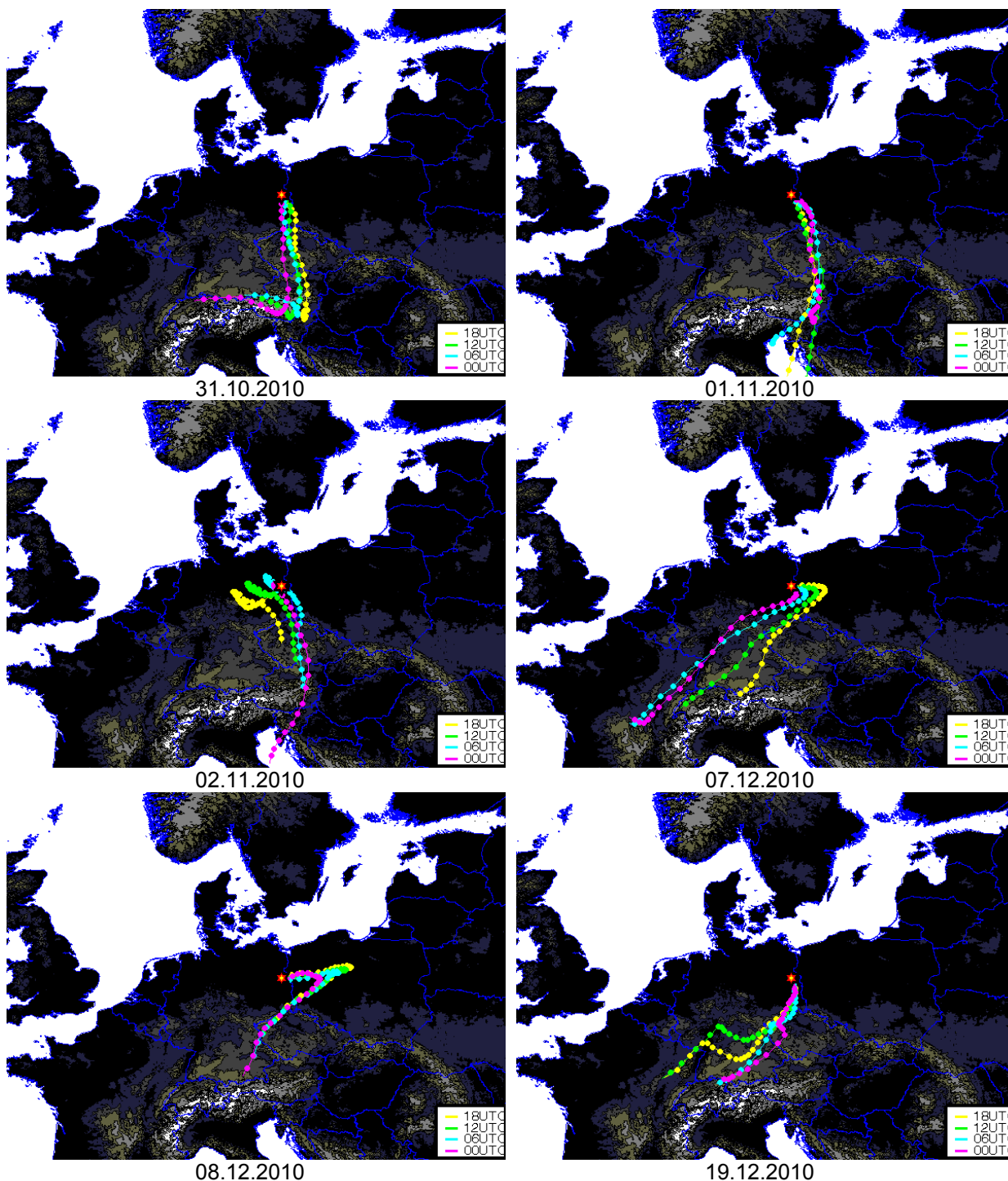


Abbildung A-31: 3-D-Rückwärtstrajektorien für Hasenholz (Teil 7)

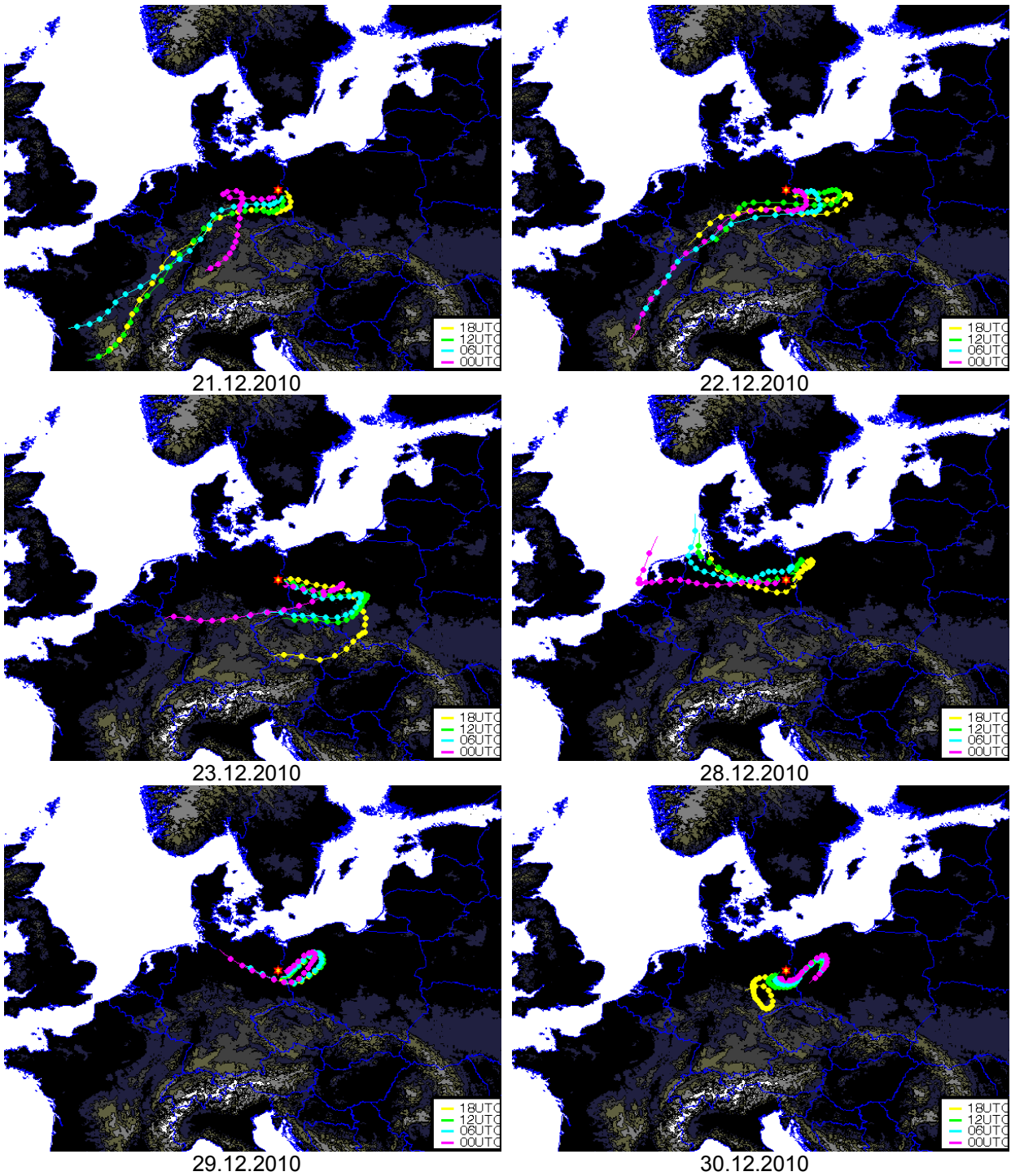
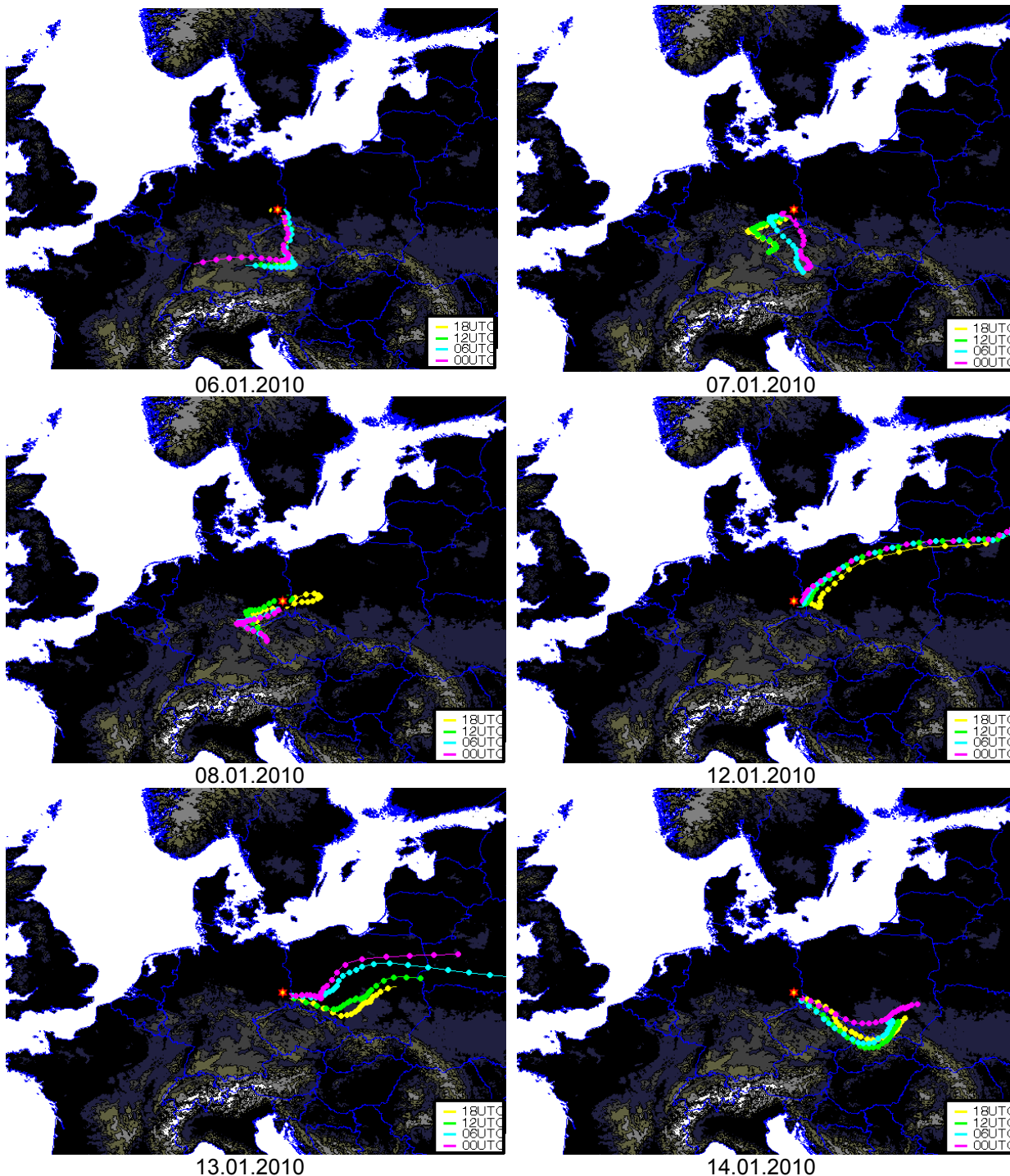


Abbildung A-32: 3-D-Rückwärtstrajektorien für Hasenholz (Teil 8)

**A.5 Cottbus**

Abbildung A-33 bis Abbildung A-40 zeigen die 3-D-Rückwärtstrajektorien für Cottbus.



**Abbildung A-33: 3-D-Rückwärtstrajektorien für Cottbus (Teil 1)**

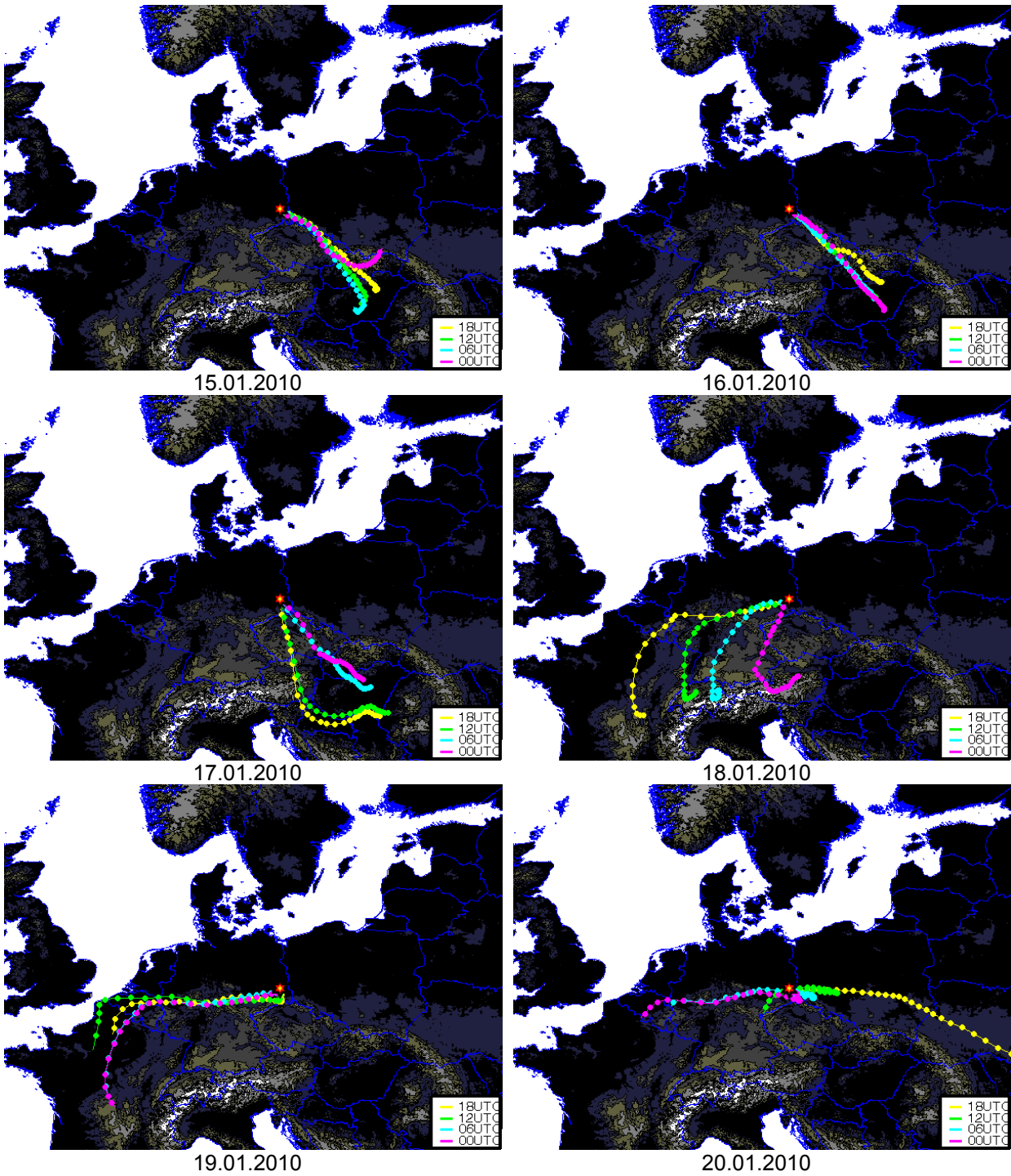


Abbildung A-34: 3-D-Rückwärtstrajektorien für Cottbus (Teil 2)



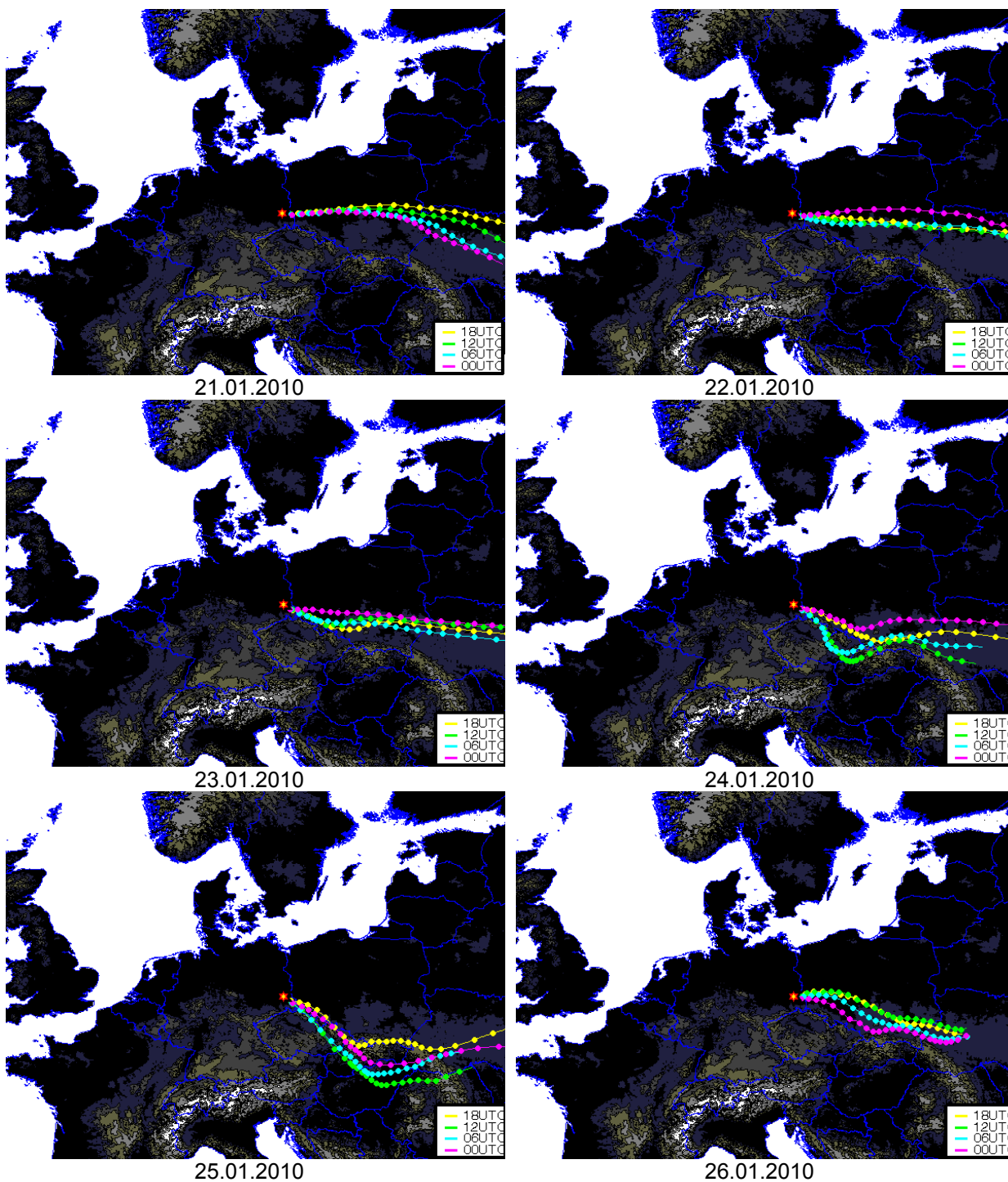


Abbildung A-35: 3-D-Rückwärtstrajektorien für Cottbus (Teil 3)

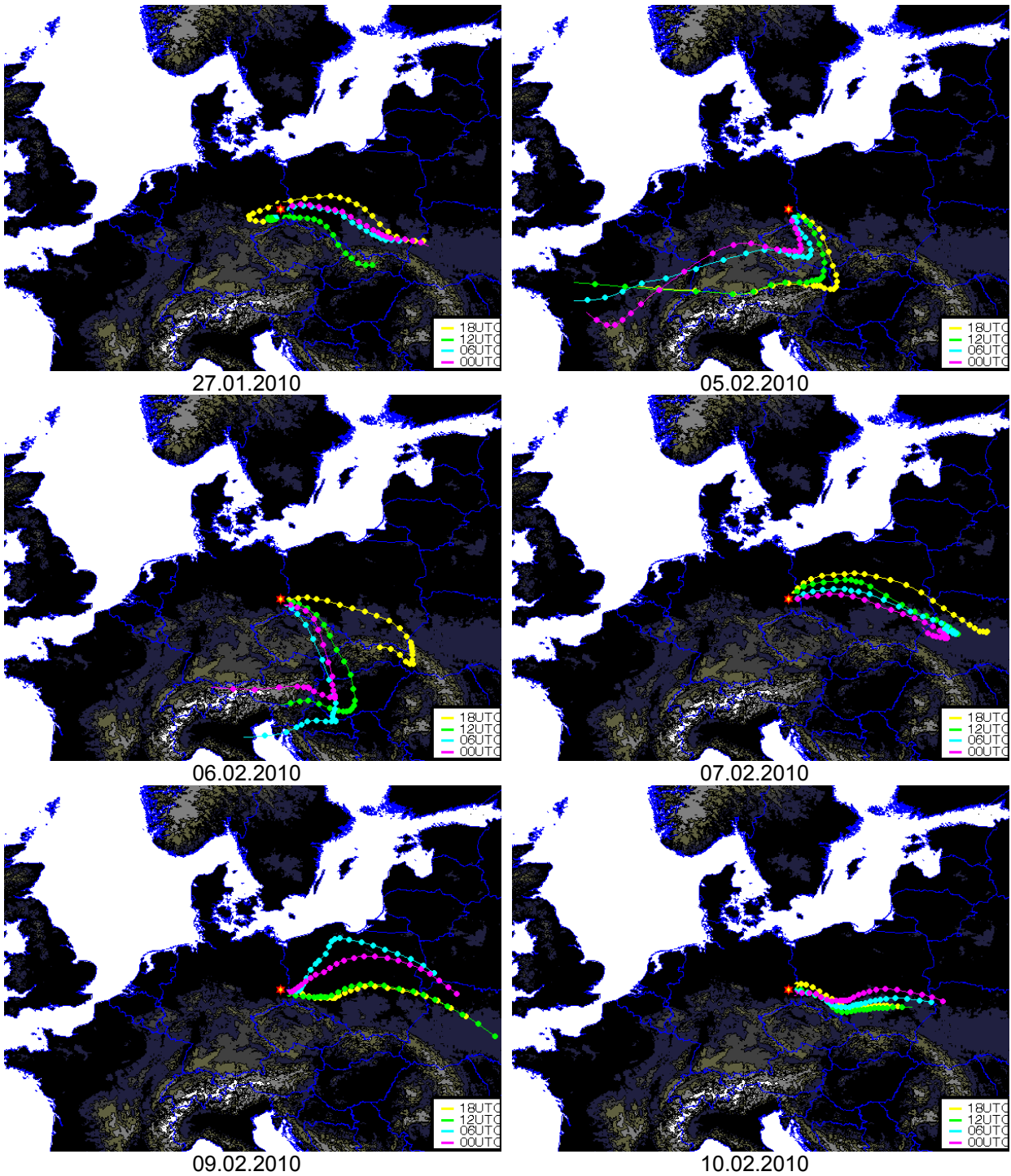


Abbildung A-36: 3-D-Rückwärtstrajektorien für Cottbus (Teil 4)

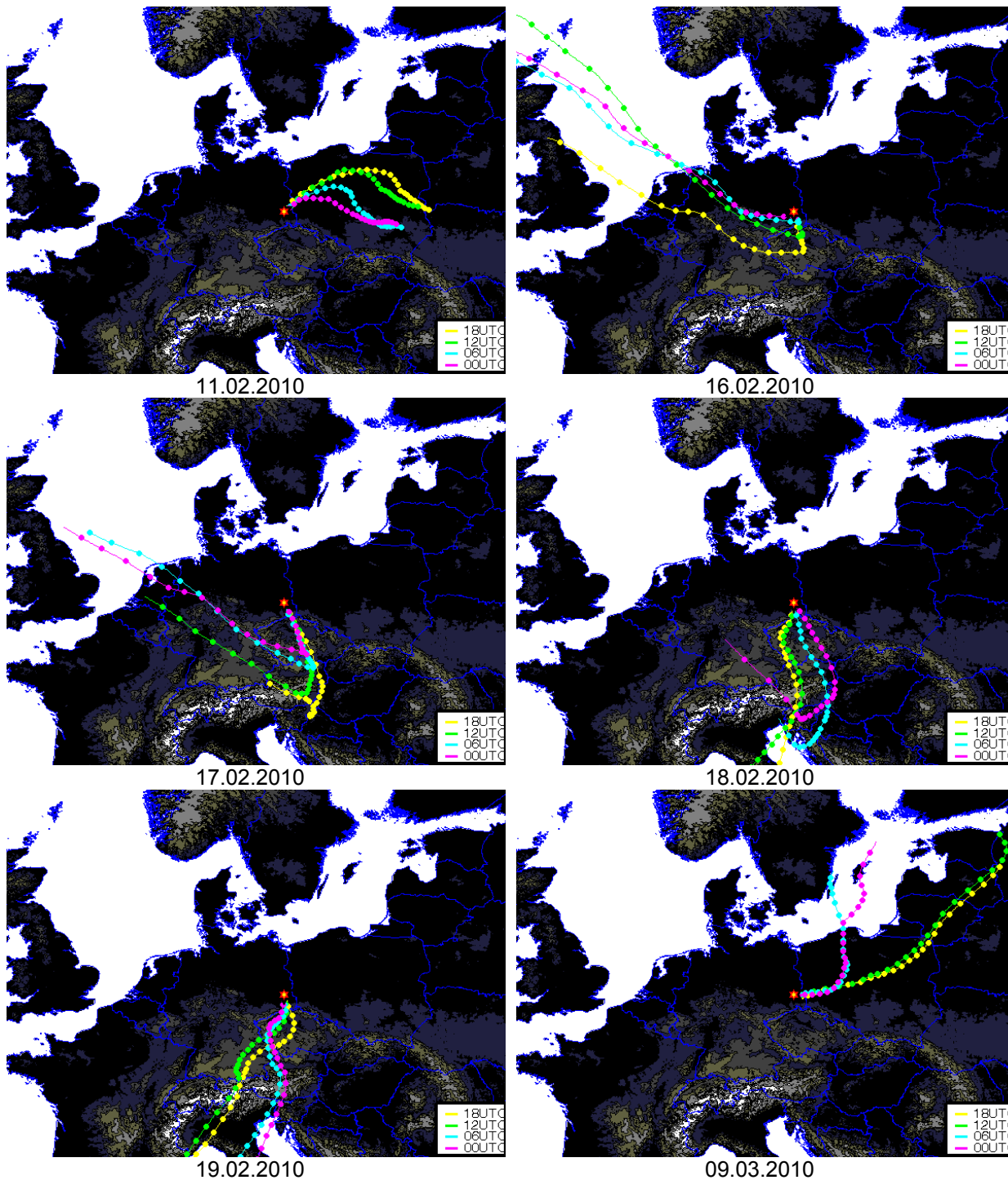


Abbildung A-37: 3-D-Rückwärtstrajektorien für Cottbus (Teil 5)

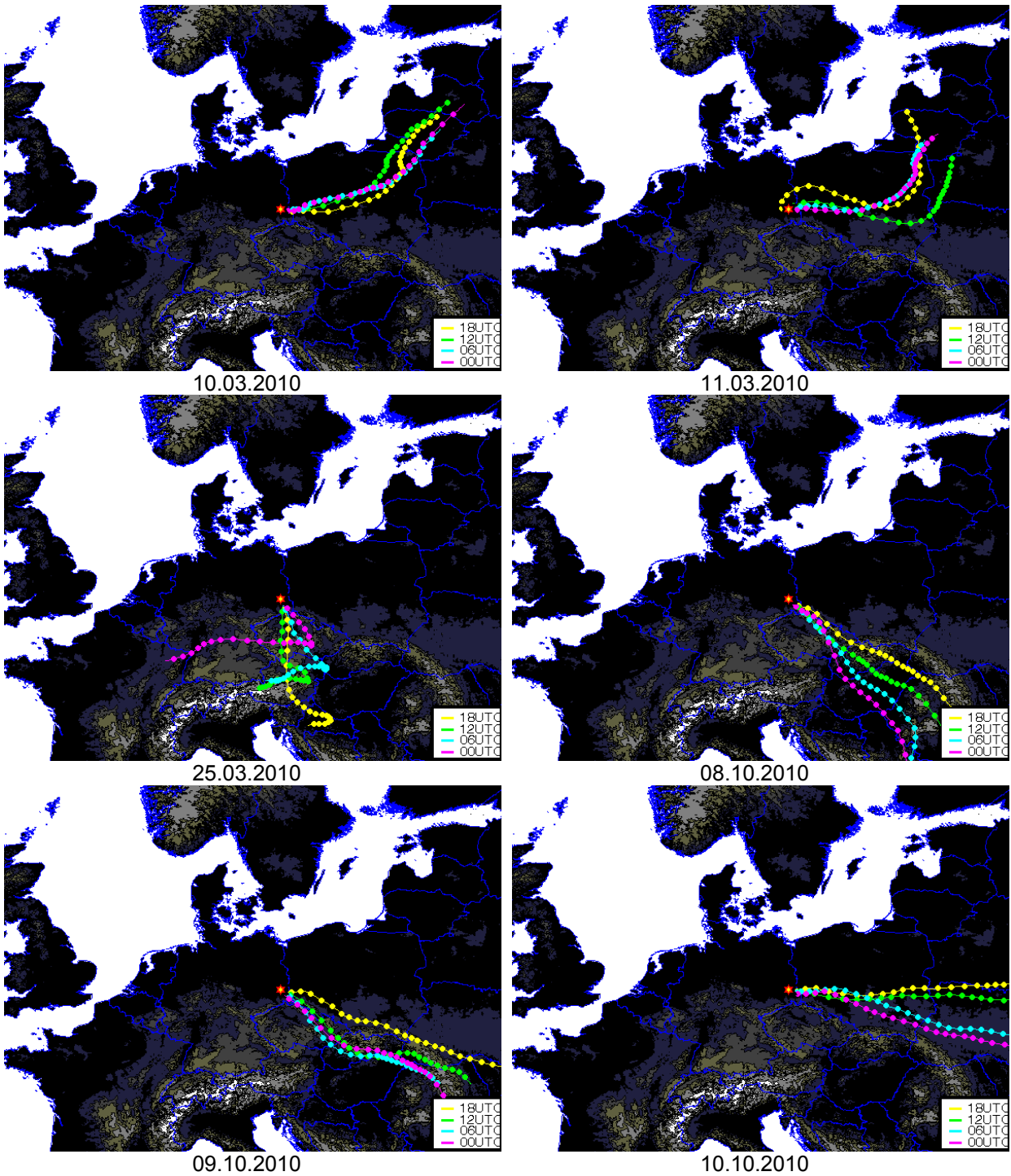


Abbildung A-38: 3-D-Rückwärtstrajektorien für Cottbus (Teil 6)

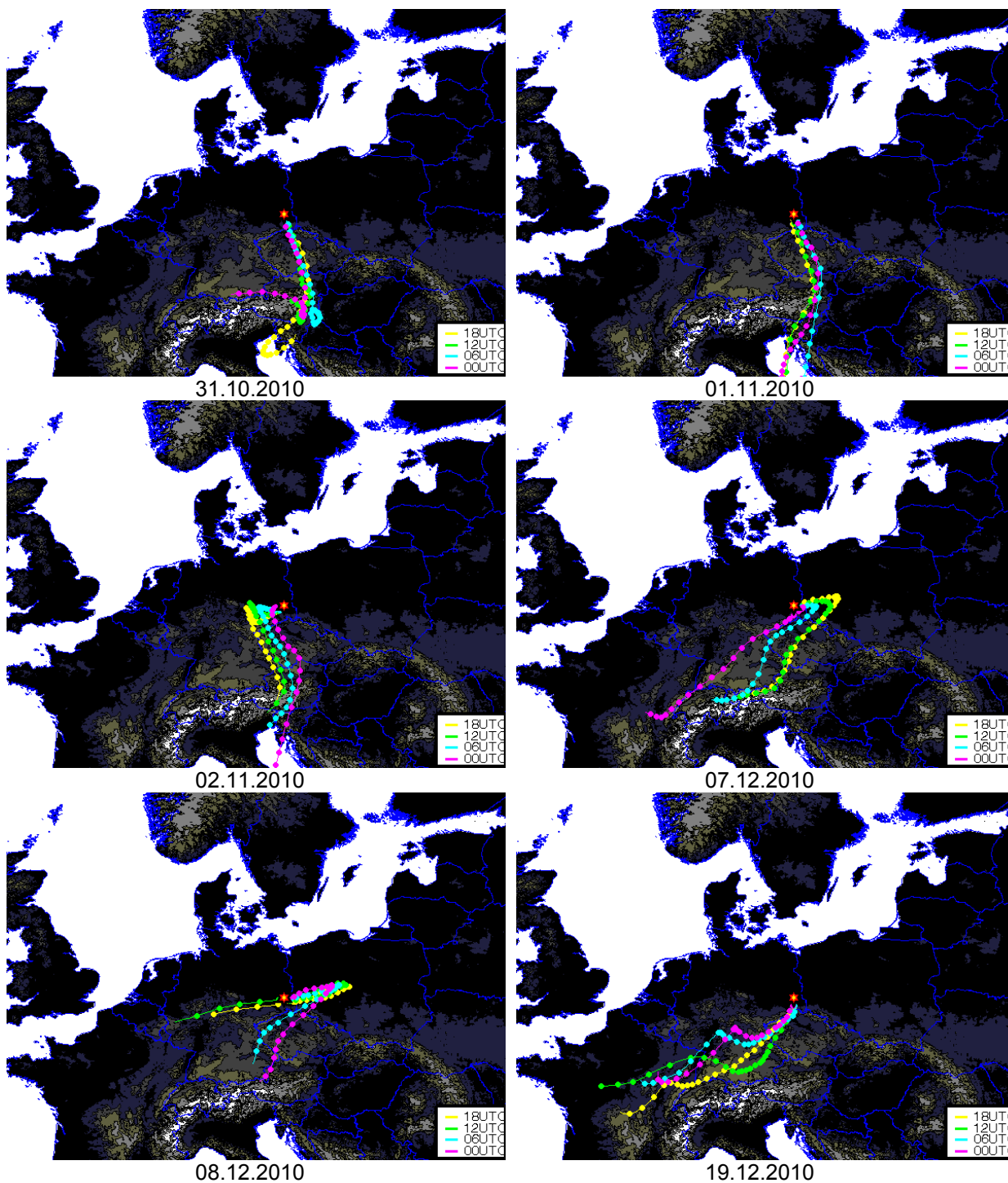


Abbildung A-39: 3-D-Rückwärtstrajektorien für Cottbus (Teil 7)



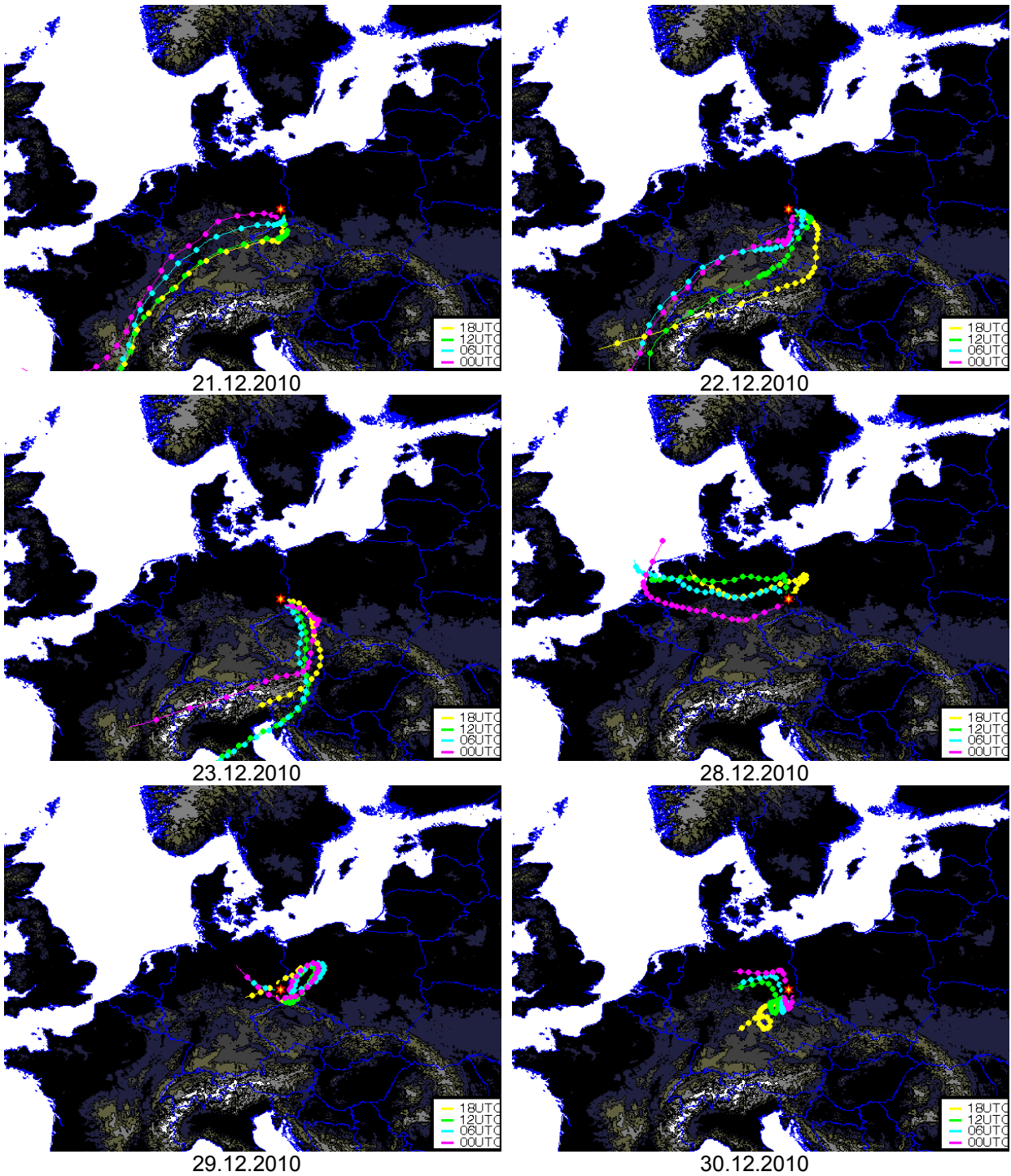


Abbildung A-40: 3-D-Rückwärtstrajektorien für Cottbus (Teil 8)